ISSN 1992-4224 (Print)
ISSN 2415-7678 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

ЛЮДИНА ТА ДОВКІЛЛЯ

ПРОБЛЕМИ НЕОЕКОЛОГІЇ

==========

MAN AND ENVIRONMENT

ISSUES OF NEOECOLOGY

Випуск 44
ISSUES 44

Харків
Kharkiv
2025

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

Наукове фахове видання України Категорії «Б» в галузях наук:
Е Природничі науки за спеціальностями: Е2 Екологія, Е4 Науки про Землю;
Н Аграрні науки та продовольство за спеціальностями: Н1 Агрономія, Н5 Лісове господарство.
Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020

Засновано у 1999 році
Періодичність виходу – 2 рази на рік

УДК 502/504(574)+911+630/631

Надаються результати фундаментальних і прикладних досліджень в різних галузях географії, екології, сільського господарства.

Висвітлюються питання досліджень з конструктивної географії, моніторингу довкілля, екології людини, заповідної справи, агрономії, агротехнологій та агроекології, лісознавства і лісівництва. Розглядаються проблеми оцінки, моделювання і оптимізації стану навколишнього середовища, земельної політики та територіального планування.

Для науковців і фахівців в галузі екології, географії та сільського господарства, а також викладачів, аспірантів, магістрів і студентів вищих навчальних закладів

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол 30 від 24.11.2025 р.)

Максименко Н. В., д-р геогр. наук, проф. (головний редактор);
Тітенко Г. В., , канд. геогр. наук, доц., (заступник головного редактора);
Клєщ А. А., канд. геогр. наук, доц., (відповідальний редактор);
Баскакова Л. В. (технічний редактор);

Редакційна колегія:

Ачасов А. Б., д-р с.-г. наук, проф., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;
Борковський Якуб, д-р наук, проф., Вармінсько-Мазурський університет, Польща;
Василенко О. В., канд. с.-г. наук, Уманський національний університет;
Едіріппуліге С., д-р географії, Університет Квінсленду, Австралія;
Коваль І. М., д-р с.-г., с. н. с., УНДІ лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького;
Коцо Штефан, канд. наук, Прешивський університет, Словаччина;
Кочанов Е. О., канд. військ. наук, доц., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;
Крайнюков О. М., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;
Крівцов Володимир, д-р філософії, Единбургський університет, Великобританія;
Мудрак О. В., д-р с.-г. наук, проф., Вінницька академія безперервної освіти;
Нахтнебель Ханс-Петер, д-р наук, проф., університет природних ресурсів та прикладних наук – BOKU, Австрія;
Некос А. Н., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;
Полторецький С. П., д-р с.-г. наук, Уманський національний університет;
Сафранов Т. А., д-р геол.-мин. наук, проф., Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;
Скрильник Є. В., д-р с.-г. наук, ННЦ Інститут ґрунтознавства і агрохімії імені О.Н. Соколовського;
Скрильник Ю. Є., канд. с.-г. наук, УНДІ лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького;
Сонько С. П., д-р геогр. наук, проф., Уманський національний університет;
Торма Станіслав, д-р філософії, НДІ ґрунтознавства та охорони ґрунтів, регіональний філіал у м. Прешов, Словаччина;
Уткіна К. Б., канд. геогр. наук, доц., Технологічний університет Лулео, Швеція;
Хуссанов Алішер, канд. техн. наук, Південно-Казахстанський університет імені М. Ауезова, м. Шемкент, Казахстан.

Адреса редакційної колегії: 61022, Харків, майдан Свободи, 6,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, ННІ екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, кімн. 473а
Тел. 057-707-53-86, e-mail: ecology.journal@karazin.ua
http://periodicals.karazin.ua/humanenviron/about https://ecology.karazin.ua/

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за достовірність наведених фактів, власних імен тощо.

Статті пройшли подвійне анонімне рецензування

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів у сфері медіа: R30-04454
(Рішення № 1538 від 09.05.2024 р Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення.
Протокол № 15)

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

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

The Journal is a professional publication in the field of science:
E Natural sciences by specialties: E2 Ecology, E4 Earth sciences;
H Agricultural sciences and food by specialties: H1 Agronomy, H5 Forestry.
MES Ukraine Order № 409 of 17/03/2020

Established in 1999
Published 2 times a year

UDC 502/504(574) +911+630/631

The journal highlights the results of fundamental and applied research in various fields of geography, ecology, and agriculture.

It includes Issues of research in constructive geography, environmental monitoring, human ecology, protected territories, agronomy, agricultural technologies and agroecology, and forestry. The problems of assessment, modeling and optimization of the state of the environment, land policy and territorial planning are also considered in the journal.

For scientists and specialists in the field of environmental sciences, geography and agriculture, as well as teachers, graduate students, masters and students of higher educational establishments.

Approved for printing by the decision of the Academic Council of V.N. Karazin Kharkiv National University

(Minutes Nr 30, dated November 24, 2025)

Editor-in-chief: **Maksymenko N. V.**, DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Deputy Editor: **Titenko, G. V.,** PhD (Geography), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Executive Editor: **Klieshch, A. A.,** PhD (Geography), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Technical Editor: **Baskakova L. V.**, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine.

The Editorial Board

Achasov A. B., DSc (Agriculture), V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Borkowski Ja., DSc (Forestry), Prof., University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland;
Vasylenko O. V., PhD (Agriculture), Assoc. Prof., Uman National University, Ukraine;
Edirippulige S., DSc (Geography), University of Queensland, Australia;
Koval I. M., DSc (Agriculture), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Ukraine;
Koco St., PhD, Assoc. Prof., University of Presov, Slovakia;
Kochanov E. O., PhD (military), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Krainiukov O. M., DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Krivtsov V., PhD, University of Edinburgh, United Kingdom;
Mudrak O. V., DSc (Agriculture), Prof., PHEI "Vinnytsia Academy of Continuing Education";
Nachtnebel H.-P., DSc (Technical Sciences), Prof.,University of Natural Resources and Life Sciences, Austria;
Nekos A. N., DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;
Poltoretsky S. P., DSc (Agriculture), Prof., Uman National University, Ukraine;
Safranov T. A., DSc (Geology and Mineralogy), Prof., Odesa I.I. Mechnikov National University, Ukraine;
Skrylnik Ye. V., DSc (Agriculture), National Scientific Center "Institute for soil science and agrochemistry research named after A.N. Sokolovsky", Ukraine;
Skrylnik Yu. Ye., PhD (Agriculture), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Ukraine;
Sonko S. P., DSc (Geography), Prof., Uman National University, Ukraine;
Torma S., PhD, Soil Science and Conservation Research Inštitúte, Slovakia;
Utkina K. B., PhD (Geography), Assoc. Prof., Luleå University of Technology, Sweden;
Khussanov A., PhD, Assoc. Prof., M.Auezov South Kazakhstan State University, Kazakhstan.

Editorial Board Address: 6 Svobody Sq., 61022, Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University,
Education and Research Institute of Ecology, Green Energy, and Sustainable Development, office 473a
tel. (057) 707-53-86, 705-09-66, 707-56-36, e-mail: ecology.journal@karazin.ua
Web-pages: https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/ (OJS)
https://ecology.karazin.ua/

Double-blind peer review was conducted.

The authors of the published materials are solely responsible for the selection, accuracy of the facts, proper names, etc.

Media identifier in the Register of the field of Media Entities: R30-04454
(Decision № 1538 dated May 9, 2024 of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine, Protocol № 15)

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

ЗМІСТ

ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ричак Н. Л., Черкашина Н. І., Макєєва Д. С.
Особливості гідрохімічного складу поверхневих вод правобережної частини басейну Сіверського Дінця (Харківська область)……..……..…….... 8

Фесюк В. О., Мороз І. А.
Кількісна оцінка сучасних тенденцій водокористування у Волинській області……. 25

Лісняк А. А., Кулик М. І., Torma S.
Якість питної води з різних джерел у Шевченківському районі міста Харкова…...…...…... 35

Коптєва Т. С.
Провальний рельєф як перехідний ярус двоярусної структури гірничопромислових ландшафтів Криворізької ландшафтно-технічної системи.……..……..….... 47

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Караїм О. А., Бакараєв О. А., Караїм В. П., Лавринюк З. В.
Викиди автозаправного комплексу: оцінка ризику в аспекті забезпечення сталого розвитку…… 60

Горошкова Л. А., Меньшов О. І., Корнійчук Ю. Д., Соловйова А. О.
Антропогенний вплив війни на стан поверхневих вод річки Десна……. 74

Юрасов С. М., Терземан В. В.
Забезпечення вимог Водної рамкової директиви при нормуванні скидів забруднюючих речовин із стічними водами.……..…….. 94

Попсуй А. О.
Методологічні основи системного аналізу деградаційних процесів у ґрунтах воєнного походження……..... 108

Крайнюков О. М., Матісько Б. Ю.
До проблеми удосконалення методики визначення розміру шкоди за забруднення ґрунтів внаслідок надзвичайних ситуацій та збройної агресії……... 120

Зеленчук І. Д.
Еколого-геоморфологічні трансформації інертних компонентів ландшафту індустріальних зон.……..……...……..….. 132

Сірук І. М.
Екологічні проблеми Здовбицької територіальної громади та шляхи їх вирішення……. 147

Кушнірук Т. М., Петрище О. І., Додурич В. В.
Комплексний підхід до формування типології зелених дахів у контексті стандартизації екологічного будівництва……..……..…… 159

Коваль І. М., Гололобов В. В.
Реакція радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату в насадженні Дендропарку Біотехнологічного університету в м. Харків ……..…..... 174

Безсонний В. Л.
Європейський досвід і перспективи впровадження екологічної сертифікації у сфері гостинності України…….. 186

ЗАПОВІДНА СПРАВА

Максименко Н. В.*, *Пархоменко О. О.
Оцінка дотримання нормативного співвідношення зонування національних природних парків в Україні……... 201

Bihunova M., Bremane A.
Ландшафтно-архітектурна пропозиція рекреаційної стежки вздовж річки Гауя в Латвії……..…….. 217

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сонько С. П., Гнатюк Н. О., Воєвода В. О.
Просторова організація сільського господарства як основа адміністративно-територіального устрою на засадах сталого розвитку…….. 224

Шевченко М. В., Оленченко А. В.
Вплив забур'яненості на зміну проективного покриття ґрунту протягом вегетаційного періоду соняшнику…… 240

Sharma G., Routh R., Chhetri A., Barman G.
Нематоди у вирощуванні чаю: патогенез та захисні реакції рослин (огляд)……..…. 249

ХРОНІКА

Гречко А. А., Клєщ А. А.
Про проведення XXI Всеукраїнських наукових Таліївських читань…… 259

Правила оформлення статей……..... 268

CONTENTS

GEOGRAPHICAL RESEARCH

Rychak N. L., Cherkashyna N. I., Makeieva D. S.
Hydrochemical composition features of surface waters of the right-bank part of the Siverskiy Donets basin (Kharkiv region)..…..……..……..……. 8

Fesyuk V. O., Moroz I. A.
Quantitative assessment of current trends in water use in Volyn region……. 25

Lisnyak A. A., Kulyk M. I., Torma S.
Drinking water quality from various sources in the Shevchenkivsky district of Kharkiv.…….. 35

Koptieva T. S.
Failed relief as a transitional layer of the two-layer structure of mining landscapes of the Kryvyi Rih landscape-technical system……..……..... 47

ENVIRONMENTAL RESEARCH

Karaim O. A., Bakaraiev O. A., Karaim V. P., Lavrynyuk Z. V.
Gas station emissions: risk assessment in the context of ensuring sustainable development……..... 60

Horoshkova L. A., Menshov O. I., Korniichuk Y. D., Soloviova A. O.
The war anthropogenic impact on the conditions of the Desna river surface waters.……..... 74

Yurasov S. M., Terzeman V. V.
Ensuring compliance with the Water Framework Directive when regulating pollutant discharges into wastewater……..…... 94

Popsuy A. O.
Methodological basis for systematic analysis of military soil degradation……..… 108

Kraynyukov O. M., Matisko B. Y.
Towards the improvement of the methodology for assessing damage from soil contamination caused by emergencies and armed aggression……. 120

Zelenchuk I. D.
Ecological-geomorphological transformations of inert landscape components in industrial zones……..... 132

Siruk I. M.
Environmental problems of the Zdovbytsia territorial community and ways to solve them…... 147

Kushniruk T. M., Petryshche O. I., Dodurych V. V.
A comprehensive approach to green roof typology forming in the context of eco-friendly construction standardization……..... 159

Koval I. M., Gololobov V. V.
The response of radial growth of scots pine to climate change in the planting of the Arboretum of the Biotechnological University in Kharkiv ……..... 174

Bezsonnyi V. L.
European experience and prospects for the implementation of environmental certification in Ukraine's hospitality sector..……..... 186

PROTECTED AREAS MANAGEMENT

Maksymenko N. V., Parkhomenko O. O.
Assessment of compliance with the normative zoning ratio
of national nature parks in Ukraine…….. 201

Bihunova M., Bremane A.
Landscape architectural proposal of the leisure path
along the river Gauja in Latvia……..…..……...….. 217

AGRICULTURAL RESEARCH

Sonko S. P., Hnatiuk N. O., Voievoda V. O.
Spatial organization of agriculture as the basis for administrative and territorial structure based
on the principles of sustainable development……. 224

Shevchenko M. V., Olenchenko A. V.
Impact of weed infestation on projective soil cover changes
during the sunflower vegetation period.…….…. 240

Sharma G., Routh R., Chhetri A., Barman G.
Review nematodes in tea cultivation: pathogenesis and plant défense responses.……..... 249

CHRONICLE

Hrechko A. A., Klieshch A. A.
On the XXI All-Ukrainian scientific Taliyiv readings ...…..… 259

Formatting Rules……..……..……..... 268

ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-01
UDC 504.05+504.064.2+556.16(477.54)

N. L RYCHAK[1], PhD (Geography),
Associate Professor at the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: rychak@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1620-3059

N. I. CHERKASHYNA[1],
Senior Lecturer at the Department of Foreign Languages for Professional Purposes
e-mail: n.i.cherkashyna@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4066-2530

D. S. MAKEIEVA[1],
Bachelor,
e-mail: makieieva2021.9685818@student.karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-6561-2608
[1]*V.N. Karazin Kharkiv National University*,
4, Svobody, Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

HYDROCHEMICAL COMPOSITION FEATURES OF SURFACE WATERS OF THE RIGHT-BANK PART OF THE SIVERSKIY DONETS BASIN (KHARKIV REGION)

Purpose. To determine seasonal variations in the hydrochemical composition of surface waters and assess the ecological status of water bodies on the right bank of the Siverskyi Donets River within Kharkiv region.

Methods. Field studies, analytical, system analysis, methodology for determining the water pollution index, systematic approach to generalized results.

Results. There are the results of the ecological assessment of the water quality of the right-bank tributaries of the Siverskyi Donets River flowing through Kharkiv region during the spring-summer flood and autumn low water period of 2024 in the Velyka Babka River and the Molodova Pond at six representative sites, reflecting different economic uses. Organoleptic, physical- chemical indicators, and heavy metal content were determined in the waters. The results show that all hygienic indicators except hardness complied with the standards. The ecological quality of the rivers on the right bank of the Siverskyi Donets basin was assessed using the water pollution index based on our own field studies and information from open sources. The research has identified, among the existing sources of pollution, urban municipal wastewater, operating enterprises, the effects of agriculture, as well as military operations (the Velyka Babka River), and the diffuse impact of neighboring tributaries.

Conclusions. According to the surface water pollution index, all rivers on the right bank of the Siverskyi Donets belong to pollution class III, moderately polluted, with only the Bereka River classified as class II. Although the overall condition of the water remains satisfactory, we should take measures to improve water quality, especially for rivers such as the Udy, Mozh, and Tetlega, which are affected by industrial enterprises and agriculture. The Chepil, Gomilsh, Bereka, and Byshkin rivers require detailed field hydrochemical studies to determine the pollution level.

KEY WORDS: *surface water, hydrochemical indicators, water pollution index, the Siversky Donets basin*

Як цитувати: Rychak N. L., Cherkashyna N. I., Makeieva D. S. Hydrochemical composition features of surface waters of the right-bank part of the Siverskiy Donets basin (Kharkiv region). *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 8–24. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-01

In cites: Rychak, N. L., Cherkashyna, N. I., & Makeieva, D. S. (2025). Hydrochemical composition features of surface waters of the right-bank part of the Siverskiy Donets basin (Kharkiv region). *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 8–24. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-01

Introduction

According to Article 21 of the Water Code of Ukraine, state water monitoring is carried out in order to ensure collection, processing, storage and analysis of information on the state of waters, forecasting changes and developing scientifically based recommendations.

© Rychak N. L., Cherkashyna N. I., Makeieva D. S., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

for making management decisions on use, protection and reproduction of water resources. Its components are observations of biological, hydromorphological, chemical and physical-chemical indicators [1]. According to the EU Water Frame work Directive, the main measures are application of monitoring programs and creation of a set of measures to prevent deterioration of waters conditions. In the context of European integration, Ukraine is harmonizing its Water Legislation, which provides for transition to integrated water resources management based on the basin principle and introduction of unified environmental standards for assessing water quality [2]. Goal 6 "Clean Water and Sanitation" takes a key place among the 17 Sustainable Development Goals, since access to high-quality water and appropriate sanitary and hygienic conditions is a basic prerequisite for environmental protection, sustainable functioning of ecosystems, ensuring health, and food security. The implementation of Goal 6 has a significant cross-sectoral effect (Goals 1, 2, 3, 11, 15), being one of the fundamental factors for the integrated achievement of all other Sustainable Development Goals [3].

In the last decade, a significant increase in anthropogenic activity in the form of business activities and military operations have become increasingly serious factors affecting the quality of surface waters. One of the most obvious consequences of these problems is a change in the conditions of water bodies. This is indicated by changes in the class of water quality as well as in quantitative hydrochemical indicators. Kharkiv region of Ukraine is one of the regions that have problems with water supply not only due to a relative shortage of water resources, but also due to a sharp deterioration in the state of water bodies. Studying the dynamics of water conditions in the region is relevant, since 70-80% of the region's water supply depends on the Siversky Donets River basin [4]. Assessing changes in the general ecological state of the region can be useful in determining the existing risks to the ecological state of water bodies and the possibilities of their further solution. The essence of the research problem is to determine the current ecological state of water bodies on the right bank of the Siversky Donets River in Kharkiv region and analyze their state under conditions of increased influence of anthropogenic activity. The article focuses on the impact of various factors on water quality, provides its ecological assessment, and identifies seasonal variability of the hydrochemical composition of small rivers on the right bank of the Siversky Donets River.

Analysis of previous studies. Today, in addition to rapid anthropogenic activity, the Siversky Donets is also affected by the hostilities nearby, which is the cause of additional environmental load on its basin. Thus, it is important to find out whether there have been significant changes in the state of its rivers, hydrochemical indicators. Consequently, the main attention is paid to the right bank of the river and its tributaries that flow within Kharkiv region. These are the rivers: the Bereka, Chepil, Byshkin, Gomilsha, Mozh, Udy, Tetleha and Velyka Babka.

According to the Water Code of Ukraine [1], all of the above-listed rivers of the right bank of the Siversky Donets are small rivers, except for the Udy River, which is a medium-sized one.

The general location of the rivers is in the following areas: the Udy, Velyka Babka, Tetleha, Gomilsha and Mozh - East European Plain, East Ukrainian Region; the Bereka, Chepil - Oryol-Samara Lowland Region, Left-Bank the Dnieper-Azov Region; the Byshkin - East Poltava Upland Region, Left-Bank Dnieper Region. According to zoogeographic zoning, the rivers are located in the area of the East European deciduous forest and forest-steppe, namely the left-bank Dnieper subdivision, and in the western steppe (Azov) section [5]. Aquatic and coastal plants play an important role in the formation of hydrological indicators in water bodies. Aquatic plants change the gas and chemical composition of water bodies. Due to plant life, organic matter, necessary for the life of animal organism, enriches water bodies. In addition, chemical energy accumulates, creaing conditions for the course of many chemical reactions [6]. The results of the reseach indicate the neccessity to take a closer look at the quality of wetlands located along the riverbedin detail, to maintain the lands in proper conditions.The species composition of plants, their richness in functional groups of birds, as well as the diversity of benthic macroinvertebrates are promising indicators for a standardized biodiversity method in the restoration of coastal wetlands, which could signal biodiversity crediting in the study areas [7]. The results of modern studies have shown that shallow lakes are sources of CH_4 and CO_2 emissions into the atmosphere. The peak of CH_4 emissions falls on the peak of the growing season in July, while the peak of CO_2 emissions falls on the end of the growing season in October (for the example of Lake Ulansuhai, China). In plant environments, the content of CH_4 was nine times higher than in

non-plant environments. The results of the study demonstrate that aquatic plants influence carbon emissions in multi-environmental aquatic systems. With the expected rapid expansion of shallow marsh lakes due to climate change, their contribution to the regional carbon budget is expected to increase significantly [8].

In the process of interaction of the lake-river-aquifer system, formed under the complex influence of anthropogenic loads and climatic conditions, the determining factor is hydrological changes, whose influence significantly prevails over the influence of climatic factors [9]. According to the hydrological zoning, the rivers studied are located in the Siversk-Donetsk-Dnipro region with insufficient water stock, are in a moderately continental climate type, on a small-relief area with characteristic signs of forest-steppe transformations. However, in the steppe zone, a drier climate with less precipitation prevails. In the spring, the right tributaries of the Siversky Donets provide 50-60% of the annual runoff, and the floodplain begins a month earlier, that is, it lasts from February to April. As a result, the summer period is extended by a month and covers May-August, while winter is reduced to two months - December and January. Due to periodic melting of snow in spring, a relatively low floodplain is formed both in terms of maximum water flow and total runoff volume, and the average layer of spring floodplain runoff of rivers is 70-80 mm in the upper Donets [10]. River water content is an extremely important characteristic in the study of hydrological and hydrochemical indicators and water quality. The module of the average annual water flow within the right-bank part of the Siversky Donets basin is from 1,5 to 2 l/sxkm^2. The module of the average annual water flow within Ukraine, l/sxkm^2 [9,11]. Monitoring of river runoff can help determine the optimal levels of its use for sustainable water resources management in conditions of climate change,and water content of the rivers under study [12]. In the right-bank part of the basin in the Donetsk Ridge area, the chemical composition of river waters forms under the influence of saline rocks. Significant fragmentation of the terrain contributes to the drainage of highly mineralized waters by aquifers. River waters here are characterized by increased mineralization and predominantly sulfate-chloride composition [6].

In recent years, the groundwater level has decreased in most rivers. For instance, in the 1980s, the Velyka Babka was more full-flowing due to groundwater recharge, and became shallower with decreasing water level. This has also led to the appearance of a larger number of drying streams, as the sources of recharge decreased [4,13]. With increasing precipitation, freshwater recharge can be enhanced, thereby diluting ion concentrations and changing hydrogeochemical conditions. The hydrochemical characteristics of interconnected groundwater and surface water systems are largely regulated by precipitation, which acts coordinated with other hydrological processes, such as evaporation and mixing. The temporal and spatial distribution of electrical conductivity, ion concentrations, stable isotope ratios, and dissolved organic carbon concentrations empirically confirm the significant influence of precipitation and the interaction of these hydrological processes [14].

Considering complex relationship between hydrochemical characteristics and water quality, the authors carried out in-situ measurements for pH, conductivity, total dissolved solids and laboratory analyses for major ions, hardness [15]. The studies establish the factors determining chemical composition of water, reflecting different sources of pollution and anthropogenic influences. For rivers, such studies have established significant spatial heterogeneity in water quality, which emphasizes the need for specific management approaches that integrate geological conditions, land use patterns and socio-cultural priorities. The results of the studies emphasize the importance of understanding the dynamics of water quality and chemical characteristics in the context of global climate change, providing valuable information for decision-making in the sustainable management of environmentally sensitive river basins [15].

According to published materials and open sources of information on the ecological state of the Udy River in 2018, it was found that the most critical situation was in the waters near the village of Khoroshevo and the city of Eskhar. The ecological index I*E* in those areas corresponded to the fifth category (unsatisfactory water quality) and the third class (satisfactory condition) [16]. Analysing the risk to health of the population associated with recreational water use, it became clear that the most unfavorable conditions were found in the river near the city of Eskhar. Since the Udy River flows within the borders of two countries, pollution acquires a transboundary character. In addition, the river flows through a significant territory of Kharkiv region, which also negatively affects its water quality. The forecast of the ecological state of the Uda River within the city of Eskhar indicates that

in 2030 the maximum value of the ecological index for this river section will correspond to 7*th* category and V class, characterized as a very poor state. Similar situation will develop with hydrochemical indicators of surface water quality, it will be impossible to use it for fishery needs [16].

According to the research in 2020, in the waters of the Uda River (Okop village, an approved state quality monitoring point on the border with the Russian Federation), the indicators of BOD_5, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen and sulfates did not meet the TLV standards for fishery reservoirs. The river experienced the largest discharge of organic substances among the studied reservoirs according to the results of 2020 [13].

Hydroecological and hydrochemical studies of the Uda River showed a tendency towards a negative impact of the city of Kharkiv on the hydroecological situation in its system based on calculations of the water pollution index (WPI), modified WPI and the pollution coefficient χ for many years [17]. The indicators do not demonstrate pronounced time trends. According to the pollution coefficient, water quality is improving along the river network, with the exception of a section on the Uda River near the village of Khorosheve, where the pollution level is classified as "catastrophic". Further, in the area of the city of Eskhar, water quality improvesdue to natural processes of the river's self-purification. In 2022, excess concentrations of manganese, cadmium, lithium, cypermethrin, and polyaromatic hydrocarbons were recorded in two of the studied sections of the river [17, 18].

The ecological state of the Tetlega River in 2020, determined according to the "Methodology for the ecological assessment of surface water quality by relevant categories", coresponded to quality class III of category 4 (satisfactory, slightly polluted) [17]. The main pollutants were sulfates, chlorides, oil products and dry residue. Exceedance of the TLV at the river mouth for BOD_5, oil products, cadmium (twice) and manganese (three times) was recorded in the area[17].

In 2023, the waters of the Chepil River had excess of lithium (2 cases), manganese (3 cases) and simazine (2 cases) [18]. Data on other potential pollutants such as heavy metals, pesticides, surfactants are limited, thus,the river requires additional hydrochemical studies. In addition, in 2018 the hydrological reserve "Vitrivsky" with an area of 349 hectares was created in the river basin. Therefore, the Chepil River is of ecological value and requires special attention [19].

There is practically no information about the state and potential pollutants of the Gomilsha River, but we can assume that if the Siverskyi Donets River is polluted almost along the entire length of the watercourse, the Gomilsha River may also be polluted. Moreover, there is pollution from agricultural activities. That is, the problem is in the lack of clear hydrochemical indicators regarding the water quality of this river. The Chepil River and Gomilsha Rivers are located within the National Nature Park "Gomilshanski Lisy" [20].

Information on the ecological state of the Bereka River is limited and requires additional research. According to the results of the study, during 2021–2022, the water quality remained stable without significant changes [21]. The actual hydrochemical indicators of the Bereka River are not published separately, therefore the available data relate only to the general characteristics of the river waters.

In the Mozh River, environmental standards for several chemical substances and compounds were exceeded: barium, benzo(a)pyrene, cadmium, lithium, manganese (10 cases of exceedance), simazine and trichloromethane [22]. Within the city of Zmiiv, sewage wastewater was discharged into the river (public utility company "Zmiiv-service"). Over time, a characteristic gray sediment formed in the floodplain and along the riverbank [22]. This sediment is the cause of a strong odor, toxic compounds can provoke the death of local aquatic organisms, leaving only the most tolerant species to toxicants. There is a significant threat of increased eutrophication of the reservoir.

The ecological state of the Velyka Babka River in open sources is assessed within the Siverskyi Donets River basin without separate monitoring points. According to research results [23], the reservoir has been polluted as a result of military operations, improper handling of household waste (in 2022, in the villages of Fedorivka, Shestakovo, Velyka Babka).

We have limited information that requires additional research on the ecological conditions of the Byshkin River.

Considering the peculiarities of water management use of the studied water bodies, we presume that water is taken from the Bereka River for the Bereka Reservoir, for the ponds of the enterprise limited liability company (LLC) "Rybgosp", which is about 3.581 mln. m^3 of water [24]. Water from the river is usually used

by the population, mainly for irrigation, fish farming and recreation.

The waters of the Uda River are one of the main sources of water supply for Kharkiv region. Water is withdrawn from the river by Thermal power plant-2 (TPP-2), namely the branch of "Teploelektrotsentral" and the joint-stock company "Naftogazovydobuvna Company " and PJSC "Kharkiv TPP-5". The withdrawal reaches 82.32 mln. m^3 of water [24].

The water use of the Chepil River is insignificant: no large facilities have been created, no water is taken. In nearby villages, the main source of drinking water is groundwater (wells); for technical needs, water from the centralized water supply is used.

The waters of the Mozh River are used for irrigation. The following enterprises Agricultural Limited Liability Company (ALLC) "Mozh", State-owned Enterprise (SE) "Artemivskyi spirtlazavod", Closed Joint-Stock Company (CJSC), "Novoselskyi Mmining and Processing Plant (MPP)" withdraw waterfrom it [24].

The waters of the Gomilsha River are mostly used for recreational purposes, since it is located on the territory of the National Nature Reserve "Gomilsha Forests". There is no information about a significant use of its waters.

A bridge was built across the Tetleha River on the route T-21-11 "Chuguyiv – Pechenihy–Velykyi Burluk" in Kharkiv region, connecting the city of Kharkiv with the Velykyi Burluk and Pechenihy communities. According to 2023 data, it was established that the municipal enterprise (ME) "Kharkivvodokanal" discharged return waters and pollutants into the river [18]. It is planned to create coastal protective strips for the reservoir in order to prevent pollution and clogging of surface water bodies and to preserve its water regime. No industrial and land reclamation facilities have been created in the riverbed, there are no significant industrial water intakes or hydroelectric facilities [25].

The waters of the Byshkin River are not used as the main water supply source,they are used for irrigation and recreational purposes.

The waters of the Velyka Babka River are used for recreational purposes, they are not used for irrigation or fish farming. The floodplain of the river serves as a good pasture for livestock and a place for harvesting hay.

We also studied an unnamed pond in the village of Molodova, Chuguyiv district, located 3 km from the Siverskyi Donets River. The pond was created at the beginning of the 20*th* century by damming the Velykyi Log River, which has dried up in our time [26]. The reservoir is of interest to the population as a recreational and aesthetic object, it is a place for fish farming and an ecosystem for the existence of certain species of biota, for example, beavers, waterfowl. The pond is home to common rudd, common crucian carp, common carp, as well as amphibians and reptiles. The pond is a popular recreation area for the local population of the village of Molodova and the surrounding community. The reservoir is used in extreme conditions during the fire season, which arise from arson, drought or hostilities nearby.

The right-bank part of the Siverskyi Donets basin is an agricultural area. Therefore, studies related to nitrate pollution are important. As a rule, studies focus on the level and load of pollution, source tracking, migration and transformation, impact factors, potential risks and forecasting, removal and restoration [27]. In most parts of the territory, the minimum mineralization of river waters at the highest river flows ranges from 120.0–300.0, while during low floods it reaches 370.0 mg/dm^3. In the right-bank part of the Siverskyi Donets River basin, in the catchments south of the Berek River, waters of sulfate-hydrocarbonate, sulfate-chloride and chloride-sulfate composition are formed in the low season. The mineralization level reaches 2000.0–5000.0 mg/dm^3, total hardness – 20.0–29.0 mmol/dm^3 [6].

The purpose of the article is to assess comprehensively the ecological state of water bodies on the right bank of the Siverskyi Donets, identify the main factors affecting their quality, and determine the hydrochemical features of small rivers on the right bank of the Siverskyi Donets.

The scientific novelty lies in using a comprehensive approach for a systematic analysis of the impact of various activities on the water resources of the region and determining the hydrochemical features of small rivers on the right bank of the Siverskyi Donets. The results obtained complement and clarify understanding of the current state of water bodies and have become a scientific basis for proposing effective measures for protection and rational use of these water bodies.

The applied value lies in using the results of the study to form a water resources management strategy and plan environmental protection measures.

Objects and materials. Research methodology

The object of the study is the water bodies of the right bank of the Siverskyi Donets within the river basins and within Kharkiv region, the content of which is focused on the ecological state of these water bodies in conditions of increased human activity and military operations. To ecologically assess and determine the features of the seasonal behavior of hydrochemical indicators in the surface waters of the right-bank part of the Siverskyi Donets basin, field studies were conducted for the Velyka Babka River (Fig. 1) and the Molodova Pond (Fig. 2).

a) b)

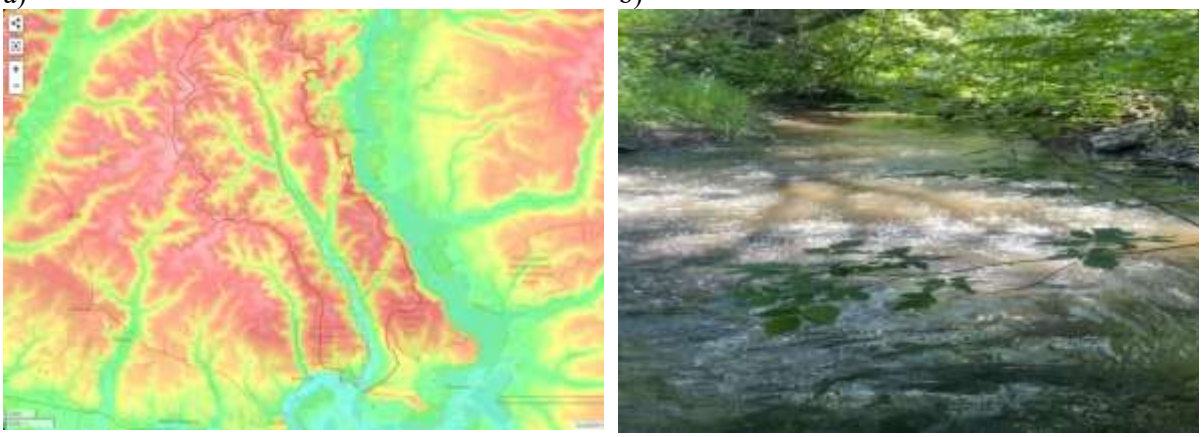


Fig. 1 – The Velyka Babka River: a) river basin; b) control water sampling site

a) b)

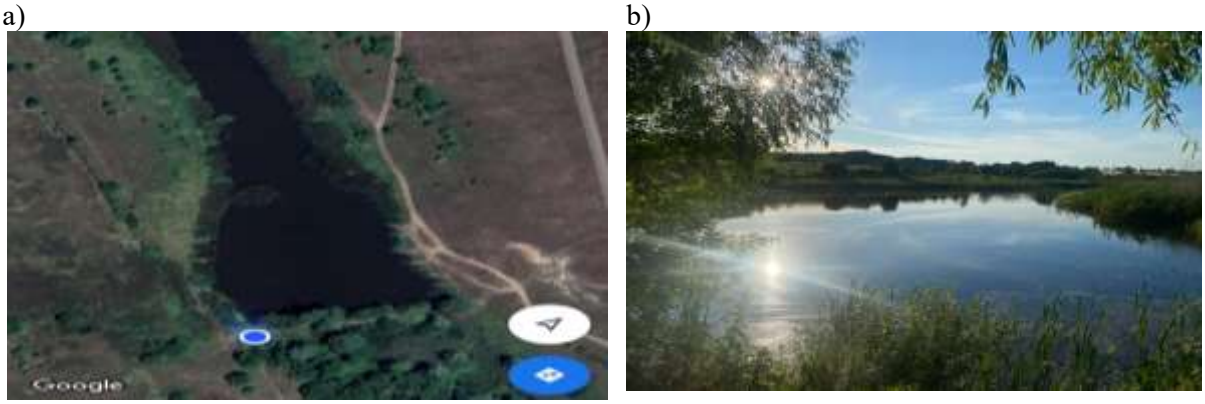


Fig. 2 – The Molodova Pond: a) location of the Molodova Pond;
b) one of the water sampling control points

Using Google Earth tools, we have determined that the area of the pond's surface is 11,784.64 m^2, the length reaches 287 m, and the maximum width is 83 m. The length of the coastline along the zero isobath is 715.2 m. The degree of indentation of the coastline is 0.42.

In surface water bodies, water samples were taken [28, 29, 30] at six representative sections that reflected different economic uses (Table 1). Samples were taken in the spring-summer flood and autumn low water. A wide range of parameters (pH, transparency, odor, hardness, alkalinity), chemical compounds (ammonia, nitrites/nitrates, chlorides), and the content of heavy metals (HM) (iron, zinc, copper, manganese, cadmium, chromium) were studied and analyzed. The criteria for the analysis of the obtained results for ammonia content, organoleptic indicators, alkalinity and hardness were applied hygienic requirements for drinking water intended for human consumption [31]. The criteria for the analysis of the content of HM were Hygienic Standards, 2022 [32].

Table 1

Environmental justification for choosing the location of sampling points

Hydrological object	Water sampling coordinates	Environmental justification
The Velyka Babka river	49.9876097 N, 36.7526857E	Determination of the pollution level in a section of the river due to the impact of motor vehicles, which can be a source of heavy metal emissions (cadmium, zinc, copper); a section of the road near the shore; a section with a weak current
The Velyka Babka river	49.9831781 N, 36.7513067 E	Impact of fish farming activities on water quality in the river, determination ofnutrients (nitrogen), concentrations, organic matter residues, silt; bay-shaped area; area with weak current
The Velyka Babka river	49.9775219 N, 36.7506050 E	The territory with widened channel, determination of hydraulic works impact, changes in physical and chemical indicators, changes in mineralization, heavy metals, and biogenic elements; straight-flow channel
The Molodova Pond	50.0435368 N, 36.7693580E	determined the level of the pond pollution due to the impact of motor vehicles, which can be a source of heavy metal emissions (cadmium, zinc, copper); a section of the road near the shore; a bay
The Molodova Pond	50.0442484 N, 36.7702344 E	impact of fish farming activities on water quality in the pond, determination of nutrients (nitrogen),concentrations, organic matter residues, silt; bay-shaped area
The Molodova Pond	50.0448827 N, 36.7696758 E	The impact of recreational activity (swimming, boating, picnics) on the quality of water in the pond, determination of the content of nutrients and organic compounds; site along the shore

Determination of indicators and measurement of the content of heavy metals (HM) was carried out in two periods: 06/19/2024 and 10/29/2024 at the educational and research laboratory of analytical ecological research, V.N. Karazin Kharkiv National University (Protocols No. 2000-2024 research of surface water bodies). The content of chlorides, hardness and alkalinity was establishedby titration. The content of nitrites was determined using a KFK-2 photocolorimeter, while the content of nitrates - by a portable nitrometer. The content of HM was determinedby the method of modulation polarization spectrophotometry using a spectrophotometer MTA 915 MD, manufacturer with a hollow lamp for the corresponding metals. All measuring equipment is approved for use by calibration certificates. For quantitative ecological assessment of water bodies conditions , the water pollution index (WPI) was used [33, 34].

Results and discussion

The obtained results of studies on the activity of hydrogen ions showed that the highest acidity indicators were recorded at three sections of the pond during the spring-summer flood period: (8.0; 7.9; 7.8) (Table 2).

In the autumn low season, a slight change in the pH indicator was observed in the river - an increase of 0.4 – 0.5, (Fig. 3, a, b) in the pond an increase of 0.2 is observed (Fig. 4, a, b). In general, during the study period, there were

Table 2

Indicators of the state and chemical composition of water during the spring-summer flood period

Substance	Sample 1*	Sample 2*	Sample 3*	Sample 4**	Sample 5**	Sample 6**	Units of measurement
pH	7,525	7,367	7,085	8,002	7,891	7,825	-
Ammonia	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	mg/dm^3
Odor	0	0	0	0	0	0	-
Transparency	16	18	17	20	19	17	centimeter
Nitrites	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	mg/dm^3
Nitrates	20	15	31	0	0	0	mg/dm^3
Chlorides	240	240	248	232	224	224	mg/dm^3
Alkalinity	6,6	7,1	7,0	9,0	9,0	9,3	mmol/dm^3
Hardness	7,4	7,0	7,2	8,0	8,4	7,8	mmol/dm^3
Iron	0,0912	0,0814	0,0812	0,08	0,0555	0,0544	mg/dm^3
Zinc	0,122	0,114	0,0984	0,0915	0,0985	0,0985	mg/dm^3
Copper	0,008	0,007	0,00915	0,0012	0,00815	0,0095	mg/dm^3
Manganese	0	0	0,0001	0	0,0001	0	mg/dm^3
Cadmium	0	0,0001	0	0,0001	0,0001	0	mg/dm^3
Chromium	0,0002	0,0002	0	0,0001	0,0001	0,0001	mg/dm^3

Note: * - water samples of the Velyka Babka River; ** - water samples of the the Molodova Pond

Table 3

Indicators of the state and chemical composition of water during the autumn low water period

Substance	Sample 1*	Sample 2*	Sample 3*	Sample 4**	Sample 5**	Sample 6**	Units of measurement
pH	7,526	7,759	7,573	7,888	7,945	8,027	-
Ammonia	2,0	2,0	2,0	0,04	0,04	0,04	mg/dm^3
Odor	0	0	0	0	0	0	-
Transparency	12	18	20	22	24	27	centimeter
Nitrites	0,04	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	mg/dm^3
Nitrates	16	0	15	0	0	0	mg/dm^3
Chlorides	264	256	264	280	272	280	mg/dm^3
Alkalinity	7,5	7,4	7,4	7,3	7,1	7,1	mmol/dm^3
Hardness	7,4	7,8	5,4	8,6	8,6	8,0	mmol/dm^3
Iron	0,0812	0,0503	0,0543	0,0982	0,0804	0,0814	mg/dm^3
Zinc	0,0915	0,098	0,099	0,124	0,116	0,0973	mg/dm^3
Copper	0,0012	0,00815	0,0090	0,00715	0,00655	0,00983	mg/dm^3
Manganese	0	0,0001	0,0001	0	0	0,0001	mg/dm^3
Cadmium	0,001	0,0001	0	0	0,0001	0	mg/dm^3
Chromium	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0	mg/dm^3

Note: * - water samples from the Velyka Babka River; ** - water samples from the Molodova Pond

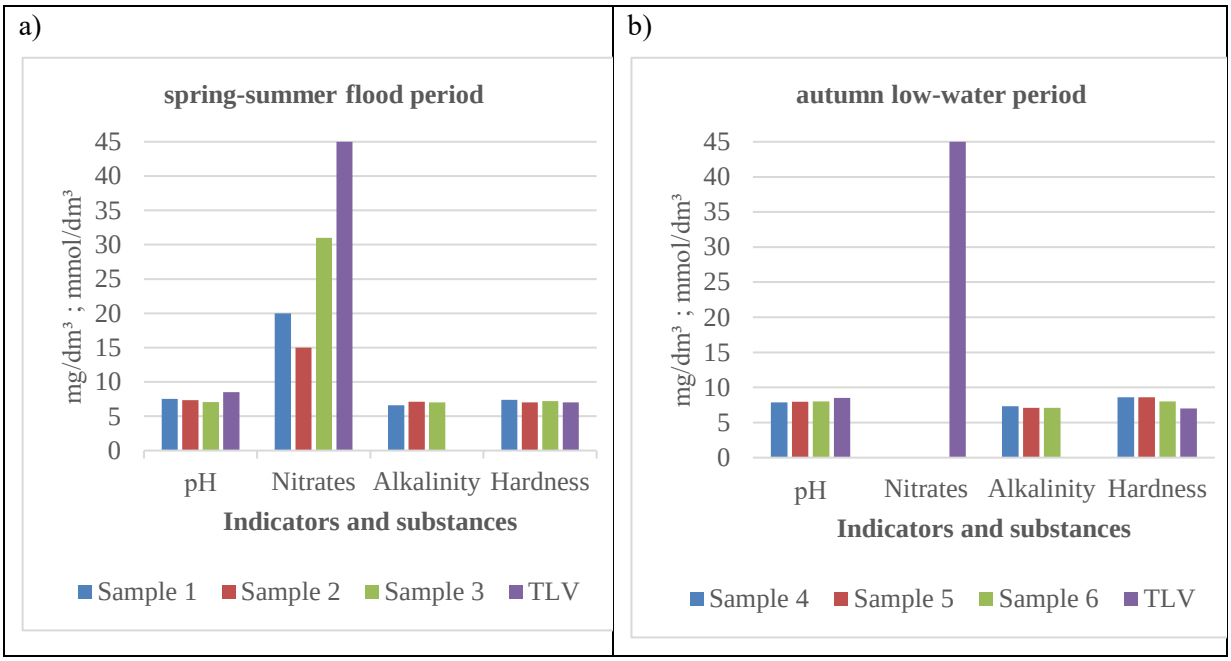


Fig. 3 – Individual hydrochemical indicators of water quality in the Velyka Balka River: a) during the spring-summer flood period; b) during the autumn low water period

conditions of neutral and acid-base balance of the environment. (Fig. 3, 4).

In the spring-summer floodplain and in the autumn low tide at all the study sites, there is no odor in water bodies with different speeds and self-purification capabilities. A slight presence of ammonia was recorded during the autumn low tide at all sites in the waters of the Velyka Babka River. This hydrochemical situation is explained by the deficiency of dissolved oxygen, inhibiting the nitrification process, which leads to the accumulation of ammonia in the water. Regarding transparency, high variability was observed with an amplitude of up to 3 cm typical for the river and from 2 cm to 10 cm in the pond. The highest amplitude in the river and in the pond is characteristic of sites that were laid in places of intensive recreational load, which explains the decrease in transparency. The transparency indicator plays an important role in the formation and functioning of ecological zones (layers), especially in pond conditions. The decrease in transparency during the low season limits the functioning of the pond ecosystems.

Particular attention is paid to the content of nitrites and nitrates in the conditions of agricultural use of the river basin and pond. The results of the research [35] showthat temporal heterogeneity, type of land use, population density and type of vegetation cover affect the sources of nitrates entering surface waters. Nitrates and nitrites are within the environmental standards according to [32]. Regarding nitrites, their content in the river waters increased during the low season (from 0.002 mg/dm^3 to 0.04 mg/dm^3) under the influence of agricultural lands, in the pond the content did not change and approached 0.001 mg/dm^3. The content of nitrates has certain features. We observe changing behavior of nitrates in the river waters during the spring-summer flood period from 15 mg/dm^3 to 31 mg/dm^3 and during the autumn low water period from 0 to 16 mg/dm^3 and their absence in the pond waters (Fig. 3,4).

This peculiarity of nitrate behavior is formed by several factors. First, these are seasonal hydrological conditions. In spring, rivers have a higher water exchange due to floods, which raise dissolved compounds, including nitrates, from the soil and groundwater. In addition, in spring, a significant dose of nitrogen fertilizers is applied during agricultural work, some of which is not immediately absorbed and is washed out into surface and groundwater; in spring, young vegetation is poorly developed and is not able to fully absorb nitrogen. However, the issue of the absence of nitrates in pond waters remains unresolved. This requires additional monitoring studies. According to the results of the studies, the con-

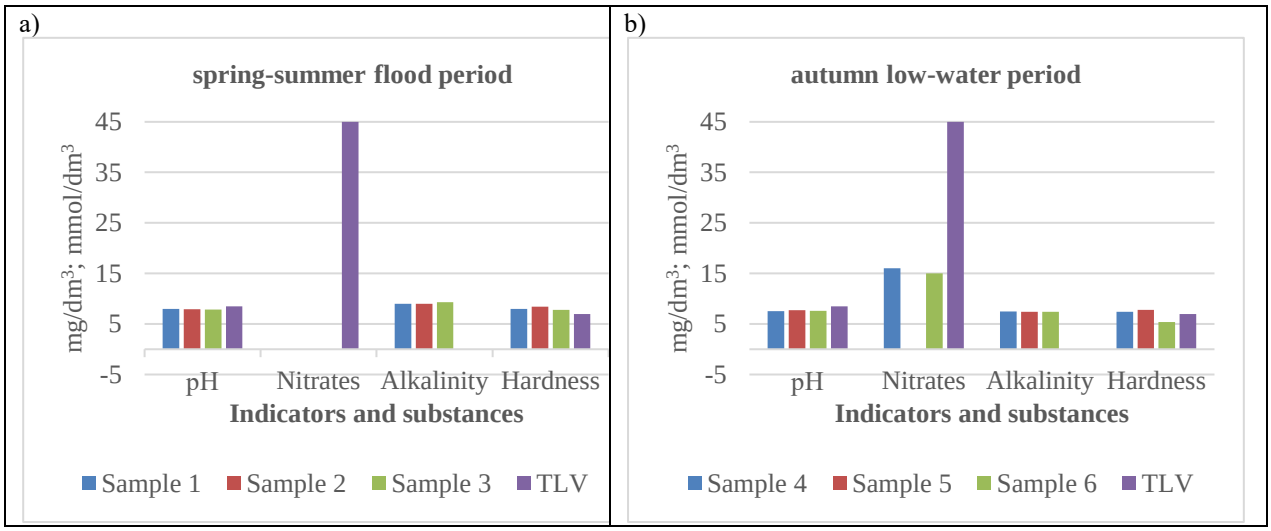


Fig. 4 – Individual hydrochemical indicators of water quality in the village of Molodova: a) during the spring-summer flood period; b) during the autumn low water period

tent of chlorides did not exceed the recommended hygienic standards [32]. During the spring-summer flood period, a slightly lower content of compounds in the pond (by 8 - 24 mg/dm^3) was observed compared to their content in the river. During the autumn low water period, the chloride content in the pond was 16 mg/dm^3 higher than in the river waters. Thus,we revealed a peculiarity of chloride behavior in fresh waters: during the autumn low water period, the amount of chlorites increases compared to the spring-summer water level in both hydrological objects and a higher concentration of chlorides was recorded in the pond compared to the river for two periods of observation (Fig. 3, 4). Such peculiarities of hydrochemical behavior are primarily explained by the increase in the chloride content in autumn by hydrological conditions: in autumn, rivers and ponds have a smaller inflow of fresh water, so the concentration of substances increases [36]. With a decrease in temperature in the air and in the upper layers of reservoirs and watercourses, the biological activity of plants and algae decreases, they do not absorb a significant amount of substances. Given that the pond is a closed system with slow water exchange, chlorides are concentrated in greater quantities.

Analysis of alkalinity indicators shows an increased buffering capacity of surface waters against acidification, high mineralization and water hardness. [36]. During the spring-summer flood period, alkalinity in river waters ranged from 6.6 mmol/dm^3 to 7.1 mmol/dm^3, in pond waters from 9 mmol/dm^3 to 9.3 mmol/dm^3 (Table 2, 3). During the autumn low water period, alkalinity in pond waters decreased, on average, by 1.9 mmol/dm^3. The hydrochemical feature is explained by a slightly increased acidity of pond waters during this period (Table 3) and the decomposition of organic matter, which led to a decrease in acidity. With a decrease in buffering, the ecosystem becomes more vulnerable to acidification. Geological monitoring is necessary so that the decrease in alkalinity does not exceed the permissible natural limits. For river waters, during the autumn low water period, there was an increase in alkalinity, on average, by 0.5 mg/dm^3. Higher alkalinity in the waters means a significant amount of dissolved salts (calcium, magnesium, sodium bicarbonates). This indicates a natural feature of the river basin (washing out of carbonate and gypsum rocks) and anthropogenic activity (liming of soils). Higher alkalinity is stressful for the ecosystem, leading to a decrease in species diversity; more salt-tolerant species will be characteristic of the ecosystem [36, 37, 38].

The results of water hardness studies confirmed the results of alkalinity and the features of its changes (Tables 2, 3). Water hardness increases. From 7.3 mmol/dm^3 in the river and 8.1 mmol/dm^3 in the pond (in average) during the spring-summer flood period to 6.8 mmol/dm^3 in the river and 8.4 mmol/dm^3 in the pond (in average) during the autumn low water. This hardness makes the water more mineralized, with an increased content of Ca^{2+} and Mg^{2+} [36, 37]. In general, the results show that the hardness index in pond waters is higher than in river waters; when comparing hardness at different periods,

we found thatduring the autumn low water period hardness was higherin pond waters. From a hydrological and hydrochemical point of view, the increase in hardness indices during the autumn low water period is natural, because there is a decrease in the inflow of water volumes (rain-free period, evaporation), which leads to an increase in salt concentrations [39]. Under such conditions, crustaceans and mollusks function well in ecosystems, while plankton and algae suffer from a lack of phosphates [36].

Analysis of heavy metals amount showed a low content in surface waters with changes in hydrological periods caused by various factors. Exceedance of ecological and recommended hygienic standards [32] was not recorded. Heavy metals have a tendency to decrease their content in water. The highest concentrations were recorded for zinc, iron and copper, and the lowest for chromium, manganese and cadmium [6]. Analysis of iron content indicates an increased amount in pond waters during the autumn low water period of 0.086 mg/dm^3 compared to the content in the river of 0.06 mg/dm^3 (Table 2, 3). The primary causes of such hydrochemical behavior are weak water exchange and the presence of stagnant water in the pond, which leads to a decrease in oxygen, so iron is not oxidized to poorly soluble forms [36]. However, we should take into consideration rather low iron values in water. The lower limit of iron content in rivers is 0.05 mg/dm^3, in ponds 0.1 mg/dm^3. The water meets physiological indicators, which does not create a stressful situation for the inhabitants of the ecosystem and its functioning. Zinc content during the autumn low water period in the pond is 0.11 mg/dm^3 (Table 3), which is higher than in the river (Tables 2, 3). The hydrological reasons for this may be convective mixing of water layers as a result of temperature changes and runoff from the fields where fertilizers were applied. The copper content shows a low amount of compounds in the river and in the pond in different periods. The physiological lower limit is met. There are certain features of the compounds content. An increase in copper compounds was found in waters of the pond site under the influence of motor vehicles during the autumn low water period, and a decrease in copper compounds in the river waters also for the first site (motor vehicle impact). On other sites, the indicators of copper compounds were practically unchanged. Thus, we observe the impact of anthropogenic activity on the formation of water quality and self-purification processes that improve water quality in the river. The manganese content was determined only at the sampling sites that were under recreational load for two periods and at the second site (fish farming impact) in the autumn low water period for the river. As for the pond, the content of manganese compounds was determined in the autumn low water period at the recreational load site. In general, as a result of anthropogenic impact,the hydrochemical behavior of manganese compounds in these conditions is formed. The content of cadmium compounds was recorded in the waters of the pond during the spring-summer flood period and in the waters of the river during the autumn low water period. A feature is thatcadmium compounds are constantly present at the second research site, fish farming being the main load on it, in the waters of both water bodies during both hydrological periods of the study. Analysis of chromium compounds behavior shows that the compounds are present in the waters of the river in two periods, during the spring-summer flood period the content is higher. In the pond waters, the content of chromium compounds is higher during the autumn low water period. Thus, significant factors influencing the hydrochemical behavior of heavy metal compounds are the processes of self-purification of water bodies and the intensity of anthropogenic load.

The WPI indicators were calculated for all the studied rivers, using our own research results and information from open sources [40, 41, 42]. The Uda River, according to the criteria for assessing water quality in 2015, belonged to the fifth class of water quality, i.e. “dirty”, the WPI value was 4.47. According to the results of the research in 2024, the river belonged to the third class of water quality with the following WPI values: the headwaters near the city of Eskhar had an WPI of 2.04, near the village of Zolochiv – WPI of 1.07, beyond the city of Kharkiv had an WPI of 1.70. This is the third class of water quality, “moderately polluted”. It is clear that closer to the river mouth the water quality of the Uda River deteriorates. Such an assessment of water quality is characteristic of the waters of many rivers that are under the load of industry and agriculture, as proven by the results of the research [43]. Compared to 2015, water quality indicators in the Udy River in

2024 indicate a significant improvement in the situation, but moderate pollution can still be foundalong the course.

For the Mozh River, beyond the town of Merefa, the WPI value is 1.03, at the mouth near the town of Zmiiv, the WPI is 1.05. This is the third class of water quality, “moderately polluted” (Fig. 5). For the Tetlega River, the WPI value is 1.39 – the third class of water quality, “moderately polluted water”.

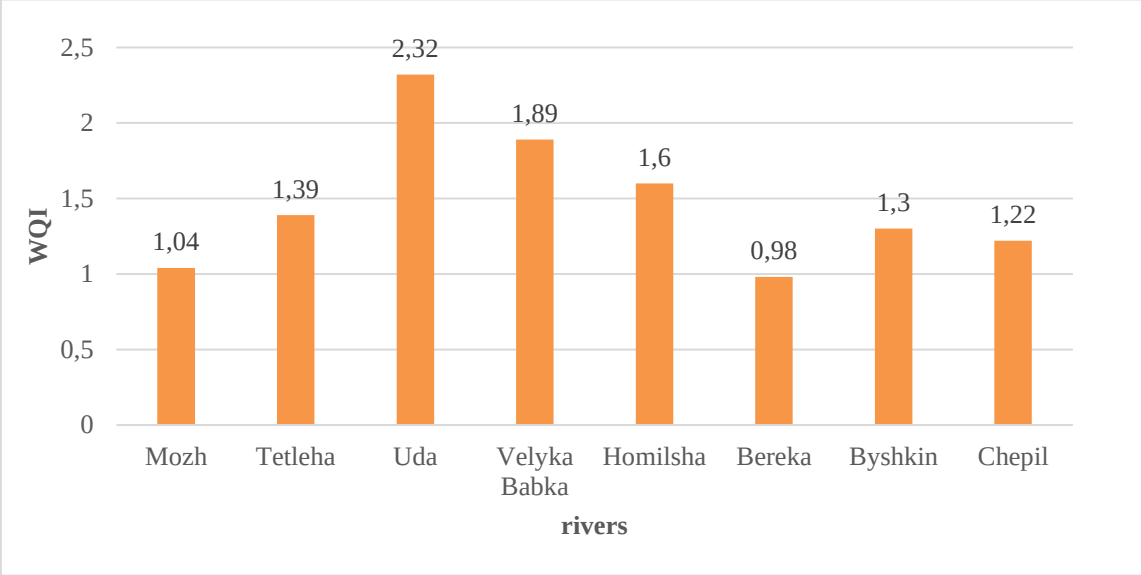


Fig. 5 - Water pollution indicators of rivers of the right-bank part of the Siverskyi Donets basin (Kharkiv region)

A potential factor for quality degradation is pollution in the form of sewage effluents. The WPI for the Velyka Babka River is 1.89, this is the third class of water quality– “moderately polluted”. The waters of the Gomilsha River belong to the third class of water quality (WPI – 1.6). Based on the average values of six mandatory indicators and focusing on the indicators of the Uda River, which flows nearby, an approximate WPI for the Bereka River was calculated, which is 0.98 (the second class of water quality is “clean water”) (Fig. 5). As for the Chepil River, we can assume thatbecause of absence of industrial and urban effluents in its basin, the average concentrations of substances will be approximately 25% of the indicators for the Siverskyi Donets, the WPI will be 1.22, the third class of water quality is “moderately polluted”, but the calculations require clarification. There are no direct hydrochemical observations for the Byshkin River in open sources. Therefore, for the most reliable assessment of water quality, the authors used monitoring results of a nearby tributary, the Rohan River [24], when calculating the WPI. The WPI was 1.3 (the third class of water quality - water "moderately polluted") (Fig. 5).

Conclusions

The study of surface water bodies on the right bank of the Siversky Donets River within Kharkiv region has shown that all the determined water quality indicators (pH, nitrites and nitrates, chlorides, alkalinity, heavy metals) corresponded to the maximum permissible concentrations, with the exception of hardness, which in most samples exceeded the standard, the maximum concentration was 8.6 mmol/dm³.

Calculation of the WPI for the studied rivers gave a value in the range of 1.03–2.04, which according to the classification refers water bodies to class III, moderately polluted. Only the Bereka River was classified as class II.

Although general condition of the water remains satisfactory, there is a need for measures to improve water quality, especially for such rivers as Udy, Mozh and Tetlega, the state of which is under the influence of enterprises and agricultural management.

The Chepil, Gomilsha, Bereka, Byshkin Rivers require detailed field hydrochemical studies in order to clarify the level of pollution.

Conflict of Interest

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

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work.

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. The Water Code of Ukraine: Code of Ukraine. 1995. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр#Text
2. Directive 2000/60/EU of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. 23 October 2000. Retrieved from http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:en:NOT
3. Sustainable Development Goals. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. 11 may 2018. Retrieved from https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/peretvorennya-nashoho-svitu-poryadok-dennyy-u-sferi-staloho-rozvytku-do-2030-roku (in Ukrainian)
4. Reshetchenko, S., & Dmitriev, S. (2022). Assessment of the ecological state of the Siverskyi Donets river basin within the Kharkiv region. *Problems of continuous geographical education and cartography*, *36*, 34–42. https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-36-04 (in Ukrainian)
5. Grachev A. Map of physical and geographical zoning of Ukraine (2010–2023). Retrieved from https://geomap.land.kiev.ua/zoning-1.html (in Ukrainian)
6. Khilchevskyi, V.K., Osadchyi, V.I., & Kurylo S.M. (2019). *Regional hydrochemistry of Ukraine*. Kyiv: VPC "Kyiv University" (in Ukrainian)
7. Hagger, V., Vanderklift, M. A., Beaumont, K. P., Olds, A., Dittman, S., & Lovelock, C.E. (2025). Biodiversity gains can be achieved with coastal wetland restoration for plants, invertebrates, birds, and bats. *Ecological Indicators, 178*, 113805. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113805
8. Geng, Y., Yu, R., Lu, X., Li, X., Wang, X., Zhao, Y., Liu, Q., Sun, H., & Wang, R. (2025) Aquatic plants govern CH_4 and CO_2 production and flux partitioning in lake emission pathways. *Ecological Indicators, 178*, 113864. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113864
9. Wang, Z., Yang, Y., Chen, G., Wu, Jian., & Wu, Jich. (2021). Variation of lake-river-aquifer interactions induced by human activity and climatic conditionin Poyang Lake Basin, China. *Journal of Hydrology*, *595* (5), 126058. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126058
10. Hrebin V. V. (2010). Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape and hydrological analysis). Kyiv: Nika Center. Retrieved from https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/03/10_n_lit_gidrol.pdf.pdf (in Ukrainian)
11. Khilchevsky, V.K., & Grebin, V.V. (2022). Water objects of Ukraine and recreational assessment of water quality: textbook. Kiev: DIA. (in Ukrainian)
12. Dobriyal, P., Badola, R., Tuboi, C. & Hussain, S.A. (2017). A review of methods for monitoring streamflow for sustainable water resource management. *Appl. Water Sci, 7*, 2617-2628. https://doi.org/10.1007/s13201-016-0488-y
13. Ratslav, V. V., & Borisenko, L. P. (2021). The Impact of the Armed Conflict on the Ecological Status of the Siverskyi Donets River Waters. In: Perspective trajectory of scientific research in technical sciences : collective monograph. Riga, Latvia : "Baltija Publishing".508. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-085-8-21
14. Jeong, C., Jeon, W.-H., & Moon, H. S. (2025). Effect of rainfall on spatiotemporal variation of hydrochemical and isotopic characteristics of the Coastal Lagoon (Songjiho) and groundwater in Korea. J*ournal of Hydrology: Regional Studies*, *58*, 102303. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102303
15. Pant, R. R., Awasthi, M. P., Khanal, B, Acharya, A., Poudel, P.S., Parajuli, R., Bohara, R., Chand, M. B., Bishwakarma, K., Thakur, T. K., & Kandel, K. (2025). Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water in the Badigad River Basin, Lesser Himalayas, Nepal. *Environmental Science and Pollution Research*. https://doi.org/10.1007/s11356-025-36821-6
16. Rybalova, O.V., Brigada, O.V., & Teslenko, V.S. (2018). Forecast of the ecological state of the Udy River in view of climate change in the Kharkiv region. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, *81*, 86-94. https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2018.81.0.86 (in Ukrainian)
17. Biryukov A. V. (2020). Assessment of Surface Water Quality in the Udy` River Basin. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 33, 48-56. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-33-04
18. Kharkiv Regional State Administration (2023). *Ecological passport of the Kharkiv region for 2023*: Retrieved from https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/128134 (in Ukrainian)
19. Kharkiv Regional Military Administration (December 7, 2018). *Three new nature reserves were created in Kharkiv region.* Retrieved from https://kharkivoda.gov.ua/news/96351 (in Ukrainian)
20. Gomolsha Forests National Nature Park (August 8, 2022). *About us - Gomilshany Forests National Nature Park*. Retrieved from https://gomilsha.org.ua/pro-nas/ (in Ukrainian)

21. Kharkiv Regional State Administration (2022). Regional report on the state of the environment in Kharkiv region for 2021. Retrieved from https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/Regionalna-dopovid-Harkivskoyi-obl.-2021.pdf (in Ukrainian)
22. EcoPolitics (January 30, 2024). Sewage systematically pollutes the river near Kharkiv: activists predict environmental disaster. Retrieved from https://ecopolitic.com.ua/ua/news/pid-harkovom-kanalizacijni-stoki-sistematichno-zabrudnjujut-richku-aktivisti-prorokujut-ekoliho/ (in Ukrainian)
23. Makieieva, D. S., Gololobova, O. O., & Cherkashyna, N. I. (2023). Enviromental consequences of war for eastern Ukraine. In. N. V. Maksymenko, N. I. Cherkashyna (Eds.). *Ecology is a priorit: All-Ukrainian English-speaking student conference* (pp. 49-51). V. N. Karazin National University. Retrieved from https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2023/04/ecology-is-a-a-priority-zbirka-2023-final.pdf
24. Zhuk V.M. (2015). Assessment of water use intensity in Kharkiv region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Ecology", 12* (№1147), 62–68. Retrieved from https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/download/3922/3489/ (in Ukrainian)
25. Chuhuiv City Council (2024). *Report on the Strategic Environmental Assessment of the Draft State Planning Document "General Plan of Tetleha Village, Chuhuiv District, Kharkiv Region*". Retrieved from https://chuguiv-gromada.gov.ua/wp-content/uploads/2024/04/zvit-seo-tetlega-2.pdf (in Ukrainian)
26. Makieieva D. S., Rychak N. L., & Cherkashyna N. I.(2025). Ecological state of the minor rivers on the right bank of the Siverskyi Donets. In N. V. Maksymenko, N. I. Cherkashyna (Ed.), *Ecology is a priority: All-Ukrainian English-speaking student conference* (pp. 71-73). V. N. Karazin National University. Retrieved from https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/20978
27. Singh, B.,·& Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences. 3(4):518.* https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8
28. State Enterprise "Ukrainian Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality" (2003). *Water quality. Sampling. Part 1: Guidelines for the design of sampling programs* (DSTU ISO 5667-1:2003). Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48494 (in Ukrainian)
29. State Enterprise "Ukrainian Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality" (2009). Water quality. Sampling of water. Part 6. Guidelines for sampling rivers and streams (DSTU ISO 5667-6:2009). Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64511 (in Ukrainian)
30. State Enterprise "Ukrainian Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality" (2001). Water quality. Sampling of water. Part 3. Guidelines for the storage and handling of samples (DSTU ISO 5667-3-2001). Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54648 (in Ukrainian)
31. Verkhovna Rada of Ukraine. (2010). *State Sanitary Rules and Norms 2.2.4-171-10. Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption*. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text
32. Verkhovna Rada of Ukraine. (2022). *Hygienic Standards water quality of water bodies to meet the drinking, household and other needs of the population*. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/go/z0524-22
33. Lueders M.B., & Mc Manamay R.A. (2023). Species depletion profil esasanalternative to streamflow alteration thresholds in a hydroecological risk assessment. *Ecological Indicators, 147* (4), 109989. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109989
34. Yurasov, S.M., Safranov, T.A.,& Chugai A.V. (2012). Assessment of the quality of natural waters: a textbook. Odesa: Ecology. (in Ukrainian)
35. Wang, X., Liu, Z., Jun, X. Y., Mao, B., Jia, S., Wang, C., Ji, X., & Lv, Q. (2025). Revealing nitrate sources seasonal difference between groundwater and surface water in China's largest fresh water lake (Poyang Lake): Insights from sources proportion, dynamic evolution and driving forces. *Science of The Total Environment, 958*, 178134 . https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178134
36. Romanenko, V.D. (2001). Fundamentals of hydroecology: textbook. Kiev: Oberegi. (in Ukrainian)
37. Rychak, N.L., & Bogatyr, V.O. (2018). Influence of the urban landscape geosystem on the salt composition of river waters. *Man and Environment. Issues of Neoecology, (*30), 112-122. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-09 (in Ukrainian)
38. Rychak, N.L., Kizilova, N.M. (2021). Salinization of river waters in the conditions of urban landscape geosystem and climate warming. *Bulletin of Kremenchuk M. Ostrohradskyi National University, 4,* 67-75**.** https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.4.67-74 (in Ukrainian)
39. Makieieva, D.S, & Rychak, N.L.(2024). Research of water hardness for fishery and recreational facilities. In *Environmental Protection: Collection of Scientific Papers from the 20th All-Ukrainian Taliev Readings. Kharkiv: V. N. Karazin National University*. 163–165. Retrieved from https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452 (in Ukrainian)
40. Kharkiv Regional Military Administration (2025). *Analytical report on the environmental situation in Kharkiv and Kharkiv region as of March 2025*. Retrieved from https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/131109 (in Ukrainian)
41. Siverskyi Donets Basin Water Resources Administration (2025*). Qualitative state of water bodies in the Siverskyi Donets sub-basin in June 2025.* Retrieved from *https://sdbuvr.gov.ua/news* (in Ukrainian)
42. Siverskyi Donets Basin Water Resources Administration (2025*). Qualitative state of water bodies in the Siverskyi Donets sub-basin in May 2025.* Retrieved from *https://sdbuvr.gov.ua/news* (in Ukrainian)

43. Chabuk, A., Al-Madhlom, Q., Al-Maliki, A., Al-Ansari, N., Hussain, H. M. & Laue, J. (2020). Water quality assessment along Tigris river (Iraq) using water quality index (WQI) and GIS software. *Arabian Journal of Geosciences, 13*, 654, 1-23. https://doi.org/10.1007/s12517-020-05575-5

Submission received: 31.07.2025 / Revised: 08.09.2025 / Accepted: 11.10. 2025 / Published: 30.12. 2025

Н. Л. РИЧАК[1], канд. географ. наук, доц.,
доцент кафедри екології та менеджменту довкілля
e-mail: rychak@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1620-3059

Н. І. ЧЕРКАШИНА,[1]
старший викладач кафедри іноземних мов професійного спрямування,
e-mail: n.i.cherkashyna@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4066-2530

Д. С. МАКЄЄВА[1],
бакалавр,
e-mail: makieieva2021.9685818@student.karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-6561-2608
[1] *Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ПРАВОБЕРЕЖНОЇ ЧАСТИНИ БАСЕЙНУ СІВЕРСЬКОГО ДІНЦЯ (ХАРКІВСЬКА ОБЛАСТЬ)

Мета. Визначити сезонні мінливості гідрохімічного складу поверхневих вод та оцінити екологічний стан водних об'єктів правобережжя Сіверського Донця в межах Харківської області.

Методи. Польові дослідження, аналітичні, системний аналіз, методологія визначення індексу забруднення води (WQI) ґрунтується на використанні методів агрегації.

Результати. Надано аналіз результатів екологічного оцінювання якості вод правобережних приток Сіверського Дінця, що протікають Харківською областю під час весняно-літнього водопілля та осінньої межені 2024 р. у річці Велика Бабка та ставку Молодова на шести репрезентативних створах, що відображають різне господарське використання. Визначено органоліптичні, фізико-хімічні показники та вміст важких металів. За результатами можна зазначити, що усі гігієнічні показники окрім жорсткості відповідали нормам. Оцінювання екологічної якості річок правобережної частини басейну Сіверського Донця здійснювалась на основі визначення індексу забруднення води на підставі власних польових досліджень та інформації з відкритих джерел. Серед наявних джерел забруднення виявлено міські комунальні стоки, працюючі підприємства, наслідки ведення сільського господарства, наслідки військових дій (р. Велика Бабка), дифузний вплив від сусідніх приток.

Висновки: За індексом забруднення поверхневих вод всі річки правобережжя Сіверського Дінця належать до III класу забруднення, помірно забруднені, лише р. Берека віднесена до II класу. Хоча загальний стан води залишається задовільним, є необхідність в заходах покращення якості води, особливо для таких річок як Уди, Мжа та Тетлега, на стан яких впливають підприємства та ведення сільського господарства. Річки Чепіль, Гомільша, Берека, Бишкін потребують проведення детальних польових гідрохімічних досліджень з метою уточнення рівня забруднення

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *поверхневі води, гідрохімічні показники, індекс забруднення води, басейн Сіверського Дінця*

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису. Крім того, автори повністю дотримувалися етичних норм, включаючи уникнення плагіату, фальсифікації даних та дублювання публікацій.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. The Water Code of Ukraine: Code of Ukraine dated 06.06.1995 No. 213/95-VR, as of November 15, 2024. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр#Text (дата звернення: 23.02.2024)

2. Directive 2000/60/EU of the European Parliament and of the Council "One stablishing the frame work for Community activities in the field of water policy" dated October 23, 2000 Офіційний вісник Європейського Союзу. 2000. L0060 URL: ttp://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:en:NOT
3. Цілі сталого розвитку. Перетворення нашого світу: Порядок денний в області сталого розвитку на період до 2030 року. *Система електронного розповсюдження документів Організації Об'єднаних Націй.* URL: https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/92/PDF/N1529192.pdf?OpenElement
4. Решетченко С., Дмітрієв С. Оцінка екологічного стану річкового басейну Сіверського Дінця у межах Харківської області. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2022. Вип.. 36. Р. 34–42. https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-36-04
5. Грачов А. Карта фізико-географічного районування України 2010–2023. URL: https://geomap.land.kiev.ua/zoning-1.html
6. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с.
7. Hagger V., Vanderklift M. A.,.Beaumont K. P, Olds A., Dittman S., Lovelock C.E. Biodiversity gains can be achieved with coastal wetland restoration for plants, invertebrates, birds, and bats. *Ecological Indicators.* 2025. Vol. 178. 113805. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113805
8. Y. Geng Y., Yu R. , Lu X. , Li X., Wang X., Zhao Y., Liu Q., Sun H., Wang R. Aquatic plants govern CH_4 and CO_2 production and flux partitioning in lake emission pathways. *Ecological Indicators.* 2025. Vol. 178. 113864. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113864
9. Wang Z., Yang Y., Chen G. et al. Variation of lake-river-aquifer interactions induced by human activity and climatic conditionin Poyang Lake Basin, China. *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 595. N 5. 126058. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126058
10. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/03/10_n_lit_gidrol.pdf.pdf
11. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Water objects of Ukraine and recreational assessment of water quality: textbook. Kiev: DIA, 2022. 240 p.
12. Dobriyal P., Badola R., Tuboi C. et al. A review of methods for monitoring streamflow for sustainable water resource management. *Appl. Water Sci.* 2017. № 7. P. 2617-2628. https://doi.org/10.1007/s13201-016-0488-y
13. Рацлав В. В., Борисенко Л. П. Вплив збройного конфлікту на екологічний стан вод Сіверського Дінця. Perspective trajectory of scientific research in technical sciences : collective monograph. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2021. С.508. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-085-8-21
14. C. Jeong, W.-H. Jeon, H. S. Moon. Effect of rainfall on spatiotemporal variation of hydrochemical and isotopic characteristics of the Coastal Lagoon (Songjiho) and groundwater in Korea. J*ournal of Hydrology: Regional Studies*. 2025. Volume 58. 102303. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102303
15. Pant R. R., Awasthi M. P., . Khanal B, Acharya A., P. Poudel, S. Parajuli, R.Bohara, M. B. Chand, K. Bishwakarma, T. K. Thakur & K. Kandel (2025). Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water in the Badigad River Basin, Lesser Himalayas, Nepal. *Environmental Science and Pollution Research*. https://doi.org/10.1007/s11356-025-36821-6
16. Рибалова О.В., Бригада О.В.. Тесленко В.С. Прогноз екологічного стану річки Уди з урахуванням кліматичних змін у Харківській області Вістник харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2018. Вип. 81. С. 86-94. https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2018.81.0.86
17. Biryukov A. V. Assessment of Surface Water Quality in the Udy` River Basin.*Man and Environment. Issues of Neoecology*. 2020. No. 33. P. 48-56. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-33-04
18. Харківська обласна державна адміністрація. *Екологічний паспорт Харківської області за 2023 рік* Харківська обласна державна адміністрація. Харків, 2023. 21 с. URL: https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/128134
19. На Харківщині створено три нові заказники. *Харківська обласна військова адміністрація*. URL: https://kharkivoda.gov.ua/news/96351
20. Про нас - Національний природний парк "Гомільшанські ліси". *Національний природний парк "Гомільшанські ліси"*. URL: https://gomilsha.org.ua/pro-nas/
21. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області за 2021 рік. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.* Київ, 2022. 160 с. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/Regionalna-dopovid-Harkivskoyi-obl.-2021.pdf
22. Під Харковом каналізаційні стоки систематично забруднюють річку: активісти пророкують екологічне лихо. *ЕкоПолітика*. URL: https://ecopolitic.com.ua/ua/news/pid-harkovom-kanalizacijni-stoki-sistematichno-zabrudnjujut-richku-aktivisti-prorokujut-ekoliho/
23. Makieieva D. S., Gololobova O. O., Cherkashyna N. I. Enviromental consequences of war for eastern Ukraine / Ecology is a priority : All-Ukrainian English-speaking student conference, april 19, 2023, Kharkiv Ed.: N. V. Maksymenko, N. I. Cherkashyna. Kharkiv: V. N. Karazin National University, 2023. С. 49-51. URL: https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2023/04/ecology-is-a-a-priority-zbirka-2023-final.pdf
24. Жук В. М. Оцінка інтенсивності водокористування в Харківській області *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія».* 2015. № 1147 (вип. 12). С. 62–68. URL: https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/download/3922/3489/

25. Чугуївська міська рада. *Звіт про стратегічну екологічну оцінку проєкту документа державного планування «Генеральний план села Тетлега Чугуївського району Харківської області»* Чугуїв, 2024. С. 17. URL: https://chuguiv-gromada.gov.ua/wp-content/uploads/2024/04/zvit-seo-tetlega-2.pdf
26. Makieieva D. S., Rychak N. L., Cherkashyna N. I. Ecological state of the minor rivers on the right bank of the Siverskyi Donets In N. V. Maksymenko, N. I. Cherkashyna (Eds.). *Ecology is a priority : All-Ukrainian English-speaking student conference, march 14, 2025, Kharkiv – Kharkiv: V. N. Karazin National University*, 2025. С. 71-73. URL: https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/20978
27. Singh B.,· Craswell E. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences.* 2021. Vol.3. No 4. P.518. https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8
28. ДСТУ ISO 5667-1:2003 Якість води. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо проекту програм проведення відбирання проб. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48494
29. ДСТУ ISO 5667-6:2009 Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок і струмків (ISO 5667-6:2005, IDT) URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64511
30. ДСТУ ISO 5667-3-2001 Якість води. Відбирання проб. Частина 3. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами (ISO 5667-3:1994, IDT) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54648
31. Verkhovna Rada of Ukraine.(2010).*State Sanitary Rules and Norms 2.2.4-171-10.Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption*.URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text
32. Verkhovna Rada of Ukraine.(2022)*Hygienic Standards water quality of water bodies to meet the drinking, household and other needs of the population*.URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0524-22
33. LuedersM.B., Mc Manamay R.A. Species depletion profil esasanalternative to streamflow alteration thresholds in a hydroecological risk assessment. *Ecological Indicators.* 2023. Vol. 147 (4):109989. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109989
34. Юрасов С.М., Сафранов Т.А., Чугай А.В. Оцінка якості природних вод: Одеса: Екологія, 2012.-168с 4).
35. Wang X., Liu Z., Lv Q. Revealing nitrate sources seasonal difference between groundwater and surface water in China's largest fresh water lake (Poyang Lake): Insights from sources proportion, dynamic evolution and driving forces. *Science of The Total Environment*. 2025. Vol. 958. 178134. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178134
36. Романенко В.Д. Основи гідроекології. К.: Обереги, 2001. 728 с
37. Ричак Н.Л., Богатир В.О. Вплив урболадшафтної геосистеми на сольовий склад річкових вод *Людина та довкілля. Проблеми неоекології». 2018.* Т. 30. С. 112-122
38. Ричак Н.Л., Кізілова Н.М. Засолення річкових вод в умовах урболадшафтної геосистеми і потепління клімату. *Вісник Кременчуського національного університету імені М. Остроградського.* 2021. Вип. 4. С. 67-75**.** https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.4.67-74
39. Макеєва Д.С., Ричак Н.Л. Дослідження твердості води для об'єктів рибогосподарського та рекреаційного призначення. Охорона довкілля.: матер XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань 25 жовтня 2024 року ХНУ імені В.Н. Каразіна, Харків, 25 жовтня 2024р. С.163-166. URL: https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/12/taliev-2024.pdf
40. Харківська обласна військова адміністрація. *Аналітична довідка щодо екологічного стану м. Харкова та Харківської області за березень 2025 року*. Харків, 2025. URL: https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/131109
41. Якісний стан водних об'єктів суббасейну СіверськогоДінця у червні 2025 р. *Сіверсько-Донецьке басейнове управління водних ресурсів.* URL: https://sdbuvr.gov.ua/news (дата звернення 05.07. 2025)
42. Якісний стан водних об'єктів суббасейну СіверськогоДінця у травні 2025 р. *Сіверсько-Донецьке басейнове управління водних ресурсів.23.06.2025.* URL: https://sdbuvr.gov.ua/news (дата звернення 05.07. 2025)
43. Chabuk A., Al-Madhlom Q., Al-Maliki A. et al. Water quality assessment along Tigris river (Iraq) using water quality index (WQI) and GIS software. *Arabian Journal of Geosciences.* 2020. Vol. 13:654 P. 1–23. https://doi.org/10.1007/s12517-020-05575-5

Отримано: 31.07.2025 / Переглянуто: 08.09.2025 / Прийнято: 11.10. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-02
УДК (UDC) 338.46:628.1(477.82)-047.44

В. О. ФЕСЮК, д-р геогр. наук, проф.,
професор кафедри фізичної географії
e-mail: fesyuk@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3954-9917
Волинський національний університет імені Лесі Українки,
пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43025, Україна

І. А. МОРОЗ, канд. хім. наук, доц.,
доцент кафедри харчових технологій та хімії
e-mail: i.moroz@lntu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9167-4876
Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018, Україна

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ВОДОКОРИСТУВАННЯ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Мета. Провести кількісну оцінку основних тенденцій водокористування у Волинській області, проаналізувати динаміку обсягів водозабору за основними секторами та виявити ключові чинники, що впливають на зміну структури та обсягів використання водних ресурсів.

Методи. Статистичний аналіз, системний підхід, прогнозне моделювання та сценарний аналіз.

Результати. Водний баланс Волинської області бездефіцитний, наявні ресурси повністю покривають потреби регіону. У 2024 р. загальний водозабір становив 45,71 млн.м³, з яких 36,3 млн.м³ – підземні води. Використовується лише близько 4% їх прогнозних запасів. Основними водокористувачами є житлово-комунальний сектор (50%), сільське господарство та промисловість. Ключовою проблемою є значні втрати води під час транспортування (майже 17%). Обсяг скинутих стічних вод становив 29,08 млн.м³, з них більшість – очищені. Очисні споруди працюють на межі потужності, що створює ризики погіршення якості води у річках Прип'яті та Західного Бугу. Негативними наслідками є локальні перевищення вмісту біогенних речовин у воді та проблеми децентралізованого водопостачання. Загалом водогосподарська система області стабільна, але потребує модернізації очисних споруд, мереж водопостачання та водовідведення, посилення екологічного контролю.

Висновки. Гідроекологічні проблеми Волині комплексні та зумовлені зношеною інфраструктурою, зростанням стічних вод і впливом агросектору, що призводить до погіршення самоочисної здатності водойм. Водночас спостерігаються позитивні зміни: розвиток повторного водокористування, модернізація очисних споруд, ощадливіші технології. Пріоритетами є зменшення втрат води, модернізація очисних споруд, розвиток замкнених циклів у промисловості, водозбереження в агросекторі, цифровий моніторинг, інтегроване управління та ширше залучення громадськості до вирішення проблем водокористування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *водокористування, споживання води, скид стічних вод, сталий розвиток, стан водних ресурсів, гідроекологічна проблема*

Як цитувати: Фесюк В. О., Мороз І. А. Кількісна оцінка сучасних тенденцій водокористування у Волинській області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 25-34. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-02

In cites: Fesyuk, V. O., & Moroz, I. A. (2025). Quantitative assessment of current trends in water use in Volyn region. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 25-34. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-02 (in Ukrainian)

Вступ

Вода є найважливішим природним ресурсом для функціонування усіх сфер людської діяльності та підтримки природних екосистем. На сучасному етапі розвитку людства проблема раціонального та ефективного водокористування особливо актуальна, оскільки

© Фесюк В. О., Мороз І. А., 2025

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

глобальні зміни клімату, урбанізація та інтенсифікація виробництва суттєво впливають на стан водних ресурсів [1]. Дуже важливими в цьому контексті є дослідження саме на регіональному рівні. Саме на цьому рівні реалізуються більшість програм раціонального використання та охорони водних об'єктів.

Волинська область має значний потенціал водних ресурсів, численні річки, озера та підземні водоносні горизонти. Саме тут формується поверхневий стік верхів'їв Прип'яті, однієї із найбільших приток Дніпра. Фактично, Волинь – це один із регіонів, що відіграє надзвичайно важливу роль у водозабезпеченні держави. Дослідження сучасних тенденцій водокористування у Волинській області має критичне значення для розуміння динаміки змін використання водних ресурсів, їх впливу на економіку регіону та якість навколишнього середовища [2]. За останні десятиліття спостерігаються суттєві трансформації у структурі водокористування, пов'язані з розвитком агропромислового комплексу, зміною клімату та впровадженням нових технологій. Однак комплексна кількісна оцінка цих тенденцій досі залишається недостатньо дослідженою на регіональному рівні.

Мета дослідження – провести кількісну оцінку основних тенденцій водокористування у Волинській області, проаналізувати динаміку обсягів водозабору за основними секторами (сільське господарство, промисловість, комунально-побутові потреби) та виявити ключові чинники, що впливають на зміну структури та обсягів використання водних ресурсів.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю оперативної верифікації інформації про стан та тенденції водокористування для розробки ефективної регіональної політики управління водними ресурсами[3]. Волинська область, у зв'язку із географічними особливостями, зокрема, як частина басейну р. Західний Буг, має важливе значення для транскордонної водогосподарської співпраці. Це потребує глибокого розуміння локальних особливостей водокористування.

Наукова новизна статті полягає у систематизації та комплексному аналізі статистичних даних щодо водокористування у Волинській області, виявленні закономірностей та прогнозуванні подальших тенденцій розвитку. Практичне значення дослідження визначається обґрунтованими рекомендаціями для органів місцевого управління та водогосподарських організацій щодо оптимізації водокористування та забезпечення сталого розвитку регіону.

Питаннями оцінки сучасних тенденцій водокористування на рівні окремих країн чи регіонів займались багато науковців. Зокрема, в роботі [4] проводилось моделювання глобального водного стресу в контексті тенденцій попиту на воду та зміни клімату, у [5] розроблено прогнози сталого розвитку глобального водокористування. Прогнозна оцінка ефективності водного режиму та змін водоспоживання на осушених землях Західного Полісся України в умовах зміни клімату проведена у статті [6]. Раціональне водокористування як чинник національної безпеки України проаналізовано в роботі [7]. У контексті дослідження водокористування у Волинській області слід згадати роботи [8, 9, 10], статті про сучасний стан водокористування у басейні Прип'яті Волинської області [11], Західного Бугу [12], Стиру [13].

Методи дослідження

Об'єктом дослідження є процеси водокористування та стан водних ресурсів Волинської області. У XXI ст. вода набуває статусу критичного природного ресурсу. Вона вже не лише є лімітуючим чинником розвитку (розміщення) виробництва та збереження природних екосистем. Зростаючий попит на прісну воду та її нерівномірний розподіл створюють передумови для геополітичних напружень та конфліктів. Фактично вода стає чинником геополітичного впливу. Причому її вага та значення з часом будуть лише посилюватись. На цьому тлі відбувається концептуальна трансформація глобальної водної політики, що характеризується такими ключовими тенденціями:

1. Інтенсифікація аграрного водоспоживання та впровадження технологій точного зрошення. Сільське господарство, споживаючи близько 70% світових водних ресурсів, є домінуючим водокористувачем. Зростання попиту на продовольство у світі стимулює перехід до ресурсоощадних технологій (мікроіригація, сенсорні системи монітори-

нгу ґрунту, крапельне зрошення), що дозволяє оптимізувати використання води та мінімізувати втрати [14].

2. Перехід до моделей «циркулярної економіки» у промисловості, впровадження концепцій Zero Liquid Discharge та замкненого водопостачання, що передбачають глибоке очищення та повторне використання технологічних вод, зменшення навантаження на водні ресурси [14].

3. Басейновий підхід та інтегроване управління водними ресурсами, що дозволяють комплексно враховувати гідроекологічні, соціально-економічні та екологічні чинники.

4. Екологізація водокористування, зміщення акцентів у бік визнання екологічної цінності водних екосистем. Вода розглядається не лише як ресурс, але і як середовище існування, що потребує збереження та відновлення [4].

5. Цифровізація управління водними ресурсами, впровадження концепції Water 4.0, використання ГІС, ДЗЗ, IoT, AI та Big Data дозволяє створити цифрові моделі гідроекосистем, що забезпечують оперативне управління, прогнозування та оптимізацію використання водних ресурсів у реальному часі.

6. Перехід до платного водокористування та впровадження економічних стимулів для раціонального використання водних ресурсів.

7. Міжнародне співробітництво, міжнародна кооперація у сфері управління транскордонними водними ресурсами

8. Збільшення частоти та масштабів екстремальних кліматичних та гідрологічних явищ, що вимагає розробки та впровадження адаптаційних стратегій, спрямованих на підвищення стійкості водних екосистем [6].

9. Підвищення ролі громадськості, відкритість інформації та громадський моніторинг якості води стають важливими чинниками ефективного управління водними ресурсами [7].

Отже, для сучасної парадигми глобального водокористування характерний перехід від екстенсивної до інтенсивної моделі, яка ґрунтується на засадах сталого розвитку, екологічної безпеки, інноваційних технологіях та інтегрованому управлінні, орієнтована на досягнення балансу між економічними інтересами та збереженням водних екосистем.

Дослідження базується на аналізі статистичних даних та фондових матеріалів Головного управління статистики у Волинській області [15], Управління екології та природних ресурсів Волинської обласної військової адміністрації [16](Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2024 р., Екологічний паспорт Волинської області), Державного агентства водних ресурсів, Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області, результатів польових спостережень та наукових публікацій у галузі гідрологічних та водогосподарських досліджень.

Для об'єктивної оцінки сучасного стану та визначення тенденцій розвитку водокористування у Волинському регіоні використано наступні методи: статистичний аналіз (збір та систематизація даних, динамічний аналіз, структурний аналіз, порівняльний аналіз), системний підхід (аналіз взаємозв'язків, виявлення чинників впливу), прогнозне моделювання та сценарний аналіз (побудова прогнозних моделей, оцінка ризиків).

Результати дослідження та обговорення

Водний баланс Волинської області за останні роки бездефіцитний, водні ресурси достатні для задоволення потреб усіх галузей економіки. Загальний обсяг забору води з природних джерел склав у 2024 р. 45,71 млн.м³, що на 4,33% перевищує показник попереднього року (43,729 млн.м³).

Водозабір базується, переважно, на використанні підземних джерел, з яких було вилучено 36,3 млн.м³. Експлуатаційний запас підземних вод області оцінюється у 990 млн. м³. Обсяг води, фактично використаної 504 основними водокористувачами у 2024 р. (31,762 млн.м³), становить лише 4% від прогнозного запасу. Це свідчить про наявність суттєвого ресурсу як для задоволення комунально-побутових потреб, так і для промислового сектору. Забір води з поверхневих водних об'єктів становив 9,41 млн.м³ [15].

Розподіл використаної води за галузями (рис. 1) свідчить про переважання житлово-комунального господарства (50%), за яким слідують сільське господарство (20%), промисловість (переважно харчова та цукрова галузі) та рибне господарство – по 9% кожна з галузей. Інші споживачі сукупно використовували 12% обсягу. Втрати води в процесі транспортування становили 16,9% від загального обсягу забору [15]. Це дуже багато.

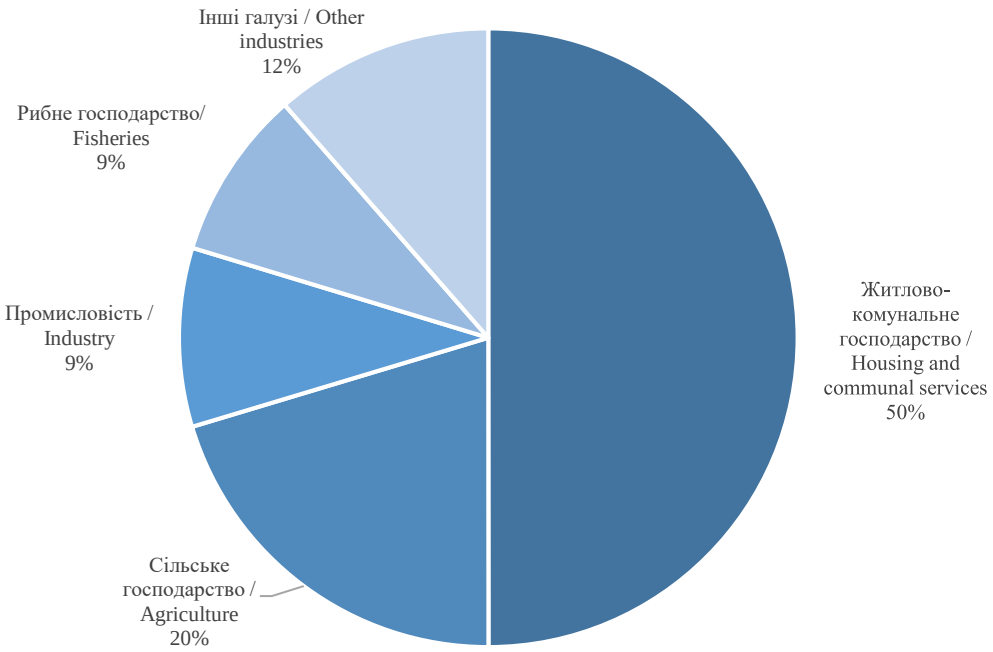


Рис. 1 – Структура використання води за галузями економіки у 2024 р., % (за даними. [15])

Fig. 1 – Structure of water use by sectors of the economy in 2024, % (according to [15])

На території області функціонують очисні споруди різних типів, переважна більшість з них забезпечують повну біологічну очистку. Їх сумарна потужність становить 75,795 млн.м³. У 2024 р. нормативно очищених зворотних вод скинуто (рис. 2) 20,29 млн.м³, в т.ч. 20,26 млн.м³ пройшли біологічну очистку. 5,69 млн.м³ нормативно чистих вод скинуто без додаткової очистки [15].

В області реалізується Регіональна екологічна програма «Екологія 2023-26». Одним із пріоритетів її заходів є підтримка та оптимізація водних ресурсів.

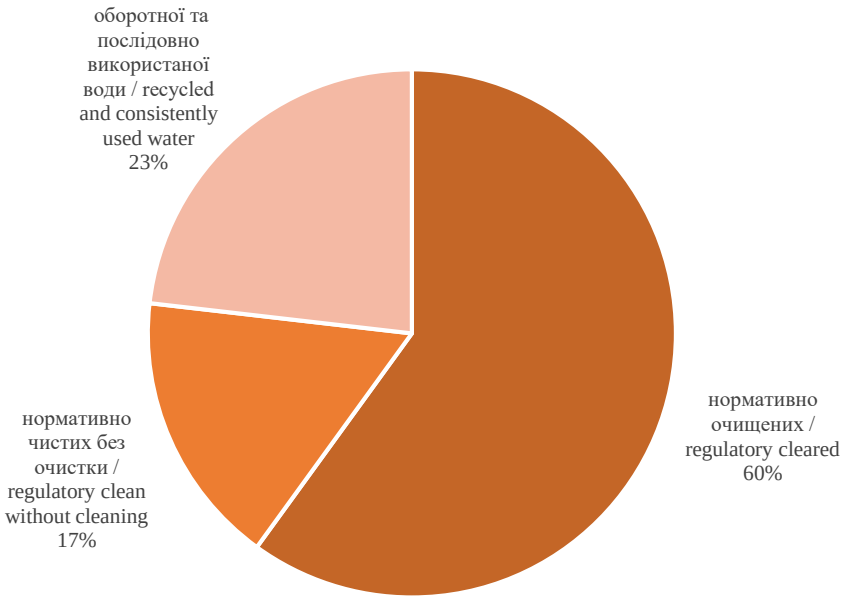


Рис. 2 – Структура відведення стічних вод у 2024р., % (за даними [15])

Fig. 2 – Structure of wastewater disposalfor 2024, % (according to [15])

Зокрема, у 2024 р. заходи програми [15] включали:

- Розвиток каналізаційного господарства. Продовження реконструкції каналізаційних мереж (Берестечківський психоневрологічний інтернат), нове будівництво в с. Пульмо, а також реконструкція мережі та насосних станцій у сел. Шацьк та урочищі «Гряда».
- Захист від шкідливої дії води, запобігання підтопленню сільськогосподарських угідь та населених пунктів. Проведення капітальних ремонтів мереж водовідведення та очищення меліоративних каналів на територіях Павлівської, Турійської, Дубівської, Ратнівської та Литовезької територіальних громад.

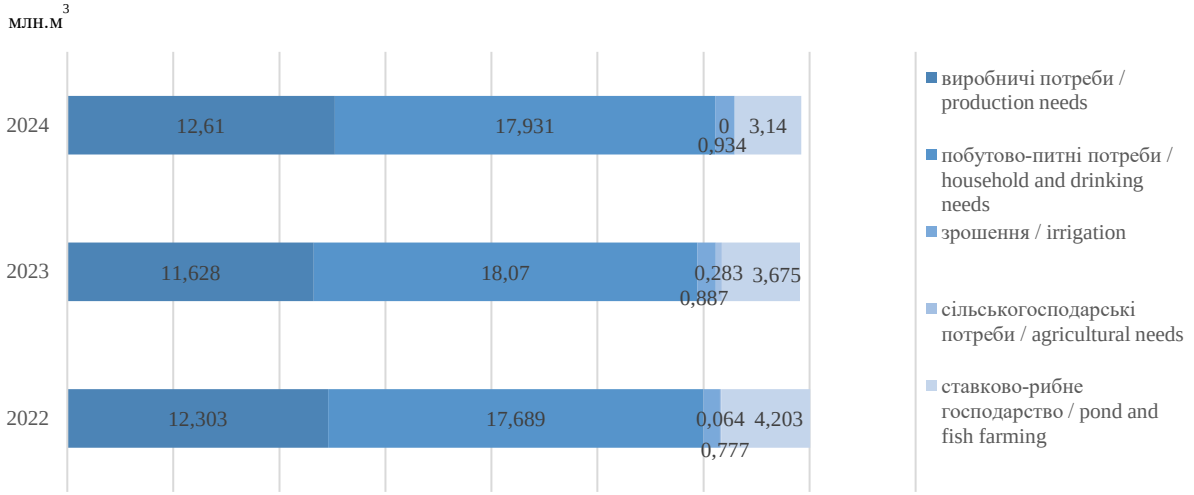


Рис. 3 – Використання води за галузями економіки протягом 2022-24 р., млн. м^3 (за даними [15])

Fig. 3 – Water use by economic sectors during 2022-24 (according to [15])

Протягом 2022-24 років в області спостерігається стійке зростання обсягів водозабору та водовідведення, що свідчить про поступове збільшення антропогенного навантаження на водні ресурси [16]. Загальний забір води зріс з 42,1 млн.м³ у 2022 р. до 45,7 млн.м³ у 2024 р. (майже на 9%), що пояснюється збільшенням водоспоживання внаслідок міграційних процесів (рис. 3).

Незважаючи на загальне збільшення забору, споживання свіжої води залишається відносно стабільним, коливаючись в межах 31 млн.м³ щорічно. Отже, основні споживачі (житлово-комунальне господарство, промислові підприємства та аграрний сектор) підтримують відносно сталий рівень водокористування, хоча й фіксуються структурні зрушення між секторами економіки. Промисловий водозабір коливався, зростаючи до 12,6 млн.м³ у 2024 р. після незначного зниження у 2023 р., що пов'язано з частковим відновленням промислового виробництва після енергетичних обмежень. Господарсько-питне водокористування найбільше за обсягом (17-18 млн.м^3), що свідчить про стабільну роботу систем централізованого водопостачання в містах [16].

Сільськогосподарське водокористування, переважно зрошення, становить незначну частку (менше 1 млн.м³), але динамічно зростає. Приріст обсягів зрошувальної води у 2024 р. порівняно з 2022 р. може бути наслідком сухіших літніх кліматичних умов та збільшення площ у дрібних фермерських господарствах, що використовують поверхневі води для поливу.

Натомість обсяги води, використаної у ставково-рибному господарстві, скорочуються (з 4,2 млн.м³ у 2022 р. до 3,1 млн.м³ у 2024 р.) [15]. Це зумовлено зменшенням рентабельності галузі, обсягів виробництва та зміною кліматичних умов, які ускладнюють підтримання необхідного рівня води у ставках у літній період.

Одним із найгостріших питань є високий рівень втрат води під час транспортування. У 2022 р. вони становили близько 6,4 млн.м³, зросли до понад 8,6 млн.м³ у 2023 р., а у 2024 р. дещо зменшились до 7,7 млн.м³ [16]. Фактично, майже 20% забору води не

доходить до кінцевих споживачів через зношеність водопровідних мереж та відсутність належного контролю.

Паралельно зі зростанням забору води, збільшуються й обсяги водовідведення (рис. 4). У 2022 р. у поверхневі водні об'єкти області скинуто 27,1 млн.м³ стічних вод, у 2023 р. – 28,2 млн.м³, а у 2024 р. – 29,1 млн.м³ [15]. Близько 26 млн м³ з них припадає на скид у поверхневі води, головним чином у річки басейнів Прип'яті та Західного Бугу. Позитивним аспектом є поступове поліпшення якості очистки, обсяг нормативно очищених стоків зріс з 17,7 млн.м³ до 20,3 млн.м³, що свідчить про ефективнішу роботу очисних споруд.

Водночас, значна кількість вод (понад 5 млн.м³ щорічно) потрапляє у водні об'єкти без повної очистки або за нормативом «чисті без очистки» [15]. Тому дуже важливою є модернізація очисних систем в області.

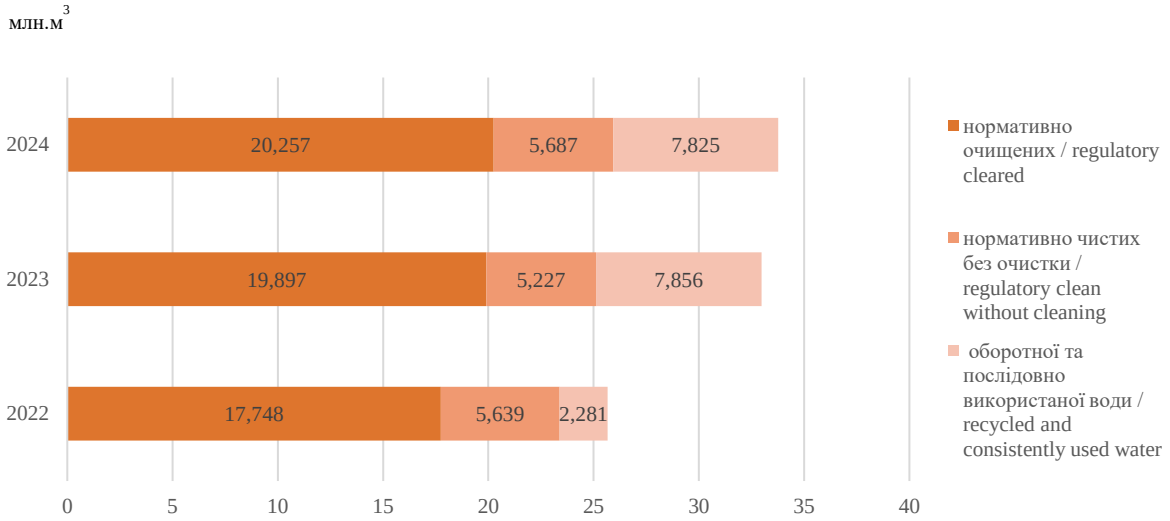


Рис. 4 – Скид стічних вод протягом 2022-24 р., млн. м³ (за даними [15])

Fig. 4 – Wastewater discharge during 2022-24 (according to [15])

Позитивною тенденцією також є зростання використання оборотної та повторно використаної води. У 2022 р. цей показник становив 2,3 млн.м³, у 2023 р. – 7,9 млн.м³, і залишався майже на цьому ж рівні у 2024 р. [15]. Частка повторного використання коливається близько 20% від загального споживання, що вказує на поступову орієнтацію підприємств на ресурсоефективні технології. Інфраструктура очисних споруд функціонує близько до межі своєї пропускної здатності (75 -76% використання), що означає обмеженість резервів для збільшення обсягів очистки. Нові потужності не вводяться, це створює ризик перевантаження системи очистки стічних вод у середньостроковій перспективі.

Оцінка ризиків під час водокористування дозволяє виділити кілька ключових проблем:

– втрати води при транспортуванні – зношеність водопровідних мереж, відсутність сучасних систем моніторингу витоків, недосконала тарифна політика спричиняють нераціональне використання ресурсу, збільшують потребу в заборі води та обсяги стічних вод, що потребують очистки;

– забруднення поверхневих вод, досить високі скиди недостатньо очищених стоків створюють ризик значного забруднення річок (особливо малих приток Прип'яті та Західного Бугу) у випадку екстремальних погодних умов або аварій на очисних спорудах;

– обмеженість потужності очисних споруд, високий рівень їх завантаження виключає можливість суттєвого нарощування обсягів очистки води без модернізації споруд.

Позитивною тенденцією є зростання обсягів повторного використання води у промисловості, що зменшує загальний забір та навантаження на поверхневі водні об'єкти. Однак для системного характеру цієї тенденції необхідні стимулюючі механізми, наприклад, пільгове кредитування підприємств, що впроваджують замкнуті цикли

водокористування.

Таким чином, динаміка водозабору та скиду стічних вод у Волинській області у 2022-24 рр. має суперечливий, але прогнозований характер. Помірне зростання використання ресурсів, поступове покращення якості очистки супроводжуються збереженням високого рівня інфраструктурних втрат і значних обсягів скидів стічних вод у річки. Тому Волинська область стикається з низкою комплексних гідроекологічних проблем, які виникають внаслідок технічного зношення інфраструктури, зростання антропогенного навантаження та неефективного управління водними ресурсами:

– Зношеність систем водопостачання та водовідведення. Близько 20% забраної з природних джерел води не доходить до споживачів через зношеність водогосподарської інфраструктури, відсутність сучасного обліку та моніторингу витоків води. Це спричиняє фінансові втрати комунальних підприємств та зниження надійності водопостачання.

– Недостатня якість очистки стічних вод. Більшість очисних споруд, що здійснюють біологічну очистку, працюють на межі своїх можливостей, зростання водоспоживання може призвести до їх перевантаження. Щорічно у водні об'єкти області скидається понад 25 млн.м^3 зворотних вод, частина з яких не проходить повної очистки.

– Забруднення поверхневих вод. У багатьох річках фіксується перевищення ГДК амонійного азоту, нітритів, фосфатів та заліза, що свідчить про значне надходження органічних речовин та біогенних елементів з господарсько-побутовими скидами та стоком з сільськогосподарських угідь. Це спричиняє евтрофікацію водотоків та водойм, дефіцит кисню та деградацію гідроекосистем. У річках Прип'ять (нижче сел. Любешів), Турія (нижче м. Ковель) та Стир (нижче м. Луцька) спостерігається підвищення біохімічного споживання кисню, перевищення вмісту фосфору та амонію, формуються локальні осередки забруднення.

– Стан підземних вод. Не дивлячись на те, що сучасний забір підземних вод не перевищує 4% прогнозних запасів [15], у районах інтенсивного господарського навантаження вже фіксується локальне зниження їх якості. Це зумовлено фільтрацією неочищених стоків та недотриманням режиму зон санітарної охорони свердловин.

– Якість питного водопостачання. У 2024 р. 9,6% проб води з централізованих джерел водопостачання не відповідали СанПіН за вмістом заліза. У воді з криниць (децентралізоване водопостачання) виявлено високий вміст нітратів (37% проб). Це викликає ризик метгемоглобінемії, особливо для немовлят [16].

Висновки

Гідроекологічні проблеми Волинської області комплексні та взаємопов'язані. Вони зумовлені не завжди хорошим технічним станом інфраструктури, зростанням обсягів побутових і промислових стічних вод, неефективністю очистки та неконтрольованим впливом аграрного сектору. Наслідком є поступове зниження природної самоочисної здатності водойм та втрата екологічної рівноваги. В той же ж час для водокористування Волинської області характерний і ряд позитивних тенденцій. Наприклад, зростання частки оборотного водопостачання, замкнутих циклів використання води, поступове впровадження промисловими підприємствами ощадливіших технологій, часткова модернізація очисних споруд.

Для сталого водокористування та мінімізації екологічних загроз в області першочерговим завданням є скорочення втрат води під час транспортування. Це вимагає заміни старих трубопроводів на сучасні, впровадження систем дистанційного контролю витоків, удосконалення обліку води на всіх рівнях, стимулювання водозбереження за рахунок гнучких тарифів.

Також важливим завданням є модернізація та будівництво нових очисних споруд для уникнення перевантаження системи водовідведення. Особливо актуально це для великих та середніх міст (Луцьк, Ковель, Володимир). Для малих громад створення локальних споруд біологічної очистки та біоплато дозволить значно покращити якість очистки стічних вод.

Сучасне промислове водокористування повинно максимально використовувати замкнені водогосподарські цикли. Вже сьогодні в них заакумульовано близько 23% води, що використовується у промисловості. Цей показник може бути подвоєний завдяки ширшому використанню замкнених водогос-

подарських циклів, насамперед, на підприємствах харчової, деревообробної та будівельної галузей.

У сільському господарстві пріоритетом водозбереження є перехід на крапельне та мікрозрошення, що економить до 50% води. Також критично важливим є контроль дифузного забруднення з полів шляхом створення буферних прибережних смуг та впровадження ефективного агроекологічного моніторингу. Відновлення природного гідрологічного режиму малих річок, розчистка русел, відновлення заплав, ліквідація неефективних та невикористовуваних осушувальних систем покращить якість вод та стабілізує рівень ґрунтових вод.

Підвищення ефективності водокористування неможливе без впровадження єдиної цифрової платформи моніторингу, яка об'єднає дані про забір, скиди, якість води та навантаження на басейни рік, дозволить оперативно реагувати на проблеми. Також ключовим є ширше впровадження басейнового принципу управління водними ресурсами згідно Водної рамкової директиви ЄС.

Ефективність усіх заходів залежить від рівня екологічної культури населення. Для її підвищення необхідно реалізовувати комплексні еколого-просвітницькі програми та залучати громадські організації до моніторингу та природоохоронних акцій.

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Директива № 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23.10.2000 про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text
2. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: колективна монографія / за ред. В.О. Фесюка. Київ: ТОВ «Підприємтсво «Ві Ен Ей», 2016. 316 с.
3. Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. Екологічні основи управління водними ресурсами. Київ : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.
4. Wada Y., van Beek L.P.H., Bierkens M.F.P. Modelling global water stress of the recent past: on the relative importance of trends in water demand and climate variability. *Hydrology and Earth System Sciences.* 2011. Vol. 15. P. 3785–3808. https://doi.org/10.5194/hess-15-3785-2011
5. Wada Y., Bierkens M.F.P. Sustainability of global water use: Past reconstruction and future projections. *Environmental Research Letters.* 2014. Vol.9. N 10. 104003. https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104003
6. Rokochinskiy A., Volk P., Kuzmych L., Koptyuk R., Volk L., Prykhodko N., Kuzmych A. Forecast assessment of water regime efficiency and changes in water consumption on drained lands of Western Polissia of Ukraine in a changing climate. *Discover Applied Sciences.* 2025. Vol. 7. N 6. https://doi.org/10.1007/s42452-024-06412-0
7. Тринько М.І., Бомба М.Я., Сливка М.М. Раціональне водокористування як чинник національної безпеки України. Вісник НАН України. 2019. № 6. С. 83–90. https://doi.org/10.15407/visn2019.06.037
8. Мельнійчук М.М., Горбач В.В., Горбач Л.М. Особливості використання водних ресурсів Волинської області та їх екологічний стан у сучасних умовах. Visnyk of Karazin Kharkiv National University. Series «Geology-Geography-Ecology». 2021. Вип. 54. С. 306–314. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-23
9. Фесюк В.О., Полянський С.В. Водні ресурси Волинської області, їх екологічний стан. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету. Серія Географія*. 2009. 19. С. 49–53.
10. Чижевська Л.Т., Лавренчук О.М., Качаровський Р.Є., Карпюк З.К., Антипюк О.В. Оцінка сучасного стану водних ресурсів Волині. Суспільно-географічні чинники розвитку регіонів. Луцьк, 11–12 квітня 2019 р. С. 98–101.
11. Фесюк В.О., Бєдункова О.О., Нетробчук І.М., Боярин М.В. Сучасний стан водокористування у басейні Прип'яті Волинської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку.* 2023. Вип. 1. С. 47–55. https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-1-6
12. Gopchak I., Basiuk T., Bialyk I., Pinchuk O., Gerasimov I. Dynamics of changes in surface water quality indicators of the Western Bug River basin within Ukraine using GIS technologies. *Journal of Water and Land Development.* 2019. No. 42 (VII–IX). P. 67–75. https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0046
13. Нетробчук І.М., Боярин М.В., Жданюк Б.С. Вплив кліматичних змін на водний режим річки Стир у

Волинській області. *Проблеми хімії та сталого розвитку.* 2025. № 2. С. 84–94. https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-2-11
14. Bao-Lin Xue, Qinghua Guo, Alvarez Otto, Jingfeng Xiao, Shengli Tao, Le Li. Global patterns, trends, and drivers of water use efficiency from 2000 to 2013. *Ecosphere.* 2015. Vol. 6. N10. P. 1–18. https://doi.org/10.1890/ES14-00416.1
15. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2024 рік. URL: http://www.menr.gov.ua/media/files/Articles/Diyalnist/Ekologichniy_kontrol/Dopovidi_pro_stan_NPS
16. Екологічний паспорт Волинської області за 2024 рік. URL: https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2024-rik/

Отримано: 28.09.2025 / Переглянуто: 18.11.2025 / Прийнято: 24.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

V. O. FESYUK, DSc (Geography), Prof.,
Professor of the Department of Physical Geography
e-mail: fesyuk@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3954-9917
Lesya Ukrainka Volyn National University,
13, Voli Ave., Lutsk, 43025, Ukraine

I. A. MOROZ, PhD (Chemistry),
Associate Professor of the Department of Food Technologies and Chemistry
e-mail: i.moroz@lntu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9167-4876
Lutsk National Technical University,
75, Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF CURRENT TRENDS IN WATER USE IN VOLYN REGION

Purpose. To carry out a quantitative assessment of the main trends in water use in Volyn Region, analyze the dynamics of water withdrawal across key sectors and identify the major factors influencing changes in the structure and volumes of water resource use.

Methods. Statistical analysis, systems approach, predictive modelling and scenario analysis.

Results. The water balance of Volyn Region is non-deficit, and available resources fully meet regional needs. In 2024, total water withdrawal reached 45.71 million m³, of which 36.3 million m³ were groundwater. Only about 4% of their estimated reserves are currently used. The main water users are the municipal sector (50%), agriculture, and industry. A key issue is high water losses during transportation (nearly 17%). The volume of discharged wastewater amounted to 29.08 million m³, most of which was treated. Wastewater treatment facilities operate close to their capacity, creating risks of declining water quality in the Pripyat and Western Bug rivers. Negative impacts include local excesses of biogenic substances and challenges associated with decentralized water supply. In general, the region's water management system is stable, but it needs modernization of treatment facilities, water supply and wastewater networks, and strengthening of environmental control.

Conclusions. Hydroecological problems in Volyn Region are complex and stem from worn-out infrastructure, increasing wastewater volumes, and agricultural impacts, resulting in reduced natural self-purification capacity of water bodies. At the same time, positive trends are observed: the development of water reuse, modernization of treatment facilities, and more efficient technologies. Priorities include reducing water losses, upgrading treatment systems, expanding closed water-use cycles in industry, promoting water-saving practices in agriculture, implementing digital monitoring, integrated water management, and strengthening public involvement in addressing water-use challenges.

KEYWORDS: *water use, water consumption, wastewater discharge, sustainable development, state of water resources, hydro-ecological problem*

Conflict of Interest

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

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. (2000). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (in Ukrainian)
2. Fesiuk, V. O. (Ed.). (2016). *Current ecological state and prospects for environmentally safe sustainable development of Volyn region* . Kyiv: Pidpryiemstvo "Vi En Ei". (in Ukrainian)
3. Tomiltseva, A. I., Yatsyk, A. V., & Mokin, V. B. (2017). *Ecological principles of water resources management*. Kyiv: Institute of Ecological Management and Balanced Nature Use. (in Ukrainian)
4. Wada, Y., van Beek, L. P. H., & Bierkens, M. F. P. (2011). Modelling global water stress of the recent past: On the relative importance of trends in water demand and climate variability. *Hydrology and Earth System Sciences, 15*, 3785–3808. https://doi.org/10.5194/hess-15-3785-2011
5. Wada, Y., & Bierkens, M. F. P. (2014). Sustainability of global water use: Past reconstruction and future projections. *Environmental Research Letters, 9*(10), 104003. https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104003
6. Rokochinskiy, A., Volk, P., Kuzmych, L., Koptyuk, R., Volk, L., Prykhodko, N., & Kuzmych, A. (2025). Forecast assessment of water regime efficiency and changes in water consumption on drained lands of Western Polissia of Ukraine in a changing climate. *Discover Applied Sciences, 7*(6). https://doi.org/10.1007/s42452-024-06412-0
7. Trynko, M. I., Bomba, M. Ya., & Slyvka, M. M. (2019). Rational water use as a factor of Ukraine's national security. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine, 6*, 83–90. https://doi.org/10.15407/visn2019.06.037 (in Ukrainian)
8. Melniichuk, M. M., Horbach, V. V., & Horbach, L. M. (2021). Features of water resources use in Volyn region and their ecological state under current conditions. *Visnyk of Karazin Kharkiv National University. Series "Geology-Geography-Ecology", 54*, 306-314. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-23 (in Ukrainian)
9. Fesiuk, V. O., & Polianskyi, S. V. (2009). Water resources of Volyn region and their ecological state. *Scientific Notes of Vinnytsia State Pedagogical University. Series Geography, 19*, 49–53. (in Ukrainian)
10. Chyzhevska, L. T., Lavrenchuk, O. M., Kacharovskyi, R. Ye., Karpiuk, Z. K., & Antypiuk, O. V. (2019). Assessment of the current state of water resources of Volyn. In *Socio-geographical factors of regional development* (pp. 98–101). Lutsk. (in Ukrainian)
11. Fesiuk, V. O., Biedunkova, O. O., Netrobchuk, I. M., & Boiaryn, M. V. (2023). Current state of water use in the Pripyat River basin of Volyn region. *Problems of Chemistry and Sustainable Development, 1*, 47–55. https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-1-6 (in Ukrainian)
12. Gopchak, I., Basiuk, T., Bialyk, I., Pinchuk, O., & Gerasimov, I. (2019). Dynamics of changes in surface water quality indicators of the Western Bug River basin within Ukraine using GIS technologies. *Journal of Water and Land Development, 42*(VII–IX), 67–75. https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0046
13. Netrobchuk, I. M., Boiaryn, M. V., & Zhdaniuk, B. S. (2025). Impact of climate change on the water regime of the Styr River in Volyn region. *Problems of Chemistry and Sustainable Development, 2*, 84–94. https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-2-11 (in Ukrainian)
14. Xue, B.-L., Guo, Q., Otto, A., Xiao, J., Tao, S., & Li, L. (2015). Global patterns, trends, and drivers of water use efficiency from 2000 to 2013. *Ecosphere, 6*(10), 1–18. https://doi.org/10.1890/ES14-00416.1
15. Regional Report on the State of the Environment in Volyn Region for 2024. (2024). Retrieved from http://www.menr.gov.ua/media/files/Articles/Diyalnist/Ekologichniy_kontrol/Dopovidi_pro_stan_NPS (in Ukrainian)
16. Ecological Passport of Volyn Region for 2024. (2024). Retrieved from https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2024-rik/ (in Ukrainian)

Submission received: 28.09.2025 / Revised: 18.11.2025 / Accepted: 24.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-03
УДК (UDC) 628.1.033

А. А. ЛІСНЯК, канд. с.-г. наук, доц.,
доцент кафедри екології та менеджменту довкілля
e-mail: anlisnyak@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5850-7328
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

М. І. КУЛИК, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри екології та менеджменту довкілля
e-mail: m.kulyk@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0605-9367
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

S. TORMA, канд. техн. наук,
завідуючий відділом
e-mail: stanislav.torma@nppc.sk ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4444-9067
Науково-дослідний інститут ґрунтознавства та охорони ґрунтів,
вул. Райманова 1, м. Прешов, 08001, Словаччина

ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ З РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ У ШЕВЧЕНКІВСЬКОМУ РАЙОНІ МІСТА ХАРКОВА

Мета. Оцінка якості питної води з різних джерел (централізованих, нецентралізованих) у Шевченківському районі Харкова.

Методи. Польовий, аналітичний, статистичний.

Результати. Відібрано репрезентативні проби з різних джерел водопостачання: природних джерел, свердловин, міського водопроводу. Визначено органолептичні властивості, фізико-хімічні параметри та токсикологічні показники. На підставі аналізу усіх цих характеристик відповідно до вимог ДСТУ 4808, визначено, що проби артезіанської води ТМ «Шестаківська» характеризуються оптимальним нейтральним pH, низьким вмістом металів, помірною жорсткістю та не перевищують нормативних значень за жодним показником. Проби води зі свердловин приватного користування у Шевченківському районі м. Харкова мають підвищену загальну жорсткість, мінералізацію та засоленість, що свідчить про необхідність додаткової очистки від солей. Вода централізованого водопостачання, окрім високої загальної жорсткості, відзначалась найбільшим вмістом хлору, заліза та міді. Проведено дослідження щодо покращення якості водопровідної води в домашніх умовах. Зокрема, досліджувались ефекти кип'ятіння, відстоювання, заморожування та фільтрації води на зменшення вмісту загальних солей та покращення органолептичних показників.

Висновки. Артезіанська вода торгової марки «Шестаківська» має 1-й клас якості на підставі повної відповідності нормативам. Водопровідну та джерельну воду віднесено до 2-го класу якості через перевищення жорсткості та підвищену мінералізацію. Найнижчі показники зафіксовано у воді з приватної свердловин, яка віднесена до 3 класу якості через значне перевищення нормативу жорсткості. Ефективним побутовим методом демінералізації води є заморожування та фільтрація.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *питна вода, якість води, водопостачання міста, фізико-хімічні показники води, загальна жорсткість води, методи покращення води*

Як цитувати: Лісняк А. А., Кулик М. І., Torma S. Якість питної води з різних джерел у Шевченківському районі міста Харкова. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 35-46. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-03

In cites: Lisnyak, A. A., Kulyk, M. I., & Torma, S. (2025). Drinking water quality from various sources in the Shevchenkivsky district of Kharkiv. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 35-46. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-03 (in Ukrainian)

© Лісняк А. А., Кулик М. І., Torma S., 2025

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Вступ

Чиста питна вода є основою життя та здоров'я людини. Вона забезпечує нормальне функціонування внутрішніх органів, бере участь у процесах травлення, обміну речовин, регуляції температури тіла та виведенні токсинів. Якісна вода сприяє підтриманню енергетичного балансу, зміцнює імунну систему і позитивно впливає на роботу серця, нирок та печінки. Тому важливо щодня вживати достатню кількість чистої питної води, щоб зберегти здоров'я та гарне самопочуття [1, 2].

Забезпечення якості питної води є одним із головних чинників збереження здоров'я населення. Вода повинна бути безпечною за хімічним, мікробіологічним і органолептичним складом. Контроль якості питної води включає очищення, знезараження та постійний моніторинг її стану. Лише вживання чистої та безпечної води сприяє підтриманню гомеостазу організму та знижує ймовірність виникнення різноманітних захворювань [3].

Основним джерелом водопостачання в Україні є поверхневі води, частка яких становить близько 80 % від загального обсягу споживання. Підземні води в Україні використовуються переважно для забезпечення питного водопостачання у приватних домогосподарствах, а також у невеликих населених пунктах, де відсутні або обмежено функціонують централізовані системи водопостачання. Досвід європейських країн, зокрема Словаччини, свідчить, що підземні води там відіграють провідну роль у забезпеченні питного водопостачання населення. Водночас зниження рівнів підземних вод, зростання водозабору та незадовільний технічний стан водогосподарської інфраструктури вказують на наближення критичного етапу у функціонуванні водних систем [4, 5]. Подібні тенденції простежуються і в Україні, де за умов підвищення техногенного навантаження особливої актуальності набувають питання раціонального використання, охорони й відновлення водних ресурсів [6].

Питна вода, що споживається людиною, повинна відповідати встановленим стандартам якості, адже її хімічний і мікробіологічний склад має безпосередній вплив на здоров'я. Забезпечення контролю якості води є важливою складовою безпечного життя та збереження здоров'я населення. Проведення лабораторних досліджень дає змогу вчасно виявляти забруднювачі, токсичні речовини, патогенні мікроорганізми та інші небезпечні компоненти. Проте більшість людей рідко замислюється про критичну роль води в житті. Вона може як покращувати стан організму, так і завдавати шкоди, тому контроль її якості є необхідним. Сучасні медіа постійно повідомляють про те, що водопровідну воду слід фільтрувати, а колодязну не можна споживати без попередньої очистки [3, 6]. Вода супроводжує людину протягом усього дня, і її присутність часто здається звичною та непомітною.

Для підтримання здоров'я важливо споживати лише чисту та безпечну питну воду, яка не містить шкідливих речовин та водночас містить необхідні організму мінерали. Очищення води суттєво покращує якість життя та позитивно впливає на здоров'я. Під час транспортування до споживача водопровідна вода може забруднюватися, тому виникає необхідність її додаткового очищення безпосередньо в місці використання. Однак традиційні способи очищення мають істотний недолік – вони вимагають регулярної заміни фільтрувальних елементів, що призводить до підвищення витрат на підготовку води [2, 7].

Таким чином, контроль і регулярна перевірка якості питної води є надзвичайно важливими для забезпечення безпеки та підтримки здоров'я населення, оскільки дозволяють своєчасно виявляти наявність шкідливих домішок та забруднень.

Метою дослідження є комплексна оцінка якості питної води з нецентралізованих, централізованих та альтернативних джерел водопостачання у Шевченківському районі м. Харкова за органолептичними, фізико-хімічними та токсикологічними показниками.

Об'єкти та методи досліджень

Об'єкт дослідження – проби питної води, відібрані з різних водозабірних пунктів Шевченківського району м. Харкова, включаючи централізовані системи водопостачання, джерела та індивідуальні свердловини.

Предмет дослідження – сукупність органолептичних характеристик, фізико-хімічних параметрів та санітарно-токсикологічних показників досліджуваних проб води.

Для оцінки якості питної води, що постачається у Шевченківський район м. Харкова було проведено відбір шести проб із різних джерел (рис. 1):

1) Проба №1 відібрано з природного джерела «Олексіївська балка» (Джер. 1);

2) Проба №2 відібрано з природного джерела «Саржин яр» (Джер. 2);

3) Проба №3 відібрано зі свердловин індивідуального користування по вул. Семена Кузнеця, 57 (Сверд. 1);

4) Проба №4 відібрано зі свердловин індивідуального користування по вул. Пржевальського, 15 (Сверд. 4);

5) Проба №5 відібрано з централізованої мережі водопостачання по вул. Клочківська, 115 (Водопр.);

6) Проба №6 відібрано з пункту розливу води торгової марки «Шестаківська», встановленого в межах Шевченківського району (Автом.).

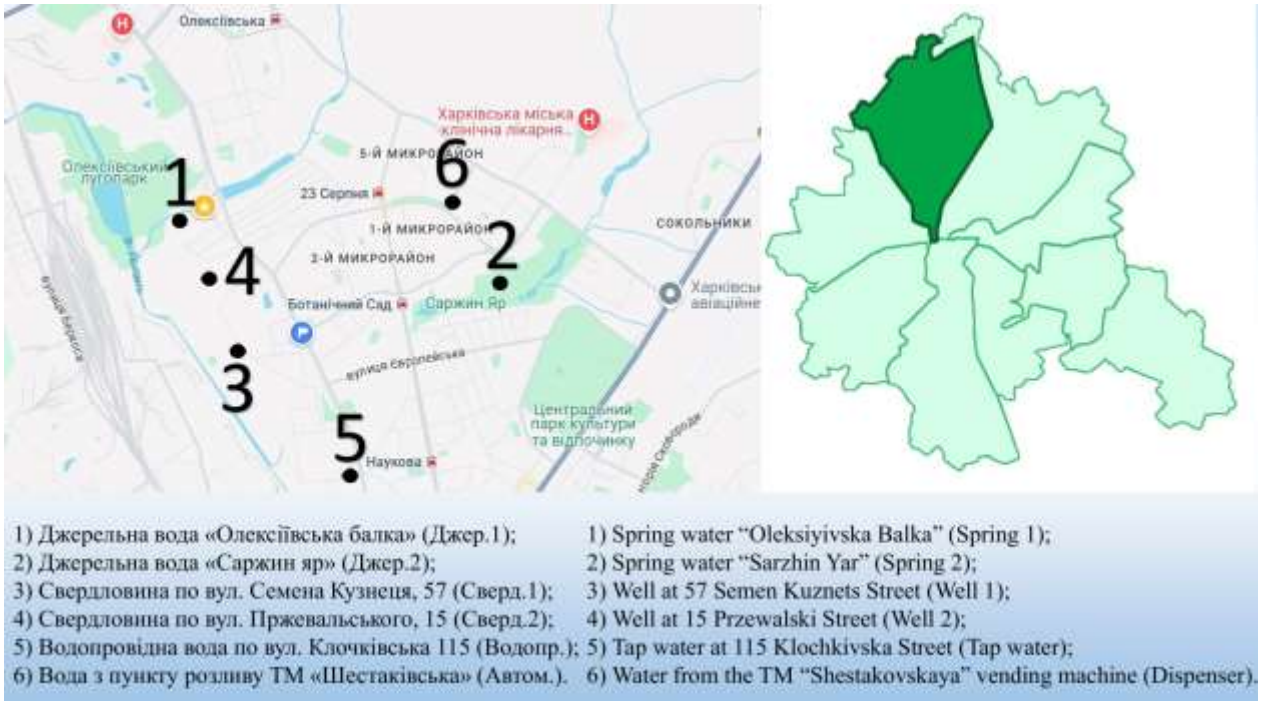


Рис. 1 – Місця відбору проб води для аналізу у межах Шевченківського району м. Харкова
Fig. 1 – Locations for water sampling for analysis within the Shevchenkivskyi district of Kharkiv

В кожній вибраній контрольній точці здійснювався відбір води об'ємом 1,5 літра з різних джерел водопостачання у спеціальні прозорі контейнери, виготовлені з хімічно інертного матеріалу, відповідно до вимог затвердженої методики [6], що гарантувало мінімізацію зовнішнього впливу на достовірність отриманих результатів аналізу. Дослідні проби води зібрано у вересні 2024 року. Кожна проба отримала власний унікальний код для подальшої ідентифікації.

Аналіз відібраних проб води проводився в навчально-дослідній лабораторії аналітичних екологічних досліджень Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Вимірювання показників проводили відповідно до чинних стандартизованих і тимчасово затверджених методик. Зокрема, прозорість визначали за ДСТУ ISO 7027:2003, запах – згідно з ДСТУ EN 1420-1:2004, водневий показник (pH) – відповідно до ДСТУ 4077-2001, загальну лужність – за ДСТУ ISO 9963-1:2007, загальну жорсткість – за ДСТУ ISO 6059:2003, вміст важких металів – за ПНДФ 14.1:2.253-09, хлориди – згідно з ДСТУ ISO 9297:2007, а нітрити – згідно з ДСТУ ISO 15923-1:2018 [8-12].

Санітарно-гігієнічні параметри оцінювання якості питної води визначалися згідно з вимогами ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієніч-

ні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», затвердженими наказом № 400 від 12 травня 2010 року Міністерством охорони здоров'я України [13].

Для інтегральної оцінки використовували положення ДСТУ 4808 [14], який визначає нормативи щодо фізико-хімічних показників, мікробіологічних властивостей та інших якісних параметрів води з метою забезпечення її безпечності для населення. Цей норматив застосовується для води різних джерел, зокрема водопровідних систем та природних водойм, і є важливим інструментом у сфері громадського здоров'я та екологічної безпеки. Згідно з положеннями ДСТУ 4808, проби води класифікуються за певними класами якості залежно від рівня їх забруднення (табл. 1).

Таблиця 1

Оцінювання якості питної води згідно з нормативами ДСТУ 4808 [14]

Table 1

Assessment of drinking water quality in accordance with DSTU 4808 standards [14]

Клас якості води / Water quality grade	**Характеристика якості досліджуваної води / Characteristics of the quality of the water under investigation**
1 клас / Grade 1	Відмінна – вода відповідає всім нормативним вимогам та характеризується високим рівнем безпечності та споживчих властивостей / Excellent – the water meets all regulatory requirements and is characterized by a high level of safety and consumer properties.
2 клас / Grade 2	Добра – вода загалом відповідає нормативам, з незначними відхиленнями, що не впливають істотно на її безпечність / Good – the water generally complies with standards, with minor deviations that do not significantly affect its safety.
3 клас / Grade 3	Задовільна – вода прийнятна для споживання, проте має певні недоліки, що знижують її якісні та споживчі характеристики / Satisfactory – water is acceptable for consumption, but has certain shortcomings that reduce its quality and consumer characteristics.
4 клас / Grade 4	Посередня – вода значно відхиляється від нормативів, її використання обмежене і потребує додаткової очистки для безпечного споживання / Poor – water significantly deviates from standards, its use is limited and requires additional treatment for safe consumption.

Результати досліджень

На першому етапі лабораторно-аналітичного дослідження проведено аналіз органолептичних показників якості питної води, зокрема запаху та прозорості. Інтенсивність запаху визначали при температурі 20 °С. У більшості проб запах відсутній, за винятком водопровідної води (проба №5), якій присвоєно 1 бал за запах. Водопровідна вода мала слабкий запах хлору, ймовірно, зумовлений застосуванням хлораміну для дезінфекції.

Прозорість води у більшості проб відповідала нормативним вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [13] і становила 30 см. Винятком була проба зі свердловини на вул. Пржевальського, 15 (проба №4), де прозорість становила 27 см, що не відповідає нормативу. Зменшена прозорість може свідчити про наявність завислих часток та зниження якості води.

На другому етапі виміряли основні фізико-хімічні властивості води. Аналізували такі параметри: водневий показник (pH), загальну мінералізацію, загальну жорсткість, засоленість, електропровідність води, залишковий хлор, а також вміст заліза та міді.

Виміряні у пробах значення pH (водневого показника) знаходилися в інтервалі від 6,84 до 8,07, що не виходить за межі норм, встановлених ДСанПіН 2.2.4-171-10 (рис. 2). Мінімальне значення pH (6,94) зафіксоване в пробі водопровідної водойми, відібраній за адресою вул. Клочківська, 115. Середні значення pH характерні для води з природних джерел «Олексіївська балка» (6,94) та «Саржин яр» (7,34), а також води з пункту розливу ТМ «Шестаківська» (7,68). Натомість максимальні показники зафіксовано у воді зі свердловин: 8,07 (вул. Семена Кузнеця, 57) та 7,96 (вул. Пржевальського, 15).

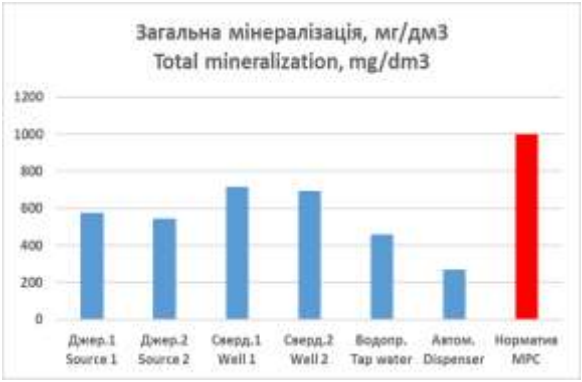


Рис. 2 – Значення показника pH
Fig. 2 – pH value

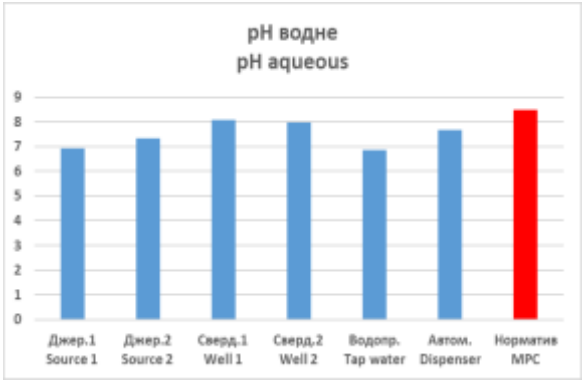


Рис. 3 – Рівень загальної мінералізації
Fig. 3 – The level of total mineralization

Аналіз загальної мінералізації підтвердив безпеку всіх проб води щодо цього показника (рис. 3). Хоча значення коливалися від мінімальних 267 мг/дм³ (пункт розливу ТМ «Шестаківська») до максимальних 715 мг/дм³ (свердловина на вул. Семена Кузнеця, 57), жодна з проб не перевищила встановлених ДСанПіН 2.2.4-171-10 меж. Це дозволяє зробити висновок про належну якість води за цим показником та її придатність для регулярного споживання.

За результатами дослідження на жорсткість води, частина проб води перевищує норматив загальної жорсткості (7,0 ммоль/дм³ за ДСанПіН 2.2.4-171-10). Найвищі значення, що перевищують норму, зафіксовано у воді з «Олексіївської балки» (7,2 ммоль/дм³) та свердловин (8,1 та 8,3 ммоль/дм³) (рис. 4). Водночас, мінімальна жорсткість виявлена в пункті розливу ТМ «Шестаківська» (5,3 ммоль/дм³), а середні значення – у пробах з централізованого водогону та джерела «Саржин яр». Оскільки значення жорсткості в частині джерел перевищують допустимі, це вимагає вжиття заходів щодо її зниження.

Доведено, що надмірна жорсткість води негативно впливає на здоров'я людини. Регулярне споживання води з підвищеним вмістом солей жорсткості призводить до акумуляції малорозчинних мінеральних відкладень в організмі. Це, у свою чергу, підвищує ризик розвитку ниркової та жовчнокам'яної хвороби, а також порушує функцію сечовивідної системи та суглобів, що підтверджується численними дослідженнями [15, 16].

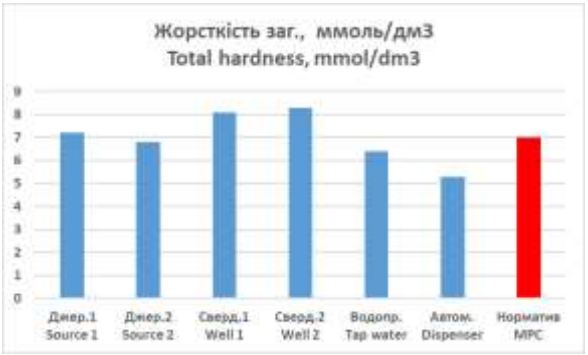


Рис. 4 – Значення загальної жорсткості
Fig. 4 – The value of total hardness

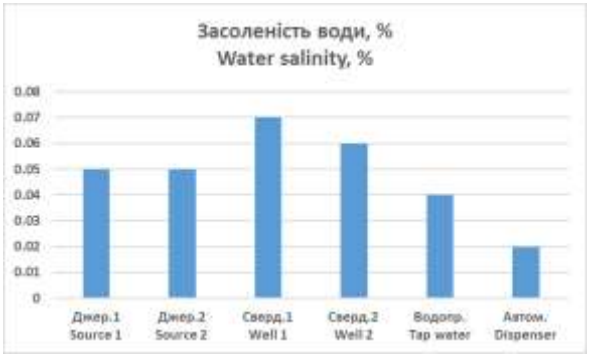


Рис. 5 – Ступінь засоленості
Fig. 5 – Salinity

Результати досліджень показали, що показники мінералізації (рис.3) та жорсткості води (рис.4) корелюють із рівнем засоленості (рис.5) та електропровідністю (рис.6). Аналіз даних, наведених на рисунку 5, свідчить, що найвищі рівні засоленості властиві тим самим пробам води, які характеризуються максимальними значеннями мінералізації та загальної жорсткості.

Аналогічна тенденція простежується й для електропровідності води (рис. 6): у воді зі свердловин та природних джерел зафіксо-

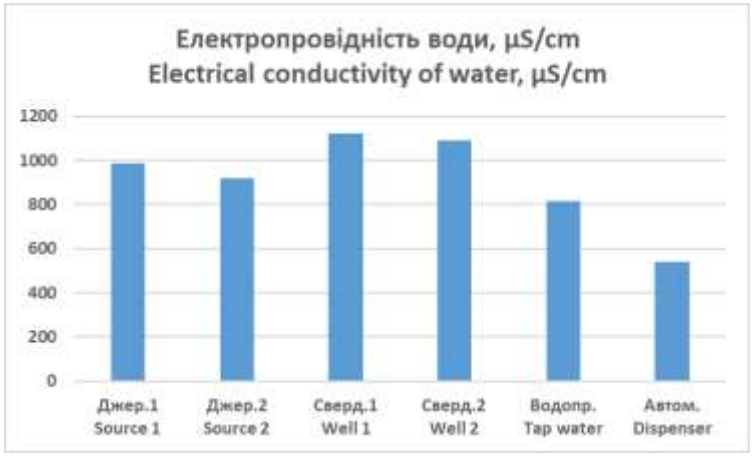


Рис. 6 – Величина електропровідності
Fig. 6 – Electrical conductivity value

вано найвищі значення електропровідності, тоді як у воді з пункту розливу та централізованого водопостачання показники електропровідності є найнижчими.

Концентрація залишкового хлору в усіх пробах (0–0,7 мг/дм³) не перевищувала норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10 (1,2 мг/дм³) (рис. 7). Максимальний рівень (0,7 мг/дм³) виявлено у водопровідній воді (вул. Клочківська, 115), що обумовлено технологією підготовки води, тоді як у воді з природних джерел, свердловин та ТМ «Шестаківська» вміст мінімальни й або не виявлявся. Для зменшення вмісту хлору у водопровідній воді до споживання рекомендується відстоювати її 2–3 години для його вивітрювання [17, 18].

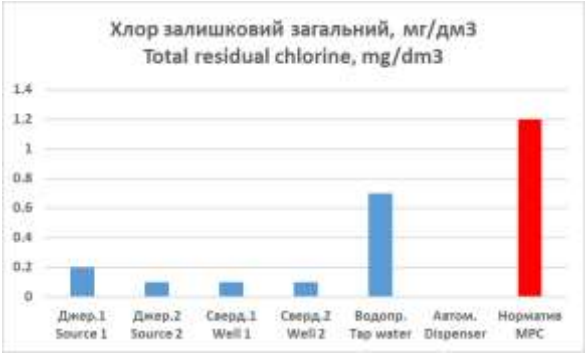


Рис. 7 – Вміст залишкового хлору (загального)
Fig. 7 – Residual chlorine content (total)

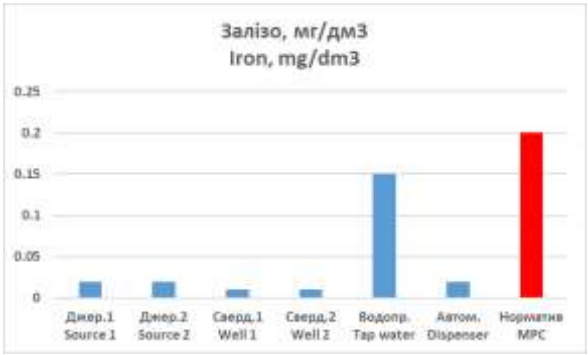


Рис. 8 – Вміст заліза у пробах води
Fig. 8 – Iron content in water samples

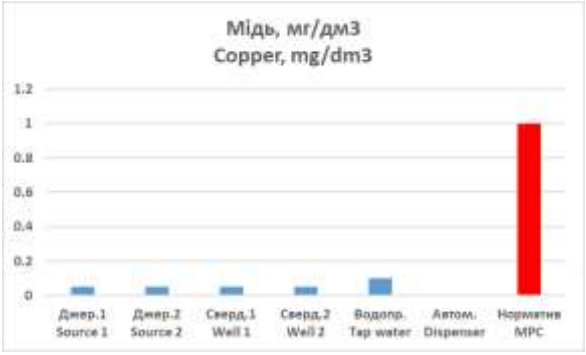


Рис. 9 – Вміст міді
Fig. 9 – Copper content

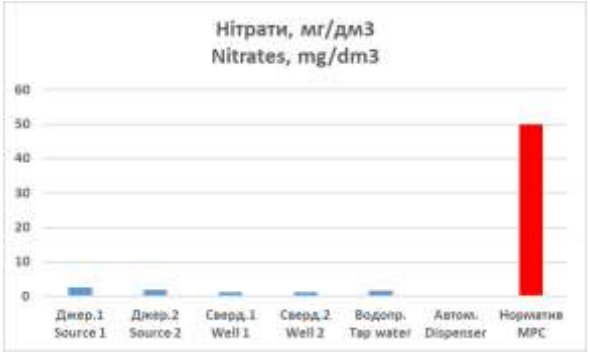


Рис. 10 – Концентрація нітратів
Fig. 10 – Nitrate concentration

Аналіз вмісту загального заліза (рис. 8) визначає переважну відповідність проб нормативу (0,2 мг/дм³), за винятком водопровідної води (вул. Клочківська, 115), де концентрація становила 0,15 мг/дм³. Це створює потенційний ризик для здоров'я, оскільки підвищений вміст заліза асоціюється з [7, 19]: порушеннями метаболічних процесів; підвищеним ризиком розвитку гемохроматозу; погіршенням стану шкіри та органолептичних властивостей води. Для захисту чутливих груп населення (дітей, вагітних) доцільним є впровадження систем фільтрації та постійний контроль якості води [18].

Вміст міді в усіх пробах води (рис. 9) знаходився в межах 0,01–0,05 мг/дм³, що повністю відповідає нормам ДСанПіН. Отримані результати підтверджують відсутність забруднення джерел сполуками міді та безпеку води для споживання

На третьому етапі дослідження проаналізовано токсикологічні показники якості води, зокрема визначено вміст нітратів. Як демонструє рис. 10, концентрації нітратів у всіх пробах значно нижчі за гранично допустиму норму (50 мг/дм³, ДСанПіН 2.2.4-171-10), коливаючись у діапазоні від 0,11 до 2,48 мг/дм³. Мінімальна концентрація (0,11 мг/дм³) виявлена у воді ТМ «Шестаківська». Проби зі свердловин демонструють проміжні значення: 1,09 мг/дм³ та 1,16 мг/дм³. Найбільші показники зафіксовані у воді централізованого водопостачання (1,72 мг/дм³) та природних джерел: 2,48 мг/дм³ («Олексіївська балка») і 1,87 мг/дм³ («Саржин яр»).

Хоч усі проби води що досліджено відповідають санітарним вимогам, наявність навіть незначної кількості нітратів у воді становить потенційну загрозу. Потрапляючи в організм, нітрати можуть викликати гіпоксичні стани, порушуючи функцію ключових органів та знижуючи працездатність. Найбільш вразливими групами є діти та вагітні жінки, у яких підвищений вміст нітратів може спричинити метгемоглобінемію — стан, що супроводжується порушенням транспорту кисню [20-22].

На основі оцінювання показників проб води за ДСТУ 4808 [14], для кожної проби визначено клас якості (табл. 2). Вода розливу ТМ «Шепетівська» віднесена до 1-го класу, оскільки всі показники відповідають нормативним вимогам.

Водопровідна вода (вул. Клочківська, 115) та джерельні води віднесені до 2-го класу через перевищення норм за жорсткістю та мінералізацією.

Найнижчу якість (3-й клас) продемонстрували проби зі свердловин, що пов’язано із значним перевищенням нормативу загальної жорсткості.

Таблиця 2

Визначені класи якості проб води

Table 2

Quality grades of the water samples

Проба води / Water sample	**Клас якості вод** [14] / **Water quality grade** [14]
Проба 1. - Джерельна вода «Олексіївська балка» / Sample 1. - Spring water “Oleksiyivska Balka”	2 клас (за мінералізацією, за жорсткістю) / Grade 2 (by mineralization, by hardness)
Проба 2. - Джерельна вода «Саржин яр» / Sample 2. - Spring water “Sarzhin Yar”	2 клас (за мінералізацією, за жорсткістю) / Grade 2 (by mineralization, by hardness)
Проба 3. - Свердловина по вул. Семена Кузнеця, 57 / Sample 3. - Well at 57 Semen Kuznets Street	3 клас (за жорсткістю) / Grade 3 (by hardness)
Проба 4. - Свердловина по вул. Пржевальського, 15 / Sample 4. - Well at 15 Przewalski Street	3 клас (за жорсткістю) / Grade 3 (by hardness)
Проба 5. - Водопровідна вода по вул. Клочківська 115 / Sample 5. - Tap water at 115 Klochkivska Street	2 клас (за жорсткістю) / Grade 2 (by hardness)
Проба 6. - Вода з розливу ТМ «Шестаківська» / Sample 6. - Water from the TM “Shestakovskaya” vending machine	1 клас / Grade 1

Випробувано чотири методи очищення води в домашніх умовах: відстоювання, кип'ятіння, заморожування та фільтрація. Експериментальне дослідження було проведене на одиничній пробі води, відібраній зі свердловини за адресою вул. Семена Кузнеця, 57 (проба 3). Дослідження включало аналізування загальної мінералізації, загальної жорсткості, засоленості та електропровідності води. Результати дослідження представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Характеристика різних способів очищення води для використання в домашніх умовах

Table 3

Characteristics of different methods of water purification for home use

Варіанти / Variants / **Показники / Indicators**	**Загальна мінералізація, мг/дм³ / Total mineralization, mg/dm³**	**Жорсткість заг., ммоль/дм³ / Total hardness, mmol/dm³**	**Електропровідність води, µS/cm / Electrical conductivity of water, µS/cm**	**Засоленість води, % / Water salinity, %**
1. Вода, відібрана зі свердловини за адресою: вул. Семена Кузнеця, 57 / 1. Water taken from the well at 57 Semen Kuznets Street	715	8,1	1123	0,07
2. Процес відстоювання води протягом 6 годин / 2. Water settling process for 6 hours	709	8,1	1114	0,07
3. Кип'ятіння води впродовж 15 хвилин із подальшим відстоюванням протягом 6 годин / 3. Boil water for 15 minutes, then let it stand for 6 hours	735	8,1	1145	0,07
4. Заморожування води на протязі 6 годин / 4. Freezing water for 6 hours	347	6,2	637	0,03
5. Фільтрація води за допомогою колонки, оснащеної іонообмінними смолами та активованим вугіллям / 5. Water filtration using a column equipped with ion exchange resins and activated carbon	291	5,6	589	0,03
Нормативне значення / Standard value	*< 1000*	*< 7,0*	-	-

Експериментально підтверджено, що процес шестигодинного відстоювання води суттєво не впливає на аналізовані показники. Застосування комбінованого методу, що включав кип'ятіння протягом 15 хвилин і подальше відстоювання, не виявило позитивного впливу на якісні показники води — навпаки, спостерігалося незначне збільшення вмісту солей, що підтверджується підвищенням мінералізації та електропровідності після кип'ятіння.

На противагу цьому, шляхом заморожування проби води на 6 годин з подальшим розморожуванням вдалося досягти помітного покращення характеристик: показники загальної мінералізації, засоленості та електропровідності знизилися вдвічі.

Найбільш ефективним методом очищення виявилося фільтрування через багатошаровий адсорбційний фільтр (гранітний щебінь, іонообмінна смола, активоване вугілля, кварцовий пісок), яке забезпечило суттєве зниження всіх сольових показників. Цей спосіб забезпечив значне зниження всіх сольових показників — концентрація солей

зменшилася у 2–2,5 рази. Однак, попри максимальну результативність, саме цей метод вимагає найбільших фінансових витрат серед усіх досліджуваних способів [23, 24].

Отже, дослідження виявило, що серед усіх перевірених домашніх методів очищення води від солей найефективнішими є заморожування та фільтрація. Заморожування виявилося не тільки результативним, але й найдоступнішим та найекономічнішим способом зменшення сольових домішок. На противагу цьому, відстоювання та кип'ятіння продемонстрували мінімальну ефективність, тому їх не рекомендується використовувати як основні способи очищення води в побуті.

Висновки

Органолептична оцінка більшості проб води засвідчила їх відповідність нормативам: запах відсутній, за винятком водопровідної води, прозорість у межах допустимих значень, за винятком проби з риватної свердловини.

Аналіз фізико-хімічних показників виявив, що значення pH усіх проб перебувають у межах допустимих нормативів. Загальна мінералізація у пробах відповідає нормі. Значення жорсткості в частині джерел перевищують допустимі, що вимагає вжиття заходів щодо її зниження Засоленість та електропровідність зростали разом із мінералізацією та жорсткістю. Залишковий хлор виявлено у водопровідній воді, Вміст заліза, міді, нітратів варіював також в нормі.

Згідно з вимогами ДСТУ 4808, воді торгової марки «Шестаківська» присвоєно 1-й клас якості на підставі повної відповідності нормативам та найкращих значень показників. Водопровідну та джерельну воду віднесено до 2-го класу якості через перевищення жорсткості та підвищену мінералізацію. Найнижчі показники зафіксовано у воді зі свердловин, яка віднесена до 3 класу якості через значне перевищення нормативу жорсткості.

Порівняльний аналіз ефективності побутових методів демінералізації води засвідчив, що найрезультативнішими є заморожування та фільтрація. Метод заморожування відзначається не лише високим рівнем вилучення сольових домішок, а й доступністю та економічною доцільністю його застосування. Натомість відстоювання та кип’ятіння характеризуються низькою ефективністю щодо зниження мінералізації, що обмежує можливість їх використання як базових способів очищення води у побутових умовах.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису. Крім того, автори повністю дотримувалися етичних норм, включаючи уникнення плагіату, фальсифікації даних та дублювання публікацій.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Ліхо О.А., Гакало О.І. Особливості водозабезпечення населення Поліських районів Рівненської області. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування.* 2015. Вип. 1(69). С. 122-132. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/3761/1/Vs6913.pdf
2. Novytska S., Kuzyk I., Yankovska L., Taranova N. Water resources of the Hhorostkivska territorial community: ecological status, water use problems, optimisation measures. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія.* 2024. №1. (56) С. 202-214. DOI: https://doi.org/10.25128/2519-4577.24.1.24
3. Прибилова В.М. Оцінка якісного складу питних підземних вод сеноман-нижньокрейдяного водонос-ного комплексу на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія: «Геологія. Географія. Екологія».* 2015. Вип. 43. С. 75-82. URL: https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/5746
4. Illes M., Lukac P., Halaj P., Valek A., Hubacikova V., Kaletova T. Challenges and Future Opportunities of Groundwater Resources for Drinking Water Use: A Case Study of Slatina nad Bebravou (Slovakia). *Hydrology*. 2025. Vol. 12. No 5. 111. https://doi.org/10.3390/hydrology12050111
5. Bianucci, P.; Sordo-Ward, A.; Lama-Pedrosa, B.; Garrote, L. How do environmental flows impact on water availability under climate change scenarios in European basins? *Sci. Total Environ.* 2024. Vol. 911, 168566. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723071942?via%3Dihub
6. Денисик Г. І., Яцентюк Ю . В., Денисик Б . Г., Чиж О . П., Война І . М. Сучасна антропогенна гідросфера України. *Український географічний журнал*. 2024. № 4. С. 12–21. https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.012

7. Прибилова, В. М. Оцінка якісного складу питних підземних вод водоносного горизонту бучацько-канівських відкладів на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія».* 2015 Вип. *40*(1098). С. 42-45. URL: https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/1077
8. ДСТУ EN 1420-1:2004 Якість води. Визначання впливу органічних речовин на якість води, призначеної для споживання людиною. Проведення оцінювання води в трубопровідних системах на запах і присмак. Частина 1. Метод випробовування (EN 1420-1:1999, IDT). Київ, ІВПіМ НААН. 2004. URL: https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=73065&minregion=852
9. ДСТУ 4077-2001 Якість води. Визначення pH (ISO 10523:1994, MOD). Київ. 2001. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52791
10. ДСТУ ISO 6059:2003 Якість води. Визначання сумарного вмісту кальцію та магнію. Титрометричний метод із застосовуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти (ISO 6059:1984, IDT). Київ. 2003. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52715
11. ДСТУ ISO 9297:2007 Якість води. Визначення хлоридів. Титрування нітратом срібла із застосуванням хромату як індикатора (метод Мора) (ISO 9297:1989, IDT). Київ. 2007. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53158
12. ДСТУ ISO 15923-1:2018 Якість води. Визначення окремих параметрів з використанням систем дискретного аналізу. Частина 1. Вміст амонію, нітрату, нітриту, хлориду, ортофосфату, сульфату та силікату з фотометричним детектуванням (ISO 15923-1:2013, IDT). Київ. 2018. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=79777
13. ДСанПіН 2.2.4-171-10: 2010. Державні санітарні норми та правила. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Затверджено МОЗ України наказом № 400 від 12.05.2010 року]. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180
14. ДСТУ 4808:2007: 2007. Державний стандарт України. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правил вибирання. [Прийнято та надано чинності 05.07.2007]. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 36 с. URL: https://environmentallab.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/dstu-4808_2007-dzherela-czentralizovanogo-pitnogo-vodopostachannya.-vimogi-shhodo-yakosti-vodi-i-pravila-vibirannya.pdf
15. Лотоцька О.В., Кондратюк В.А., Кучер С.В. Якість питної води як одна з детермінант громадського здоров'я в Західному регіоні України. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України.* 2019. № 1(79). С. 12–18. https://doi.org/10.11603/1681-2786.2019.1.10278
16. Шевчук Ю.Ф., Николаєв А., Шевчук А. Якість питної води нецентралізованого водопостачання в м. Чернівці. *Наукові записки.* 2014. № 1. С. 182–187.
17. Лісняк А. А., Кулик М. І. Оцінка якості питної води з природних джерел у межах міста Харкова. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія».* 2022. Вип. 27. С. 20-31. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-02
18. Палапа Н.В. Забруднення питної води сільських селітебних територій та заходи з покращення її якості. *Агроекологічний журнал.* 2009. № 3. С. 43-45.
19. Суходольська І., Грубінко В. Основні підходи до оцінювання стійкості водних екосистем. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка.* Серія: Біологія. 2021. Вип. 3. С. 55-69. https://doi.org/10.25128/2078-2357.21.3.8
20. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Зозуля В. М. Оцінка ризику споживання питної води з підвищеним вмістом нітратів на здоров'я населення Житомирської об'єднаної територіальної громади. *Екологічні науки.* 2021. No 3 (36). С. 137-141. URL: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22
21. 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. No 2. P. 17-26. https://doi.org/10.15421/2021_71
22. Lototska O.V., Prokopov V.O. Assessment of the risk of the consumption of drinking water with the increased content of nitrates for the health of the people of the Ternopil Region. *Environment & Health.* 2018. №4. С. 20-24. https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020
23. Третьяков О. В., Шевченко Т. О., Безсонний В. Л. Підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання Харківського регіону (Україна). *Східноєвропейський журнал передових технологій.* 2015. №5/10 (77). С. 40–49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398
24. Лотоцька О.В., Кондратюк В.А., Кучер С.В. Якість питної води як одна з детермінант громадського здоров'я в Західному регіоні України. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України.* 2019. No 1(79). С. 12-18. https://doi.org/10.11603/1681-2786.2019.1.10278

Отримано: 17.09.2025 / Переглянуто: 15.11.2025 / Прийнято: 25.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

A. A. LISNYAK, PhD (Agriculture),
Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: anlisnyak@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5850-7328
V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Square Kharkiv, 61022, Ukraine

M. I. KULYK, PhD (Technical),
Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: m.kulyk@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0605-9367
V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Square Kharkiv, 61022, Ukraine

S. TORMA, PhD (Technical),
Head of Department
e-mail: stanislav.torma@nppc.sk ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4444-9067
Soil Science and Conservation Research Institute,
Raymanova street 1, Presov, 08001, Slovakia

DRINKING WATER QUALITY FROM VARIOUS SOURCES IN THE SHEVCHENKIVSKY DISTRICT OF KHARKIV

Purpose. Assessment of drinking water quality from different sources (centralized, decentralized) in the Shevchenkivskyi district of Kharkiv.

Methods. Field, analytical, statistical.

Results. Representative samples were selected from various water supply sources: natural springs, wells, city water supply. Organoleptic properties, physicochemical parameters and toxicological indicators were determined. Based on the analysis of all these characteristics in accordance with the requirements of DSTU 4808, it was determined that samples of artesian water TM "Shestakivska" are characterized by an optimal neutral pH, low metal content, moderate hardness and do not exceed the regulatory values for any indicator. Water samples from private wells in the Shevchenkivskyi district of Kharkiv have increased total hardness, mineralization and salinity, which indicates the need for additional purification from salts. Water from centralized water supply, in addition to high total hardness, was characterized by the highest content of chlorine, iron and copper. A study was conducted to improve the quality of tap water at home. In particular, the effects of boiling, settling, freezing and filtering water on reducing the content of total salts and improving organoleptic indicators were studied.

Conclusions. Artesian water of the Shestakivska trademark has the 1st quality class based on full compliance with the standards. Tap and spring water is classified as the 2nd quality class due to excess hardness and increased mineralization. The lowest indicators were recorded in water from a private well, which is classified as the 3rd quality class due to a significant excess of the hardness standard. An effective household method of demineralization of water is freezing and filtration.

KEYWORDS: *drinking water, water quality, city water supply, physicochemical parameters of water, total water hardness, water improvement methods*

Conflict of Interest

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

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work.

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Liho O. A., Hakalo O. I. (2015). Peculiarities of water supply of the population of the Polissya districts of the Rivne region. *Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Management.* 1(69). 122-132. Retrieved from https://ep3.nuwm.edu.ua/3761/1/Vs6913.pdf (in Ukrainian).
2. Novytska S., Kuzyk I., Yankovska L., Taranova N. (2024). Water resources of the Hhorostkivska territorial community: ecological status, water use problems, optimisation measures. *Scientific notes of the V. Hnatyuk TNPU. Series: Geography*. 1(56). 202-214. https://doi.org/10.25128/2519-4577.24.1.24
3. Pribilova V. M. (2015) Assessment of the storage of drinking groundwater in the Cenomanian-Lower Kreidya aquifer complex on the territory of the Kharkiv region. *Bulletin of Kharkiv National University named after. V.N. Karazin. Series:"Geology.* Geography. Ecology", (43), 75-82. Retrieved from https://periodicals.karazin.ua/geo-eco/article/view/5746 (in Ukrainian).
4. Illes, N., Lukac, P., Halaj, P., Valek, A., Hubacikova, V., & Kaletova, T. (2025). Challenges and Future Opportunities of Groundwater Resources for Drinking Water Use: A Case Study of Slatina nad Bebravou (Slovakia). *Hydrology. 12*(5), 111. https://doi.org/10.3390/hydrology12050111

5. Bianucci, P.; Sordo-Ward, A.; Lama-Pedrosa, B.; Garrote, L. (2024). How do environmental flows impact on water availability under climate change scenarios in European basins? *Sci. Total Environ. 911*, 168566. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723071942?via%3Dihub
6. Denysyk, Hr. I., Yatsentiuk,Yu.V., Denysyk, B. Hr., Chyzh,O. P., & Voina, I. M. (2024). Modern Anthropogenic Hydrosphere of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal.* (4), 12–21. https://doi.org/10.15407/ugz2024.04.012
7. Prybylova, V.M. (2014). Assessment of the qualitative composition of potable groundwater of the aquifer of the Buchach-Kaniv deposits in the territory of the Kharkiv region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, *40*(1098), 42-45 Retrieved from https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/1077 (in Ukraine).
8. DSTU EN 1420-1:2004. (2004). Water quality. Determination of the influence of organic substances on the quality of water intended for human consumption. *Evaluation of water in pipeline systems for smell and taste*. Part 1. Test method (EN 1420-1:1999, IDT). Kyiv, IVPiM NAAS, 2004. Retrieved from https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=73065&minregion=852 (in Ukrainian).
9. DSTU 4077-2001. (2001). Water quality. Determination of pH (ISO 10523:1994, MOD). Kyiv. 2001. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52791 (in Ukrainian).
10. DSTU ISO 6059:2003. (2003). Water quality. Determination of the total content of calcium and magnesium. Titrometric method using ethylenediaminetetraacetic acid (ISO 6059:1984, IDT). Kyiv. 2003. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52715 (in Ukrainian).
11. DSTU ISO 9297:2007. (2007). Water quality. Determination of chlorides. Titration with silver nitrate using chromate as an indicator (Mohr's method) (ISO 9297:1989, IDT). Kyiv. 2007. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53158 (in Ukrainian).
12. DSTU ISO 15923-1:2018 (2018). Water quality. Determination of individual parameters using discrete analysis systems. Part 1. Ammonium, nitrate, nitrite, chloride, orthophosphate, sulfate and silicate content with photometric detection (ISO 15923-1:2013, IDT). Kyiv. 2018. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=79777 (in Ukrainian).
13. DSanPiN 2.2.4-171-10 (2010). National sanitary standards and rules. Hygienic precautions for drinking water intended for human living. Approved by the Ministry of Health of Ukraine by order No. 400 dated May 12, 2010. Retrieved from https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180 (in Ukrainian).
14. DSTU 4808:2007 (2007). State standard of Ukraine. Dzherela of centralized drinking water supply. Hygienic and environmentally friendly benefits are achieved through careful selection of water and rules. Accepted and assigned 07/05/2007. K.: Derzhspozhivstandart of Ukraine, 2007. Retrieved from https://environmentallab.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/dstu-4808_2007-dzherela-czentralizovanogo-pitnogo-vodopostachannya.-vimogi-shhodo-yakosti-vodi-i-pravila-vibirannya.pdf (in Ukrainian).
15. Lototska O.V., Kondratyuk V.A., Kucher S.V. (2019). Quality of drinking water as one of the determinants of public health in the Western region of Ukraine. *Bulletin of social hygiene and health care organizations of Ukraine*. 1(79), 12–18. https://doi.org/10.11603/1681-2786.2019.1.10278 (in Ukrainian).
16. Shevchuk Yu.F., Nikolayev A., Shevchuk A. (2014). Quality of drinking water of non-centralized water supply in Chernivtsi. *Scientific Notes*, (1), 182–187. (in Ukrainian).
17. Lisnyak, A. A., Kulik, M. I. (2022). Assessment of the quality of drinking water from natural springs near the Kharkov town. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (27), 20-31. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-02 (in Ukrainian).
18. Palapa N.V. (2009). Pollution of drinking water in rural residential areas and measures to improve its quality. *Agroecological Journal*, (3), 43-45 (in Ukrainian).
19. Sukhodolska I., Grubinko V. (2021). Main approaches to assessing the stability of aquatic ecosystems. *Scientific notes of the V. Hnatyuk National Research University*. Series: Biology. (3), 55-69. https://doi.org/10.25128/2078-2357.21.3.8 (in Ukrainian).
20. Valerko, R. A., Herasymchuk, L. O. Zozulya, V. M. (2021). Risk assessment of drinking water consumption with high nitrate content on the health of the population of the Zhytomyr united territorial community. Environmental sciences, 3(36), 137-141. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22 (in Ukrainian).
21. Romanchuk L. D., Valerko R. A, Herasymchuk L. O., Kravchuk M. M. (2021). Assessment of the impact of organic agriculture on nitrate content in drinking water in rural settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, *11*(2), 17-26. https://doi.org/10.15421/2021_71
22. Lototska O.V., Prokopov V.O. (2018). Assessment of the risk of the consumption of drinking water with the increased content of nitrates for the health of the people of the Ternopil Region. *Environment & Health.* №4. pp. 20-24. https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020
23. Tretyakov, O. V., Shevchenko, T. O. & Bezsonniy, V. L. (2015). Increasing the level of ecological safety of drinking waer supply in the Kharkiv region (Ukraine). *Eastern European journal of advanced technologies*. 5/10 (77). 40–49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398 (in Ukrainian).
24. Lototska O.V., Kondratyuk V.A., Kucher S.V. (2019).The acidity of drinking water is one of the determinants of public health in the Western region of Ukraine. Newsletter of social hygiene and health care organization in Ukraine. No. 1(79). 12-18. https://doi.org/10.11603/1681-2786.2019.1.10278 (in Ukrainian).

Submission received: 17.09.2025 / Revised: 15.11.2025 / Accepted: 25.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-04
УДК (UDC): 911.3

Т. С. КОПТЄВА, PhD (Науки про Землю),
доцент кафедри суспільно-економічних дисциплін і географії
e-mail: koptevatania36@hnpu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9405-16744
Харківський національний педагогічний університет імені Г.С.Сковороди,
вул. Алчевських, 29, Харків, 61000, Україна

ФОРМУВАННЯ ПРОВАЛЬНОГО РЕЛЬЄФУ В УМОВАХ ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ ЛАНДШАФТІВ КРИВОРІЗЬКОЇ ЛАНДШАФТНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Мета. Встановлення закономірностей формування та розвитку провального рельєфу як перехідного ярусу двоярусної структури гірничопромислових ландшафтів Криворізької ландшафтно-технічної системи та оцінка його впливу на сучасну морфодинаміку Криворізької ландшафтно-технічної системи.

Методи. Польові спостереження, геоморфологічний аналіз, порівняльно-аналітичний метод, картографічне моделювання, ГІС-аналіз.

Результати. Встановлено, що провальний рельєф є одним з ключових морфологічних елементів двоярусної структури гірничопромислових ландшафтів Криворізької ландшафтно-технічної системи. Визначено, що найінтенсивніші зони зрушення фіксуються в межах ВАТ «Суха Балка», рудоуправлінь ім. Колачевського, ім. Галковського, Олександрівського рудника та шахти Козацька. Зафіксовано дві групи провальних процесів: закономірні, пов'язані з плановою гірничою діяльністю, та випадкові, спричинені неконтрольованими геодинамічними чинниками. Виявлено також, що провальні утворення формуються не лише над шахтними виробками, а й у межах відвалів, розташованих над ними. Найбільші провальні форми, зокрема провальної зони шахти Козацької та зона Галковського кута, демонструють високу інтенсивність сучасних деформацій земної поверхні. Геоморфологічний аналіз дозволив виявити структурно-морфологічні особливості двоярусної будови гірничопромислових ландшафтів і простежити взаємозв'язок між поверхневими та підземними процесами. Порівняльно-аналітичний метод дав змогу зіставити сучасний стан провальних утворень із даними попередніх спостережень, виявивши тенденцію до збільшення площі зон деформацій. Картографічне моделювання забезпечило побудову картосхем просторового розподілу провальних зон у межах основних рудоуправлінь, а ГІС-аналіз – візуалізацію просторових зв'язків між поверхневими й підземними ярусами.

Висновки. Провальний рельєф є невід'ємним компонентом двоярусної структури гірничопромислових ландшафтів Криворізької ландшафтно-технічної системи, який формується як перехідний ярус, що поєднує поверхневі та підземні рівні, забезпечуючи морфогенетичний зв'язок між ними. Провальні процеси мають закономірний і випадковий характер, що свідчить про складну геодинамічну активність техногенно- трансформованих масивів. Отримані результати підтверджують необхідність подальшого моніторингу техногенних процесів для запобігання розвитку небезпечних ситуацій і стабілізації ландшафтної структури регіону.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *двоярусність, гірничопромисловий ландшафт, Криворізька ландшафтно-технічна система, поверхневий ярус, підземний ярус, провальний рельєф, провальна лійка, середній ярус*

Як цитувати: Коптєва Т. С. Формування провального рельєфу в умовах гірничопромислових ландшафтів Криворізької ландшафтно-технічної системи. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 47-59. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-04

In cites: Koptieva, T. S. (2025). Formation of failure relief in the conditions of mining landscapes of the Kryvyi Rih landscape-technical system. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 47-59. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-04 (in Ukrainian)

Вступ

Криворізька ландшафтно-технічна система (КЛТС) є унікальним і фактично єдиним в Україні, Європі та й світі прикладом території, що зазнала повної ландшафтної трансформації внаслідок тривалої гірничопромислової діяльності [1]. У межах цієї сис-

© Коптєва Т. С., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

теми природні ландшафти повністю заміщені техногенними формами – відвалами, кар'єрами, проваллями, шахтами, що утворюють складну двоярусну структуру. У межах КЛТС гірничопромислові ландшафти займають більше 40 тис. га. У їх структурі переважають відвальні та кар'єрні ландшафтні комплекси (67 %), промислові майданчики, водні антропогенні й дорожні ландшафти [2].

Така масштабна трансформація природного середовища зумовила формування нових морфогенетичних процесів і специфічних форм рельєфу, серед яких особливе місце посідає провальний рельєф. Провальні форми рельєфу є результатом підземних гірничих робіт, деформацій земної поверхні та вторинних екзогенних процесів [3, 4]. Вони становлять перехідний ярус у двоярусній структурі гірничопромислових ландшафтів, поєднуючи верхній техногенний рівень (поверхневий ярус) із нижнім (підземним ярусом). Саме в межах цього перехідного ярусу відбуваються найінтенсивніші морфодинамічні процеси – просідання, суфозія, ерозія, акумуляція та саморегуляція техногенних форм.

Дослідження провального рельєфу як перехідного ярусу в структурі Криворізької ландшафтно-технічної системи має важливе наукове та прикладне значення, дозволяє не лише глибше зрозуміти морфогенетичну природу гірничопромислових ландшафтів, але й оцінити їх екологічну стабільність, ризики подальших деформацій і потенціал рекультивації територій, порушених гірничими роботами.

Певна кількість праць науковців присвячена дослідженню провального рельєфу гірничопромислових ландшафтів, серед них Денисика Г. І. [1, 3, 5, 6], Задорожньої Г. М. [3, 7], Казакова В. Л. [2, 5, 8], Коптєвої Т. С. [1, 9 – 11], Сметани М. Г. [12, 13], Черного Г. І [14] та інші.

Проблематика даного питання ґрунтовно розглянута в численних зарубіжних дослідженнях, зокрема у працях Hodge R. [4], Moffat K., Zhang A. [15], Kemp D. [16], Behera A., Rawat K [17], Żemła-Siesicka A. [18] та інші.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є гірничопромислові ландшафти Криворізької ландшафтно-технічної системи, які сформувалися внаслідок тривалої гірничодобувної діяльності та характеризуються складною просторово-функціональною організацією.

Предметом дослідження є провальний рельєф як перехідний ярус у двоярусній структурі гірничопромислових ландшафтів КЛТС.

У дослідженні застосовано комплекс методів: польові спостереження – для фіксації морфологічних особливостей провальних зон; геоморфологічний аналіз – для визначення структурно-морфологічних параметрів двоярусної будови гірничопромислових ландшафтів; порівняльно-аналітичний метод – для зіставлення сучасного стану провальних утворень із попередніми спостереженнями; картографічне моделювання – для побудови картосхем просторового розподілу провальних зон; геоінформаційні технології (ГІС-аналіз) – для візуалізації взаємозв'язку поверхневих і підземних ярусів та прогнозування подальшої динаміки техногенних деформацій.

Результати та обговорення

Криворізька ландшафтно-технічна система (КЛТС) є системою, яка утворилася 150 років тому назад і за такий незначний період часу повністю видозмінила натура-льні ландшафти у антропогенні [1, 5]. Особливе значення у КЛТС мають гірничо-промислові ландшафти, які являють собою складні динамічні системи на яких зумовлю-ється виникнення похідних процесів та явищ. Вони виступають провідними чинниками у формуванні поверхневого ярусу гірничопромислових ландшафтів і спричиняють виникненню природно-техногенних надзвичайних ситуацій [9, 15].

На рис. 1. поверхневий ярус гірничопромислових ландшафтів КЛТС представлений поверхневими об'єктами та спорудами: кар'єри, відвали, шламосховища, гірничо-збага-чувальні комбінати та ін. [9]. При активному видобутку залізної руди КЛТС на поверх-невому ярусі з'являються похідні процеси та явища, які зумовлюють до виникнення тех-ногенних небезпечних ситуацій особливо це простежується у зонах зрушення денної поверхні КЛТС. Підземний ярус гірничопро-мислових ландшафтів поділяється на шахти (стволи, квершлаги, штреки, гезенки), штольні і просадочні воронки [9, 6].

Умовно простежити двоярусність можна на рис. 2, де показано двоярусність гірничопромислового та селитебних ландшафтів КЛТС.

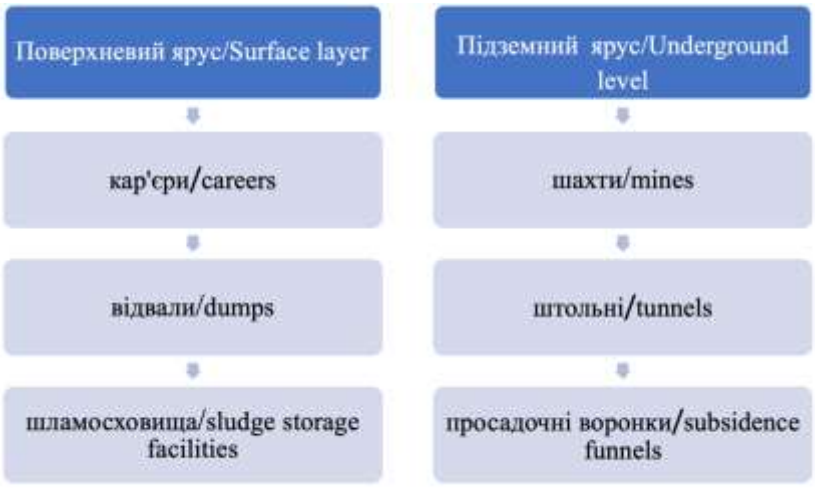
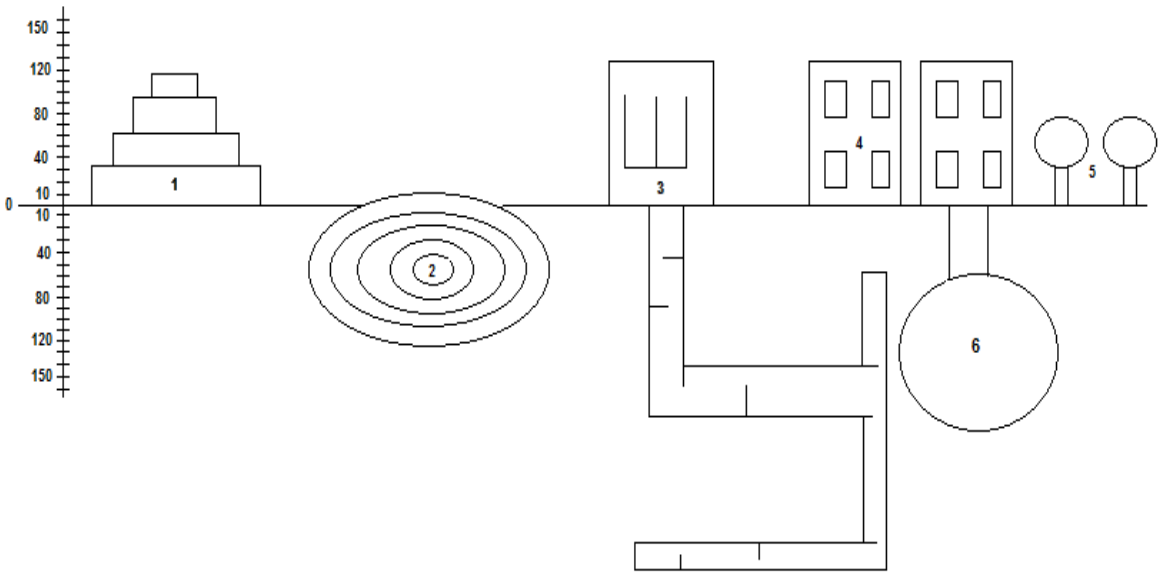


Рис. 1 – Поділ поверхневого та підземного ярусів
Fig. 1 – Division of surface and underground tiers



Умовні позначення/ Legend:

1- відвали (гірничопромисловий ландшафт) – поверхневий ярус / spoil tips (mining landscape) – surface layer
2- кар'єри (гірничопромисловий ландшафт) – поверхневий ярус/ quarries (mining landscape) – surface layer
3- шахта (гірничопромисловий ландшафт) – підземний ярус / mine (mining landscape) – underground level
4- житлова зона (селитебний ландшафт) – поверхневий ярус / residential area (settlement landscape) – surface layer
5- садово-паркова зона (селитебний ландшафт) – поверхневий ярус / garden and park area (settlement landscape) – surface layer
6- швидкісний трамвай (селитебний ландшафт) – підземний ярус/ high-speed tram (residential landscape) – underground level

Рис.2 – Двоярусність гірничопромислових та селитебних ландшафтів КЛТС
Fig. 2 – Two-tier structure of mining and settlement landscapes of the KLTS

Відповідно, похідні процеси і явища у гірничопромислових ландшафтах КЛТС зумовлюють виникнення перехідного ярусу в двоярусній структурі. Перехідний ярус формується внаслідок розвитку гравітаційного та провального рельєфу на території КЛТС, які є результатом тривалого техногенного навантаження та природно-геоморфологічних проце-

сів, що відбуваються після завершення гірничих робіт. Саме цей ярус відіграє важливу роль у забезпеченні морфогенетичного зв'язку між техногенними та природними компонентами ландшафтної структури.

Гравітаційний рельєф – це рельєф, який утворюється під дією сили гравітації Землі. Активізація гравітаційних процесів починається відразу після створення гірничопромислового ландшафту, а особливого розвитку досягає після його відпрацювання [3]. Найбільша інтенсивність гравітаційних процесів спостерігається у перші роки формування гірничопромислових ландшафтів, коли порушені породи перебувають у нестійкому стані, а максимальної потужності вони досягають після завершення експлуатації гірничих об'єктів [16].

Найбільш поширеним проявом гравітаційного рельєфу є гравітаційний рельєф схилів, який формується під впливом гравітаційного переміщення порід на бортах кар'єрів, відвалах і терасах [3].Основними формами гравітаційного рельєфу схилів є обвали, осипи, дефлюкційні схили та зсуви, що мають різну морфометрію й інтенсивність розвитку залежно від фізико-механічних властивостей порід і ступеня зволоження [9].

Унікальними формами гравітаційного рельєфу в ландшафтах зон техногенезу є зони зрушення земної поверхні, які утворюються внаслідок підземного видобутку корисних копалин [17]. Вони характеризуються склад-ною морфологічною будовою, проявами тріщинуватості, деформацій та осідань, що створюють передумови для подальшого розвитку провального рельєфу – одного з ключових елементів перехідного ярусу КЛТС.

Як показано на рис. 3 кар'єрно-відвальні і шахтні ландшафтні комплекси сформувалися майже по всій території КЛТС. Провальний рельєф розвивається переважно саме в цих зонах, де поєднання порушеної геоструктури та техногенного навантаження створює сприятливі умови для його утворення. На їх поверхні формується характерний провальний та просадочний рельєф [10].

Провальний рельєф найбільш активно розвивається у північній та центральній частинах КЛТС. Він є кінцевим результатом процесів зрушення гірських порід, що активізуються внаслідок застосування при гірничодобувних роботах системи підповер-хневого обвалення [12]. Сутність цієї системи полягає у штучному обваленні покрівлі підземних порожнин значних сумарних обсягів, які утворюються після відпрацювання шахтами верхніх горизонтів рудоносних пластів (до глибини 300 м) [19].Обвалені породи заповнюють вироблений простір, знижуючи ризик раптових провалів, але водночас сприяючи поступовому зрушенню земної поверхні [20].

За спостереженнями Г. І. Черного [14], зрушення земної поверхні зазвичай розпочинається через один–два місяці після завершення відпрацювання покладу або після виїмки більшої частини целіків на певному горизонті [14]. Водночас обвалення можуть мати і неконтрольований характер, спричинений дією сили тяжіння або проведенням буро-вибухових робіт у межах гірничих відводів.

На території КЛТС найбільш інтенсивні зони зрушення фіксуються в межах ВАТ «Суха Балка», Олександрівський рудник, РУ ім. Колачевського (Саксаганський рудник) та РУ ім. Галковського (колишня назва РУ ім. Кірова) (рис.4). За оцінками В. П. Палієнка, площа зон зрушення та провалів у межах КЛТС перевищує 3,3 тис. га [3].

Формування провального рельєфу зумовлюється сукупністю низки чинників, серед яких провідну роль відіграють фізико-механічні властивості гірських порід, будова породного масиву та система його поверхні ослаблення, що перетинають масив [8]. Важливе значення мають також гідрогеологічні умови, розміри та просторове положення покладів і гірничих виробок у породному середовищі, а також гірничотехнічні чинники, пов'язані зі способом розробки та інтенсивністю гірничих робіт [10].

Комплексна дія зазначених чинників зумовлює формування унікальних територій, на яких виникають специфічні сучасні техногенні ландшафти – провальні зони. Ці зони являють собою результат тривалих процесів деформації земної поверхні, спричинених як природними, так і техногенними впливами [18]. Основними морфологічними елементами провальних зон виступають провальні лійки, улоговини, каньйони, зсувні тераси та зони плавних рухів земної поверхні (рис. 5). У своїй сукупності вони формують складну просторово-структурну організацію рельєфу, що є характерною ознакою сучасних техногенно-трансформованих ландшафтів Криворізької ландшафтно-технічної системи [13].

Провальні лійки за своїми морфометричними параметрами належать до форм мезорельєфу. Вони, як правило, групуються та приурочені до зон родовищ залізних руд пластового типу, що зумовлено особливостями геологічної будови та характером під-

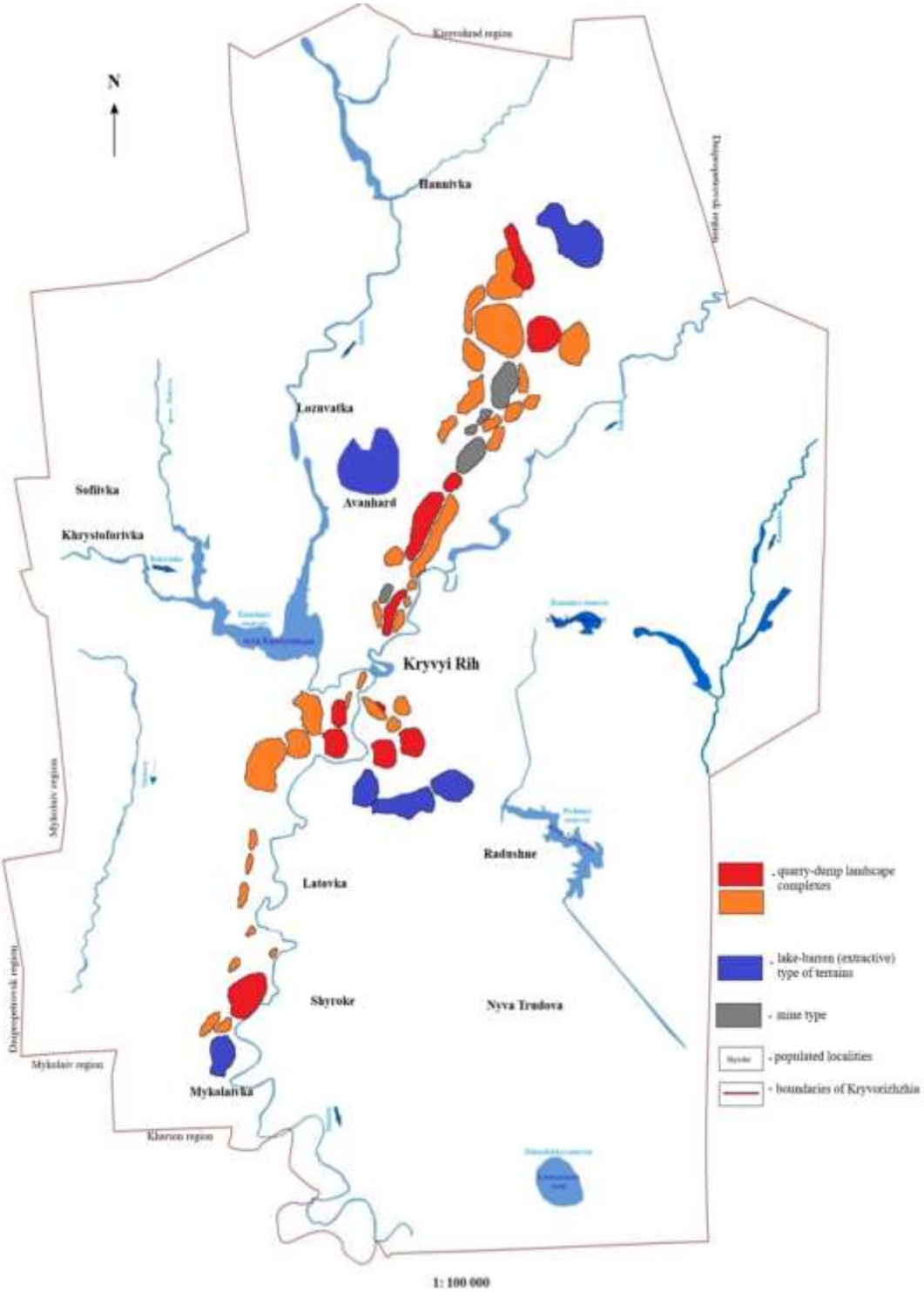


Рис. 3 – Типи гірничопромислових ландшафтів КЛТС [4]
Fig. 3 –Types of mining landscapes in KLTS [4]

Рис. 4 – Зони зрушення РУ ім. Колачевського
Fig. 4 – Areas of change at the Kolachevsky mining administration

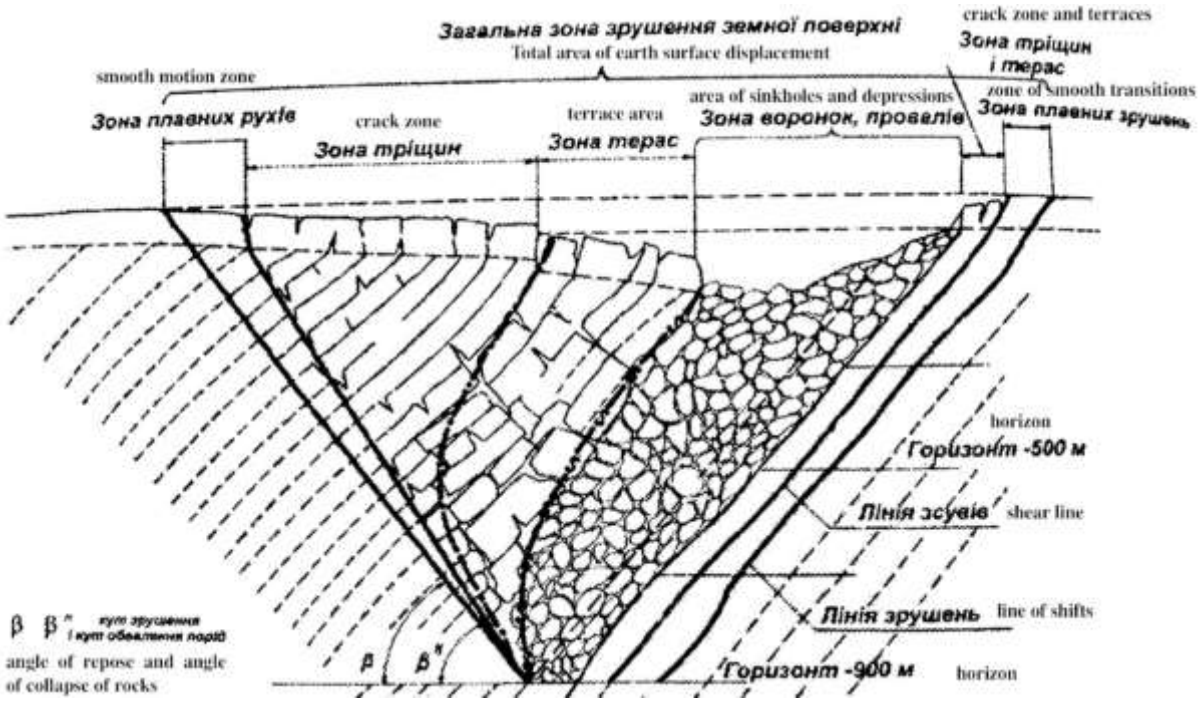


Рис. 5 – Загальна схема зони зрушення земної поверхні [14]
Fig. 5 – General diagram of the earth's surface displacement zone [14]

земних гірничих робіт [3]. Сучасні провальні лійки характеризуються значними розмірами: їхня глибина сягає 100–150 м, а діаметр варіює від кількох десятків до 200–500 м [6].Для кожної лійки притаманна виражена морфологічна структура, у межах якої простежуються основні морфометричні елементи – бровка, схили та днище, переважно конусоподібної форми, що відображає закономірності формування та подальшої еволюції провального рельєфу [3].

Глибокі провальні лійки можуть з'єднуватися та утворювати масштабні провальні западини, які В. Л. Казаков пропонує називати провальними улоговинами та провальними каньйонами [2]. Довжина улого-

вин сягає 400-500 м, каньйонів – до 1000 м. Єдиний подібний провальний каньйон сформувався в провальній зоні шахті Козацькій.

Провальний каньйон продовжує інтенсивно деградувати, становлячи катастрофічну небезпеку як для природного середовища, так і для населених пунктів, розташованих поблизу. Його глибина сягає 133 м, що робить цю форму рельєфу найбільшою не лише в межах Криворізької ландшафтно-технічної системи, а й у всій Європі.

Структурно провальний каньйон складається з кількох локальних обвалів, які поступово зливаються, утворюючи єдину глибоку провальну зону. З метою запобігання подальшому розвитку деформацій і недопущення техногенної катастрофи провальну зону поступово засипають пустими породами залізорудного походження. Однак, незважаючи на вжиті заходи, процеси деструкції тривають — зона провалля продовжує розширюватися, формуючи складну систему тріщин, розломів і зсувів (рис. 6).

Варто зазначити, що провальна зона простягається широкими смугами та безпосередньо межує зі старовинним рудником. Цей

Рис. 6 – Провальна зона залізорудної шахти Козацької
Fig. 6 – Collapsed area of the Kozatska iron ore mine

приклад яскраво ілюструє механізм двоярусної будови гірничопромислового ландшафту, у якому поверхневі та підземні яруси функціонують як єдина динамічна система трансформацій, характерна для регіонів з високою інтенсивністю гірничодобувної діяльності [11].

Перші форми провального рельєфу на території Криворізької ландшафтно-технічної системи зафіксовані ще у 1930-х роках ХХ ст., і процес його розвитку триває дотепер. Зокрема, 13 червня 2010 року внаслідок обвалення склепіння камер виробок горизонту – 477 м шахти РУ Колачевського [3] утворилася провальна лійка площею близько 16 га та глибиною 80–82 м (по лежачому блоці) і 5–20 м (по висячому блоці), глибина всієї провальної лійки 220 м. Ця форма, відома під назвою «Гніздо Дракона» на території шахти Козацькій нині є об’єктом дослідження, а також використовується у сфері промислового альпінізму та техногенного туризму КЛТС.

Паранько І. С. [21] зазначав, що процес утворення провалів має двоїстий характер і поділяється на закономірні та випадкові. Закономірні провалля формуються передба-чувано, оскільки їхнє виникнення та подальший розвиток є невід’ємною складовою гірничовидобувного процесу, що зумовлено особливостями застосованих технологій розробки родовищ [18]. Випадкові провалля, навпаки, утворюються під дією непередбачуваних чинників, які активізують процеси зрушення та обвалення гірських порід поза межами запланованого техногенного впливу. На територіях

гірничих відводів переважають закономірні форми зрушень, однак аналіз просторового розповсюдження провалів свідчить, що з часом зростає частка випадкових утворень, що відображає ускладнення геодинамічних процесів у межах техногенно трансформованих масивів [22].

Утворення чергової провальної лійки було зафіксовано 17 серпня 2010 року на території Центрально-Міського району, її глибина сягала близько 20 м. За припущеннями Г. М. Задорожньої, формування цієї лійки було пов'язане з самообваленням порід у межах відпрацьованих дореволюційних шахтних горизонтів, де з часом відбулося ослаблення порід та порушення їхньої стійкості [3]. Крім того, 14 січня 2011 року внаслідок землетрусу силою 3,9 балів було утворено провальну лійку на території провальної зони РУ ім. Галковського. Вона розташована в межах прогнозованої зони зрушення, що формується під впливом гірничих робіт на глибині близько – 1045 м.

Нещодавно, 29 березня 2024 року, на території РУ імені Галковського, поблизу Галковського кута, утворилося масштабне провалля із морфометричними параметрами: ширина близько 100 м, глибина — до 200 м [10]. Варто зазначити, що провалля продовжує розширюватися, демонструючи активний розвиток морфодинамічних процесів у зоні техногенного навантаження (рис. 7).

Рис. 7 – Провальна лійка на території Галковського кута КЛТС
Fig. 7 – Collapsed funnel on the territory of the Galkovsky corner of the KLTS

Важливо зазначити, що провальний рельєф утворюється на тільки безпосередньо над підземними виробками, а й можуть сформуватися на багатоярусних відвалах, відсипаних над підземними виробками [3]. Дослідження було виконано на території Саксаганського району, м. Кривий Ріг, біля кар'єру Південного ГЗК, біля провалля Чаша, утворилася нове провалля у відвалі кар'єра Південного ГЗК і тут простежується приклад двоярусної структури гірничопро-мислових ландшафтів.

На рис. 8 чітко виокремлені межі відвалу, який переходить у провальну зону, а далі у підземний ярус. Спочатку на цій ділянці здійснювався видобуток залізної руди закритим (шахтним) способом, у результаті чого у підземному ярусі сформувався розгалужений простір шахтних виробок і порожнин. Після завершення підземного видобутку, на поверхні цієї території було сформовано масивний відвал пустої породи залізорудного походження, який будучи потужним техногенним утворенням, здійснював значний тиск на породи, що перекривали підземні пустоти. З часом перекриття поступово втрачало стійкість, особливо в зонах найбільшого навантаження, що призвело до просідання території під відвалом. Наслідком цього стало утворення провальної лійки в структурі самого відвалу.

Таким чином, на цій ділянці зафіксовано процес, коли: первинна (поверхнева) структура відвалу зазнала деформацій, се-

Рис. 8 – Поверхневий ярус (відвал та зона зрушення), який переходить у середній ярус
Fig. 8 – Surface layer (deposit and displacement zone), which transitions into the middle layer

Рис. 9 – Підземний ярус (підземні виробки та порожнини)
Fig. 9 – Underground level (underground workings and cavities)

редній ярус (провальна зона) сформувався як зона просідання і руйнування, а підзем-ний ярус визначився наявністю попередніх гірничих виробок, які виступили рушійною силою даної території. У результаті наочно на рис. 8 і рис. 9 простежується яскравий приклад прояву двоярусної структури гірничопромислового ландшафту, де відбувається взаємодія двох ярусів зі середнім: верхнього – поверхневого (відвалу), середнього (провальної зони) та нижнього-підземного (підземні виробки і порожнини). Така морфоструктурна побудова є характерною для територій з багаторівневим техногенним навантаженням та свідчить про складну постексплуатаційну динаміку антропоген-них ландшафтів.

На рис.8 і 9 простежується низка морфологічних елементів – бровка, схили, днище (переважно конусоподібної форми), схили ускладнені продуктами флювіальних та гравітаційних процесів (борознами, рівчаками, осипами).

Висновки

Криворізька ландшафтно-технічна система є унікальним прикладом природ-ного середовища, повністю трансформованого антропогенною діяльністю. Формування провального рельєфу в межах КЛТС є результатом тривалої дії техногенних і природних чинників, серед яких провідну роль відіграють особливості гірничих робіт, фізико-механічні властивості порід і гідро-геологічні умови. Провальні процеси розвиваються насамперед у межах шахтних і кар'єрно-відвальних ландшафтів, де поєднання порушеної геоструктури та інтенсивного техногенного навантаження створює сприятливі умови для формування деформацій земної поверхні.

Найбільші зони зрушення спостерігаються на територіях рудоуправлінь і шахт, зокрема ім. Галковського, Колачевського та на промислових майданчиках ВАТ «Суха Балка».

Провальні лійки, улоговини та каньйони характеризуються значними морфометричними параметрами – глибиною до 150 м і діаметром до 500 м, що робить їх типовими формами мезорельєфу техногенного походження. Особливо небезпечними є масштабні провальні утворення, такі як провальний каньйон шахти «Козацька», глибина якого сягає 133 м, що є найбільшим показником у Європі. Активний розвиток цих форм супроводжується поширенням тріщин, розломів і зсувів, що свідчить про складну геодинамічну ситуацію в регіоні. Дослідження останніх років показують, що провальні процеси можуть розвиватися не лише над підземними виробками, а й у межах багатоярусних відвалів, утворених над ними, де спостерігається прояв двоярусної будови гірничопромислових ландшафтів. Взаємодія поверхневого, провального та підземного ярусів формує складну морфоструктурну систему, яка відображає постексплуатаційну динаміку гірничопромислових ландшафтів.

Таким чином, Криворізька ландшафтно-технічна система демонструє характерний приклад просторово-структурної та морфодинамічної еволюції територій інтенсивного гірничого освоєння, де техногенні процеси залишають тривалий слід у геоморфологічній будові та екологічному стані регіону.

Конфлікт інтересів

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

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Денисик Г. І., Коптєва Т. С. Криворізька ландшафтно-технічна система: розвиток, сучасний стан, шляхи оптимізації. *Фізична географія та геоморфологія.* 2021. № 105–107. С. 25–29. DOI: https://doi.org/10.17721/phgg.2021.1-3.03
2. Казаков В. Л. Геоморфологія провальних зон Кривбасу. *Охорона довкілля : екологічні, освітянські, медичні аспекти :* Матер. IV Всеукр. конф. III ч. Кривий Ріг, 1999. С. 29–31.
3. Денисик Г. І., Задорожня Г. М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу *:* монографія. Вінниця : Вінницька обласна друкарня, 2013, 220 с.

4. Hodge, R. A., Ericsson M., Löf O., Löf A., Semkowich, P. The global mining industry: Corporate profile, complexity, and change. *Mineral Economics*, 2022, 35(3–4), 1–20. https://doi.org/10.1007/s13563-022-00343-1
5. Денисик Г. І., Казаков В. П., Ярков С. В. Сингенез рослинного покриву у ландшафтах зон техногенезу : монографія. Вінниця : ПП «Едельвейс і К», 2012, 240 с.
6. Денисик, Г. І., Козинська, І. П. Промислові ландшафти регіону видобутку уранових руд в Україні: монографія. Умань, Візаві, 2015, 282.
7. Задорожня Г. М. Просторово-часовий аналіз похідних процесів та явищ гірничопромислових ландшафтів Кривбасу. *Наукові записки Вінницького педуніверситету. Серія Географія.* 2010. Вип. 20. С. 82–90. URL: https://dspace.vspu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/27d4b5b6-e9bb-4a0a-a546-1b0d1d6f81a8/content
8. Казаков В. Л. Посттехногенний морфоскульптурний геоморфогенез. *Проблеми екології та екологічної освіти* : Матер. IV міжнар. наук.-практ. конф. Кривий Ріг: Етюд-сервіс, 2005. С. 64–67. URL: https://dspace.vspu.edu.ua/items/ec40ca9a-2910-4a01-b585-670ce6a845f3
9. Коптєва Т. С. Поверхневий кар'єрно-відвальний ярус гірничопромислових ландшафтів Криворізької ландшафтно-технічної системи. *Ландшафтознавство.* 2025. Т. 7. № 1. С. 95–105. https://doi.org/10.31652/2786-5665-2025-7-95-105
10. Koptieva T. The sinkholes of the surface tier of mining landscapes in the Kryvyi Rih landscape-technical system.*Ideas and Innovations in Earth Sciences*: Proceedings of the 10th International Geosciences Conference of Young Researchers, Kyiv, Ukraine, May 23–24, 2024. 2024. P. 125-127. URL: https://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/16038
11. Коптєва Т. С. До питання вивчення двоярусності антропогенних ландшафтів. *Слобожанський науковий вісник*. Серія: Природничі науки. 2024. № 2. С. 107–113. https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.2.14
12. Сметана М., Гринько С. До класифікації ландшафтно-техногенних систем Криворіжжя. *Проблеми ландшафтного різноманіття України* : зб. наук. праць. Київ, 2000. С. 101–104.
13. Сметана М. Г., Гринько С. В. До класифікації провалів Криворіжжя. *Проблеми фундаментальної та прикладної екології* : Матер. III Міжнар. наук. конф. – Кривий Ріг : І.В.І., 2001. С. 120–122.
14. Черний Г. І. Зрушення порід лежачого боку в Криворізькому басейні. Київ : Вид-во АН УРСР, Інститут гірничої справи, 1959, 67 с.
15. Moffat K., Zhang A. Mining industry risks, and future critical minerals supply chains: A resilience framework. *Resources Policy*,2024, 80, Article 102498. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102498
16. Kemp D. Tailings facility failures in the global mining industry: Will a 'paradigm shift' improve the safety of tailings storage facilities? *Business Strategy and the Environment*, 2021, *30*(2), 1191–1204. https://doi.org/10.1002/bse.2613
17. Behera A., Rawat, K. S. A brief review paper on mining subsidence and its geo-environmental impact. *Materials Today: Proceedings*, 2023. Article https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.183
18. Żemła-Siesicka A., Szypuła B., Myga-Piątek U., Piechota A. How to assess landscape changes caused by land subsidence due to deep coal mining? Methodology tested in the mining area of Jastrzębie coal company (Southern Poland). *Environmental Impact Assessment Review*. 2025. Article 108025. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108025
19. Козинська І. П. Підземний варіант промислових ландшафтів регіону видобутку уранових руд в Україні. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія*. Вінниця, 2015. Вип. 27, №1-2. С. 58-66.
20. Li, M.-G., Chen, J.-J., Xu, Y.-S., Tong, D.-G., Cao, W.-W., & Shi, Y.-J. Effects of groundwater exploitation and recharge on land subsidence and infrastructure settlement patterns in Shanghai. *Engineering Geology*. 2021. 282. Article 105995. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.105995
21. Паранько І. С. Кривий Ріг – потенційна зона виникнення техногенно -природних і техногенних надзвичайних ситуацій. *Геолого-мінералогічний вісник.* 2005. № 1. С. 5–11.
22. Ahmed Z. The dynamic linkage between natural resources, human capital, and urbanization on ecological footprint in China. *Resources Policy*, 2020, 68, Article 101740. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101740

Отримано: 17.09.2025 / Переглянуто: 10.11.2025 / Прийнято: 21.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

T. S. KOPTIEVA, PhD (Earth Sciences),
Associate Professor of the Department of Socio-Economic Disciplines and Geographye
-mail: koptevatania36@hnpu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9405-16744
H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University,
29, Alchevskykh Str., Kharkiv, 61000, Ukraine

FORMATION OF FAILURE RELIEF IN THE CONDITIONS OF MINING LANDSCAPES OF THE KRYVYI RIH LANDSCAPE-TECHNICAL SYSTEM

Purpose. To establish the patterns of formation and development of the failed relief as a transitional tier of the two-tier structure of mining landscapes of the Kryvyi Rih landscape-technical system and to assess its impact on the modern morphodynamics of the Kryvyi Rih landscape-technical system.

Methods. Field observations, geomorphological analysis, comparative-analytical method, cartographic modelling, GIS analysis.

Results: The relief is one of the key morphological elements of the two-tier structure of the mining landscapes of the Kryvyi Rih landscape-technical system. It was determined that the most intense zones of displacement are recorded within the boundaries of Sukha Balka OJSC, the Kolachevsky and Galkovsky ore management departments, the Oleksandrivsky mine, and the Kozatska mine. Two groups of sinkhole processes have been recorded: regular ones associated with planned mining activities and random ones caused by uncontrolled geodynamic factors. It has also been found that sinkholes form not only above mine workings, but also within the dumps located above them. The largest subsidence forms, in particular the subsidence zone of the Kozatska mine and the Galkovsky corner zone, demonstrate the high intensity of modern deformations of the earth's surface. Geomorphological analysis revealed the structural and morphological features of the two-tier structure of mining landscapes and traced the relationship between surface and underground processes. The comparative-analytical method made it possible to compare the current state of subsidence formations with data from previous observations, revealing a tendency towards an increase in the area of deformation zones. Cartographic modelling enabled the construction of maps showing the spatial distribution of subsidence zones within the main ore mining areas, while GIS analysis enabled the visualisation of spatial connections between surface and underground layers.

Conclusions: The collapsed relief is an integral component of the two-tier structure of the mining landscapes of the Kryvyi Rih landscape-technical system. It is formed as a transitional tier that connects the surface and underground levels, providing a morphogenetic link between them. Collapse processes are regular and random in nature, indicating the complex geodynamic activity of technogenically transformed massifs. The results obtained confirm the need for further monitoring of technogenic processes to prevent the development of dangerous situations and stabilise the landscape structure of the region.

KEYWORDS: *two-tier structure, mining landscape, Kryvyi Rih landscape-technical system, surface tier, underground tier, sinkhole relief, sinkhole, middle tier*

Conflict of interest

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

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Denysyk, H. I., & Koptieva, T. S. (2021). Kryvyi Rih landscape-technical system: development, current state, and ways of optimization. *Physical Geography and Geomorphology,* (105–107), 25–29. https://doi.org/10.17721/phgg.2021.1-3.03
2. Kazakov, V. L. (1999). Geomorphology of sinkhole zones of Kryvbas. *In* Environmental Protection: *Ecological, Educational, and Medical Aspects* (pp. 29–31). Kryvyi Rih. (in Ukrainian)
3. Denysyk, H. I., & Zadorozhnya, H. M. (2013). Derivative processes and phenomena in the landscapes of technogenesis zones: *monograph.* Vinnytsia: Vinnytsia Regional Printing House. (in Ukrainian)
4. Hodge, R. A., Ericsson, M., Löf, O., Löf, A., & Semkowich, P. (2022). The global mining industry: Corporate profile, complexity, and change. *Mineral Economics, 35*(3–4), 1–20. https://doi.org/10.1007/s13563-022-00343-1
5. Denysyk, H. I., Kazakov, V. P., & Yarkov, S. V. (2012). Syngenesis of plant cover in landscapes of technogenesis zones: *monograph.* Vinnytsia: PP "Edelweiss and K". (in Ukrainian)
6. Denysyk, H. I., & Kozynska, I. P. (2015). Industrial landscapes of the uranium ore mining region in Ukraine: *monograph.* Uman: Vizavi,. (in Ukrainian)

7. Zadorozhnya, H. M. (2010). Spatio-temporal analysis of derivative processes and phenomena of mining-industrial landscapes of Kryvbas. *Scientific Notes of Vinnytsia State Pedagogical University. Series: Geography*, (20), 82–90. Retrieved from https://dspace.vspu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/27d4b5b6-e9bb-4a0a-a546-1b0d1d6f81a8/content (in Ukrainian)
8. Kazakov, V. L. (2005). Post-technogenic morphosculptural geomorphogenesis. *In Problems of Ecology and Environmental Education: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference* (pp. 64–67). Kryvyi Rih: Etiud-Service. Retrieved from https://dspace.vspu.edu.ua/items/ec40ca9a-2910-4a01-b585-670ce6a845f3 (in Ukrainian)
9. Koptieva, T. S. (2025). Surface quarry-dump tier of mining-industrial landscapes of the Kryvyi Rih landscape-technical system. *Landscape Science*, 7(1), 95–105. https://doi.org/10.31652/2786-5665-2025-7-95-105 (in Ukrainian)
10. Koptieva, T. S. (2024). The sinkholes of the surface tier of mining landscapes in the Kryvyi Rih landscape-technical system. *In Ideas and Innovations in Earth Sciences: Proceedings of the 10th International Geosciences Conference of Young Researchers*, Kyiv, Ukraine, May 23–24, 2024 (pp. 125–127). Retrieved from https://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/16038
11. Koptieva, T. S. (2024). *On the study of two-tieredness of anthropogenic landscapes. Slobozhanskyi Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*, (2), 107–113. https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.2.14 (in Ukrainian).
12. Smetana, M., & Hrynko, S. (2000). On the classification of landscape-technical systems of Kryvorizhzhia. *In* Problems of Landscape Diversity of Ukraine: *Collection of Scientific Papers* (pp. 101–104). Kyiv. (in Ukrainian)
13. Smetana, M. H., & Hrynko, S. V. (2001). On the classification of sinkholes of Kryvorizhzhia. *In* Problems of Fundamental and Applied Ecology: *Proceedings of the 3rd International Scientific Conference* (pp. 120–122). Kryvyi Rih: I.V.I. (in Ukrainian)
14. Chernyi, H. I. (1959). Displacement of the footwall rocks in the Kryvyi Rih Basin. Kyiv: Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Institute of Mining Affairs, 67 p. (in Ukrainian)
15. Moffat, K., & Zhang, A. (2024). Mining industry risks, and future critical minerals supply chains: A resilience framework. *Resources Policy*, *80*, 102498. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102498
16. Kemp, D. (2021). Tailings facility failures in the global mining industry: Will a 'paradigm shift' improve the safety of tailings storage facilities? *Business Strategy and the Environment*, *30*(2), 1191–1204. https://doi.org/10.1002/bse.2613
17. Behera, A., & Rawat, K. S. (2023). A brief review paper on mining subsidence and its geo-environmental impact. *Materials Today: Proceedings.* https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.183
18. Żemła-Siesicka, A., & Szypuła, B., & Myga-Piątek, U., & Piechota, A. (2025). *How to assess landscape changes caused by land subsidence due to deep coal mining? Methodology tested in the mining area of Jastrzębie coal company (Southern Poland). Environmental Impact Assessment Review*, 108025. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108025
19. Kozynska, I. P. (2015). The underground variant of industrial landscapes in the uranium mining region of Ukraine.*Scientific Notes of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University. Series: Geography*, 27(1–2), 58–66. (in Ukrainian)
20. Li, M.-G., & Chen, J.-J., & Xu, Y.-S., & Tong, D.-G., Cao, W.-W., & Shi, Y.-J. (2021). *Effects of groundwater exploitation and recharge on land subsidence and infrastructure settlement patterns in Shanghai. Engineering Geology*, *282*, 105995. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.105995
21. Paranko, I. S. (2005). Kryvyi Rih – a potential zone of technogenic-natural and technogenic emergencies. *Geologo-Mineralogical Bulletin*, 1, 5–11 (in Ukrainian).
22. Ahmed, Z. (2020). The dynamic linkage between natural resources, human capital, and urbanization on ecological footprint in China. *Resources Policy*, *68*, 101740. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101740

Submission received: 17.09.2025 / Revised: 10.11.2025 / Accepted: 21.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-05
УДК (UDC): 502.3:[629.3.065]:005.334

О. А. КАРАЇМ[1], канд. екон. наук, доц.,
доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища
e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1722-4110

О. А. БАКАРАЄВ,
засновник
e-mail: Vepp@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6876-2840
ТОВ «ВОЛИНЬЕКОПРОМПРОЕКТ»
вул. Гулака-Артемовського, 7, кв.75, м.Луцьк, Волинська обл., 43005, Україна

В. П. КАРАЇМ[1],
аспірант
e-mail: karaim.volodymyr@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4053-8019

З. В. ЛАВРИНЮК[1], канд. хім. наук, доц.,
доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища
e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1906-3330
[1]*Волинський національний університет імені Лесі Українки,*
просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., 43025, Україна

ВИКИДИ АВТОЗАПРАВНОГО КОМПЛЕКСУ: ОЦІНКА РИЗИКУ В АСПЕКТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Мета. Здійснення інвентаризації викидів забруднюючих речовин спричинених функціонуванням автозаправного комплексу та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику в аспекті забезпечення сталого розвитку.

Методи. Експериментальні, аналітичні, також методи математичного моделювання та прогнозування.

Результати. Проведено аналіз викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря автозаправним комплексом, розташованим у Луцькому районі Волинської області. Джерелами утворення забруднюючих речовин на об'єкті є підземні сталеві горизонтальні циліндричні резервуари для зберігання бензину та дизельного палива, двосторонні заправні колонки, сталеві наземні резервуари для скрапленого вуглеводневого газу та газозаправна колонка. Максимально разові та валові викиди в атмосферу визначалися на основі інструментальних вимірювань, аналітичних розрахунків, проєктних даних і технологічних нормативів. За сумарними обсягами викидів об'єкт належить до третьої групи. Вв атмосферне повітря потрапляють: сірководень, вуглеводні насичені, бензол, ксилол, толуол, пропан, бутан. Розраховані приземні концентрації забруднюючих речовин, з урахуванням фонового забруднення, на межі санітарно-захисної зони та житлової забудови не перевищують гігієнічних нормативів. Значення індексу небезпеки для чотирьох контрольних точок відповідають насторожуючому рівню сумарного неканцерогенного ризику. Визначений рівень ризику потребує подальшого моніторингу та впровадження заходів із мінімізації викидів, що є безумовною передумовою забезпечення сталого розвитку.

Висновки. Концентрації викидів забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони не перевищують нормативів. Проте насторожуючий рівень сумарного неканцерогенного ризику потребує подальшого контролю, оцінювання можливих наслідків для здоров'я населення та впровадження ефективних природоохоронних заходів. Сприяння мінімізації викидів є необхідною умовою безпечного функціонування автозаправного комплексу та забезпечення сталого розвитку території.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *оцінка ризику, атмосферне повітря, забруднення, викид, автозаправний комплекс, сталий розвиток*

Як цитувати: Караїм О. А., Бакараєв О. А., Караїм В. П., Лавринюк З. В. Викиди автозаправного комплексу: оцінка ризику в аспекті забезпечення сталого розвитку. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 60-73. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-05

In cites: Karaim, O. A., Bakaraiev, O. A., Karaim, V. P., Lavrynyuk, Z. V. (2025). Gas station emissions: risk assessment in the context of ensuring sustainable development. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (44), 60-73. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-05 (in Ukrainian)

© Караїм О. А., Бакараєв О. А., Караїм В. П., Лавринюк З. В., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Вступ

Сучасний розвиток транспортної інфраструктури супроводжується зростанням кількості автозаправних комплексів, які є потенційними джерелами забруднення атмосферного повітря. Під час зберігання, транспортування та відпуску нафтопродуктів у повітря надходять леткі органічні сполуки, сірководень, вуглеводні та інші токсичні компоненти, що можуть негативно впливати на стан довкілля та здоров'я населення. Проблема ускладнюється тим, що значна частина автозаправних станцій розташована в межах або поблизу житлової забудови, де концентрація шкідливих речовин навіть у межах допустимих рівнів може становити потенційну небезпеку при тривалому впливі.

В умовах переходу до моделі сталого розвитку особливої актуальності набуває необхідність оцінювання ризиків забруднення атмосферного повітря, пов'язаних із функціонуванням автозаправних комплексів, з метою запобігання деградації повітряного середовища та негативного впливу на здоров'я людини. Визначення рівнів забруднення атмосферного повітря та розробка превентивних заходів є важливою складовою забезпечення принципів сталого розвитку.

Проблемам забруднення атмосферного повітря внаслідок роботи автозаправних комплексів присвятили свої роботи низка українських та зарубіжних вчених. Зокрема, дослідження авторів [1] розкривають особливості оцінювання потенційного токсичного ефекту викидів вуглеводнів із резервуарів автозаправних станцій для міського населення, що є важливим з огляду на формування локальних осередків забруднення в межах урбанізованих територій. У праці [2] акцентовано увагу на тенденціях розвитку систем контролю викидів та удосконаленні технічного забезпечення автозаправних комплексів з метою підвищення екологічної безпеки їх функціонування. Дослідження [3] спрямоване на аналіз екологічних впливів та ризиків, що виникають у процесі експлуатації автозаправних станцій, з урахуванням рівня концентрацій шкідливих речовин у повітрі та стану навколишнього середовища. У роботі [4] розглянуто методичні підходи до оцінки впливу автозаправних станцій на атмосферне повітря та визначено основні шляхи мінімізації шкідливих викидів. Автори [5] дослідили особливості екологічного менеджменту підприємств, зокрема можливості його застосування для підвищення ефективності системи контролю забруднень на промислових підприємствах. Дослідження [6] присвячене оцінці екологічного стану територій автозаправних станцій, розташованих поблизу автомагістралей, де спостерігається підвищене антропогенне навантаження. У праці [7] проаналізовано наслідки експлуатації автозаправних станцій для навколишнього природного середовища, зокрема визначено рівні викидів летких органічних сполук і шляхи їх розповсюдження.

Іноземні дослідження також роблять вагомий внесок у вивчення даної проблематики. Так, автори [8] довели, що реальні обсяги токсичних викидів з автозаправних станцій значно перевищують раніше прийняті нормативні показники, що підкреслює необхідність удосконалення методів контролю за емісіями. У праці [9] висвітлено недоліки для автозаправних станцій з регіонально різними коефіцієнтами викидів та прийнятними ризиками для здоров'я. Оцінку екологічного ризику автозаправних станцій з використанням принципів управління безпекою здійснено в [10]. У науковій роботі [11] представлено результати проведеного порівняльного аналізу екологічних стандартів на автозаправних станціях європейських країн, звертаючи увагу на системний підхід до забезпечення екологічної безпеки. Вченими [12] встановлено, що ґрунт поблизу транспортних об'єктів, зокрема автозаправних станцій, може виступати довготривалим резервуаром для накопичення токсичних речовин з атмосферного повітря з подальшим їх надходження у підземні води, що створює додаткові ризики для довкілля. Авторами [13] здійснено оцінку сумарного неканцерогенного ризику та впливу на здоров'я поблизу автозаправних станцій у міських населених пунктах. У праці [14] проаналізовано склад викидів, що утворюються на автосервісах і заправних комплексах, та окреслено перспективи впровадження біотехнологічних методів їх очищення. Дослідження [15] присвячено оцінці забруднення ґрунтових вод нафтовими вуглеводнями у межах житлових територій, спричиненого експлуатацією автозаправних станцій. Автори наголошують на

небезпеці витоків паливно-мастильних матеріалів для стану підземних вод. Окремий напрям досліджень стосується оцінювання ризиків та наслідків потрапляння небезпечних речовин у довкілля під час експлуатації паливної інфраструктури. Так, у роботі [16] проаналізовано потенційні екологічні наслідки аварійних ситуацій на автозаправних станціях і підкреслено важливість впровадження систем екологічного моніторингу та управління ризиками.

Значна кількість наукових публікацій [17–25] присвячена дослідженню викидів летких органічних сполук, що виділяються під час роботи автозаправних станцій та їх впливу на здоров'я працівників та жителів прилеглих територій. Зокрема, автори [20] розробили модель оцінювання довгострокових ризиків виникнення онкологічних захворювань, спричинених впливом бензолу, що викидається з кластерів автозаправних станцій. У статті [21] подано результати вимірювань концентрацій бензолу та інших летких органічних сполук у повітрі на заправках міста Делі та проведено оцінку інгаляційного ризику для працівників.

Проведений аналіз наукових джерел свідчить про зростання інтересу до проблеми екологічної безпеки автозаправних комплексів. Водночас залишається актуальною потреба інвентаризації викидів забруднюючих речовин та оцінювання ризиків забруднення атмосферного повітря з урахуванням локальних особливостей функціонування АЗК в аспекті забезпечення сталого розвитку території.

Метою роботи є здійснення інвентаризації викидів забруднюючих речовин спричинених функціонуванням автозаправного комплексу та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику в аспекті забезпечення сталого розвитку.

Об'єкти та методи дослідження

Джерелами утворення забруднюючих речовин на досліджуваному автозаправному комплексі є три підземних сталевих горизонтальних циліндричних резервуари для зберігання бензину ємністю 25 м^3 (джерело 1) і два по 50 м^3 (джерела 2, 3), підземний сталевий горизонтальний циліндричний резе-рвуар для зберігання дизпалива ємністю 50 м^3 (джерело 4), чотири двосторонніх заправних колонки (на кожній по вісім пістолетів) (джерела 5–12), два стальних наземних резервуари зберігання скрапленого вуглевод-невого газу об'ємом по 4,8 м^3 (джерело 13) та газозаправна колонка (джерело 14).

Максимально разові (г/с) і валові викиди (т/рік) в атмосферне повітря джерел викиду визначені на підставі аналізу результатів інструментальних замірів, аналітичних розрахунків, проєктних даних та технологічних нормативів.

Величини викидів сірководню, бутану, бензолу, ксилолу, толуолу, вуглеводнів насичених C_{12}-C_{19}, пропану необхідних для оцінки впливу на атмосферне повітря автоза-правного комплексу визначаються розрахун-ково відповідно до [26–28].

Максимально-разовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при випаровуванні бензину з ємності, розраховується за формулою (1):

$$q_m = П_р/3,6 \quad (1)$$

$$П_р = 2,52 \cdot Vж^р \, P_{s(38)} \, M_n \, (K_{5X} + K_{5T}) \, K_6 \, K_7 \, (1 - п) \, 10^{-9}, \text{ кг/год} \quad (2)$$

Де: $Vж^р$ – річний об'єм палива в резервуарі, м^3;

$P_{s(38)}$ – тиск насичених парів рідини при максимальній температурі зберігання $Т_{макс.}$ = 38°С, гПА;

M_n – молекулярна маса парів рідини, г/моль;

K_{5X} – коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів Р і температури газового середовища за 6 найхолодніших місяців року ТРХ, °С;

K_{5T} – коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів Р і температури газового середовища за 6 найбільш теплих місяців року ТРТ, °С;

K_6 – поправочний коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів Р і річної оборотності резервуарів;

K_7 – коефіцієнт, що враховує оснащення резервуарів;

п – коефіцієнт газоефективності газовловлюючого обладнання резервуара, долі одиниць.

Валовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при випаровуванні палива з ємності розраховується за формулою (3):

$$M^{ВАЛ} = П_р \, Т/1000 \quad (3)$$

Максимально-разовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при заправці автотранспорту з колонки розраховується за формулою (4):

$$q_m = М \, 1000/3600 \quad (4)$$

$$M = Q\ K\ g, \text{ кг/год} \quad (5)$$

де: K – коефіцієнт, що залежить від концентрації парів палива;

g – густина палива, кг/м^3;

Q – потужність паливороздавальної колонки.

Валовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря при заправці автотранспорту, розраховується за формулою (6):

$$M^{ВАЛ} = M\ T\ 10^{-3} \quad (6)$$

де, T – фонд робочого часу заправки автотранспорту з колонки для бензину.

Що стосується визначення викидів забруднюючих речовин із наземних резервуарів зберігання скрапленого вуглеводневого газу (СВГ), то на першому етапі розраховуються втрати газу під час зливу з автомобільних цистерн. Розрахунок викидів здійснюється за формулою (7):

$$B = B^р + B^n + B^{nn}, \text{ кг} \quad (7)$$

де, $B^р$ – втрати СВГ у рідкій фазі під час зливу з цистерн, кг;

B^n – втрати СВГ у паровій фазі під час зливу з цистерн, кг;

B^{nn} – втрати СВГ у вигляді повернення парової фази, що заповнює об'єм цистерни під час зливу СВГ, кг (викиди в атмосферне повітря не відбуваються за рахунок повернення парової фази в автоцистерну при застосуванні газової обв'язки).

$$B^р = P_р\ V_{рр} \quad (8)$$

де, $V_{рр}$ – об'єм рукава рідкої фази;

$P_р$ – густина рідкої фази СВГ, кг/ м^3.

$$P_р = 100/(P_{пропан}/ρ_{пропан} + P_{бутан}/ρ_{бутан}) \quad (9)$$

$$V_{рр} = 0{,}785\ 10^{-6}\ d^2_{рр}\ I_{рр} \quad (10)$$

де, $d_{рр}$ – внутрішній діаметр зливно-наливного рукава, мм;

$I_{рр}$ – довжина зливно-наливного рукава, м.

$$B^n = P_n\ V_{рп} \quad (11)$$

де, $V_{рп}$ – об'єм рукава парової фази;

$P_п$ – густина парової фази СВГ, кг/ м^3.

$$P_n = 100/(P_{пропан}/r_{пропан} + P_{бутан}/r_{бутан}) \quad (12)$$

$$V_{рп} = 0{,}785\ 10^{-6}\ d^2_{рп}\ I_{рп} \quad (13)$$

де, $d_{рп}$ – внутрішній діаметр рукава парової фази, мм;

$I_{рп}$ – довжина рукава парової фази, м.

Втрати СВГ під час наповнення балонів газобалонних автомобілів розраховуються за формулою (14):

$$B_{гб} = 13\ 10^{-6}\ P_р, \text{ кг} \quad (14)$$

Валовий викид розраховується за формулою (15):

$$M^{ВАЛ} = (B_{гб}\ n)/1000, \text{ т/рік} \quad (15)$$

де, n – кількість заправок газобалонних автомобілів.

$$n = V\ 1000/P \quad (16)$$

де, V – витрата скрапленого вуглеводневого газу, м^3/рік;

P – потужність газозаправної колонки, л/хв.

Максимально-разовий викид визначаємо за формулою (17):

$$q_m = B_{гб}\ 1000/T, \text{ г/с} \quad (17)$$

Розрахунок концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі виконано програмним комплексом ЕОЛ+. Пошук несприятливих швидкостей вітру здійснено програмою автоматично виходячи із заданих швидкостей. Розмір розрахункового майданчика прийнято 500×500 м, інтервал розрахункової сітки 25×25 м. Оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан забруднення атмосферного повітря визначається за показниками результатів розрахунків розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та даними, що одержані при проведенні інструментальних методів досліджень. Проводиться розрахунок розсіювання на межі нормативної санітарно-захисної зони (СЗЗ) (50 м) та біля найближчої житлової забудови на усі забруднюючі речовини.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого інгаляційного впливу хімічних речовин проведено на основі розрахунку індексу небезпеки HI відповідно до [29]:

$$HI = \sum_{i=1}^{n} HQ_i \quad (18)$$

де, n – кількість досліджених речовин;

HQ_i – коефіцієнт небезпеки, відношення концентрації речовини до нормативу,

$$HQ_i = C_i\ /\ ГДК_i \quad (19)$$

Якщо отримане значення коефіцієнта небезпеки для речовини не перевищує 1, імовірність формування у працівника несприятливих критичних наслідків за умов її щоденного надходження є низькою, а вплив вважається прийнятним. Натомість перевищення цього показника понад одиницю свідчить про поступове зростання ризику появи шкідливих ефектів у людини, яке підвищується відповідно до збільшення величини HQ_i.

Індекс небезпеки, визначено для чотирьох контрольних точок.

Оцінювання сумарного неканцерогенного ризику викидів автозаправного комплексу здійснено на основі розрахованих коефіцієнтів та індексу небезпеки. Класифікацію рівнів неканцерогенного ризику представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація рівнів неканцерогенного ризику[29]

Table 1

Classification of non-carcinogenic risk levels [29]

Коефіцієнт небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів HQ_i для окремих сполук/ Hazard ratio for the development of non-carcinogenic effects HQi for individual compounds	**Індекс небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів (HI) для групи сполук односпрямованої дії/ Hazard index for the development of non-carcinogenic effects (NI) for a group of compounds of unidirectional action**	**Рівень ризику/ Risk level**
>2	>6	Високий/High
1,1 – 3	3,1 – 6	Насторожуючий/ Alert
0,11 – 1,0	1,1 – 3,0	Допустимий/ Acceptable
0,1 і менше/ and less	1,0 і менше/ and less	Мінімальний (цільовий)/ Minimal (target)

Результати та обговорення

Автозаправний комплекс розташований у Луцькому районі, Волинської області. Географічні координати центроїда промислового майданчика: 50º43’12” Пн. ш., 25º20’20” Сх. д. Підприємство знаходиться поруч із різними типами територій, зокрема, зі сходу прилягають землі загального користування та житлова забудова на відстані 167 м, з півдня – землі загального користування, із заходу – зелені насадження та житлова забудова, що знаходиться за 58 м, а з півночі межує із землями загального користування та іншим підприємством. Основним видом діяльності є роздрібна торгівля пальним.

Представимо результати розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферу із джерела 1 – підземного резервуару для зберігання бензину А-92 об’ємом 25 м^3, джерела 2 –підземного резервуару для зберігання бензину А-92 євро об’ємом 50 м^3, джерела 3 – підземного резервуару для зберігання бензину А-95 євро об’ємом 50 м^3. Викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря відбувається під час безпосереднього зберігання бензину в ємності.

Визначені максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря при випаровуванні бензину, представлено в табл. 2. Показники викидів забруднюючих речовин в атмосферу з джерела 4 – підземного резервуару для зберігання дизельного палива ємністю 50 м^3 представлено у табл. 3.

Результати розрахунків викидів забруднюючих речовин в атмосферу із джерел 5, 7, 9, 11 – бензинових паливо-роздавальних колонок, подано у табл. 4. Загалом для цих джерел максимально-разовий викид подвоюється, оскільки в двосторонніх колонках можуть працювати одночасно два пістолети.

Таблиця 2

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря з джерел 1–3

Table 2

Maximum one-time and total emissions of pollutants into the atmospheric air from sources 1–3

№	**Забруднюючі речовини/ Pollutants**	**Джерело 1/Source 1**		**Джерела 2, 3/Sources 2.3**	
		q_m, г/с	**$M^{ВАЛ}$, т/рік**	**q_m, г/с**	**$M^{ВАЛ}$, т/рік**
1	Бензол/Benzene	$1{,}98\times10^{-05}$	0,000624	$2{,}06\times10^{-05}$	0,000651
2	Ксилол /Xylene	$1{,}17\times10^{-05}$	0,000369	$1{,}22\times10^{-05}$	0,000385
3	Толуол/Toluene	$1{,}89\times10^{-05}$	0,000596	$1{,}97\times10^{-05}$	0,000622
4	Вуглеводні насичені /Saturated Hydrocarbons C_{12}–C_{19}	0,00445	0,140	0,00464	0,146

Таблиця 3

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря з джерела 4

Table 3

Maximum one-time and total emissions of pollutants into the atmospheric air from source 4

№	Забруднюючі речовини/ Pollutants	q_m, г/с	$M^{ВАЛ}$, т/рік
1	Сірководень/ Hydrogen sulfide	$1{,}41\times10^{-07}$	$4{,}44\times10^{-06}$
2	Бензол/Benzene	$7{,}55\times10^{-08}$	$2{,}38\times10^{-06}$
3	Вуглеводні насичені C_{12}–C_{19}/ Saturated hydrocarbons C_{12}–C_{19}	$5{,}01\times10^{-05}$	0,00158

Таблиця 4

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря з джерел 5, 7, 9, 11

Table 4

Maximum one-time and total emissions of pollutants into the atmospheric air from sources 5, 7, 9, 11

№	Забруднюючі речовини/ Pollutants	Джерело 5 (одна сторона) / Source 5 (one side)		Джерела 7, 9, 11/ Sources 7, 9, 11	
		q_m, г/с	$M^{ВАЛ}$, т/рік	q_m, г/с	$M^{ВАЛ}$, т/рік
1	Бензол/Benzene	$4{,}23\cdot10^{-05}$	$1{,}71\cdot10^{-05}$	$8{,}5\cdot10^{-05}$	$1{,}71\cdot10^{-05}$
2	Ксилол/Xylene	$7{,}05\cdot10^{-05}$	$2{,}85\cdot10^{-05}$	$1{,}4\cdot10^{-04}$	$2{,}85\cdot10^{-05}$
3	Толуол/Toluene	$9{,}87\cdot10^{-05}$	$3{,}99\cdot10^{-05}$	$2{,}0\cdot10^{-04}$	$3{,}99\cdot10^{-05}$
4	Вуглеводні насичені C_{12}–C_{19} /Saturated hydrocarbons C_{12}–C_{19}	0,0280	0,0113	0,0560	0,0113

Показники викидів забруднюючих речовин в атмосферу із джерел 6, 8, 10, 12 – дизельні паливо-роздавальні колонки, подано у табл. 5. Для вказаних колонок також у результаті одночасної роботи двох пістолетів максимально-разовий викид збільшується у два рази.

Надамо розрахунок викидів забруднюючих речовин із наземних резервуарів зберігання СВГ. Показники втрати газу під час зливу з автомобільних цистерн будуть наступними. Злив ЗВГ проводиться 123 рази на рік для одного резервуара, звільнення рукавів продовжується 30 хвилин.

Відповідно максимально-разовий та валовий викиди становитимуть: q_m = 1,922 г/с; $M^{ВАЛ}$ = 0,426 т/рік.

Таблиця 5

Максимально-разові та валові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря з джерел 6, 8, 10, 12

Table 5

Maximum one-time and total emissions of pollutants into the atmospheric air from sources 6, 8, 10, 12

№	Забруднюючі речовини / Pollutants	Джерело 6 (одна сторона) / Source 6 (one side)		Джерела / Sources 8, 10, 12	
		q_m, г/с	$M^{ВАЛ}$, т/рік	q_m, г/с	$M^{ВАЛ}$, т/рік
1	Сірководень/ Hydrogen sulfide	$6{,}16\cdot10^{-05}$	$2{,}52\cdot10^{-05}$	$1{,}2\cdot10^{-04}$	$2{,}52\cdot10^{-05}$
2	Бензол/Benzene	$3{,}30\cdot10^{-05}$	$1{,}35\cdot10^{-05}$	$6{,}6\cdot10^{-05}$	$1{,}35\cdot10^{-05}$
3	Вуглеводні насичені C_{12}–C_{19} / Saturated Hydrocarbons C_{12}–C_{19}	0,0219	0,00896	0,0438	0,00896

Викиди забруднюючих речовин визначались згідно процентного складу бутану і пропану в газі (з наближенням): пропану – 60 %, бутану – 40 %. Таким чином викиди мають наступні значення:

пропану: q_m = 1,153 г/с; $M^{ВАЛ}$ = 0,256 т/рік;

бутану: q_m = 0,769 г/с; $M^{ВАЛ}$ = 0,170 т/рік.

Згідно розрахунків максимально-разова та валова втрати газу під час зберігання (природні втрати) становлять:

пропану: q_m = 0,00586 г/с; $M^{ВАЛ}$ = 0,185 т/рік;

бутану: q_m = 0,00390 г/с; $M^{ВАЛ}$ = 0,123 т/рік.

Відповідно, загальні викиди від джерела 13:

пропану: q_m = 1,159 г/с; $M^{ВАЛ}$ = 0,441 т/рік;

бутану: q_m = 0,773 г/с; $M^{ВАЛ}$ = 0,293 т/рік.

При одоризації газу, для того щоб надати йому сильного специфічного запаху, головним чином попереджувального, або за яким визначають місця витікання, до скрапленого газу добавляють одорант. Процент одоризації становить 0,0017 % від суми викидів пропану та бутану.

Тому викид одоранту СПМ (суміш природних меркаптанів) становитиме:

$$q_m = 3{,}3 \cdot 10^{-05}\ г/с;$$

$$M^{ВАЛ} = 1{,}2 \cdot 10^{-05}\ т/рік.$$

Максимально-разовий та валовий викиди під час наповнення балонів газобалонних автомобілів становлять:

пропану: q_m = 0,069 г/с; $M^{ВАЛ}$ = 0,0827 т/рік;

бутану: q_m = 0,046 г/с; $M^{ВАЛ}$ = 0,0551 т/рік.

Викид одоранту становитиме:

$q_m = 2{,}0 \cdot 10^{-06}$ г/с; $M^{ВАЛ} = 2{,}3 \cdot 10^{-06}$ т/рік.

Загалом, у результаті роботи автозаправного комплексу в атмосферне повітря потрапляють:

0,00010524 т/рік сірководню,

0,51462 т/рік вуглеводнів насичених C_{12}-C_{19},

0,00205078 т/рік бензолу,

0,001253 т/рік ксилолу,

0,0019996 т/рік толуолу,

0,5237 т/рік пропану,

0,3481 т/рік бутану.

На основі обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря визначено, що об'єкт відноситься до 3 групи – об'єкти, які не належать до підприємств із суттєвим рівнем впливу на атмосферу та не беруться на державний облік.

Точки визначення приземних концентрацій на межі санітарно-захисної зони автозаправного комплексу відраховувалися безпосередньо від джерел забруднення атмосфери. Необхідно зазначити, що загалом розмір СЗЗ згідно [30] витриманий, де відсутні житлові забудови, дитячі дошкільні заклади, школи, лікувально-профілактичні установи, спортивні споруди, охоронні зони джерел водопостачання. Максимальні приземні концентрації забруднюючих речовин наведені в табл. 6.

Схему моделювання розрахунку приземної концентрації вуглеводнів насичених C_{12}–C_{19} в приземному шарі атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони представлено на рис. 1. Картограма розсіювання представлена у прямокутній системі координат, що дозволяє оцінити максимальні концентрації у різних напрямках. Горизонтальна вісь (X) і вертикальна вісь (Y) – це координатні осі, що задають напрямки розсіювання у просторі. У центрі (0;0) – точка розташування джерела. Інтервал розрахункової сітки 25×25 м.

Таким чином, концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, з врахуванням існуючого фонового забруднення, на межі нормативної санітарно-захисної зони та на межі житлової забудови не перевищують гігієнічних нормативів (рис.1).. Якість атмосферного повітря санітарно-захисної зони відповідає граничнодопустимому вмісту забруднюючих речовин.

Однак, необхідно зазначити, що домінуючими за складом компонентами викидів є вуглеводні насичені C_{12}–C_{19}, концентрації яких сягають 0,67–0,72 часток ГДК з урахуванням фонових значень. Ці речовини формують основну масу парів пального, що надходять у повітря. Особливу увагу привертає 0,48–0,50 часток ГДК сірководню, який належить до 2 класу небезпеки, а також ароматичні вуглеводні – бензол (2 клас) та ксилол і толуол (3 клас), концентрації яких із урахуванням фону досягають 0,4 часток ГДК. Хоча ці значення не перевищують нормативів, наявність навіть відносно малих концентрацій сполук II–III класу небезпеки є потенційно небезпечною для довготривалого впливу на населення і персонал [14; 17–25].

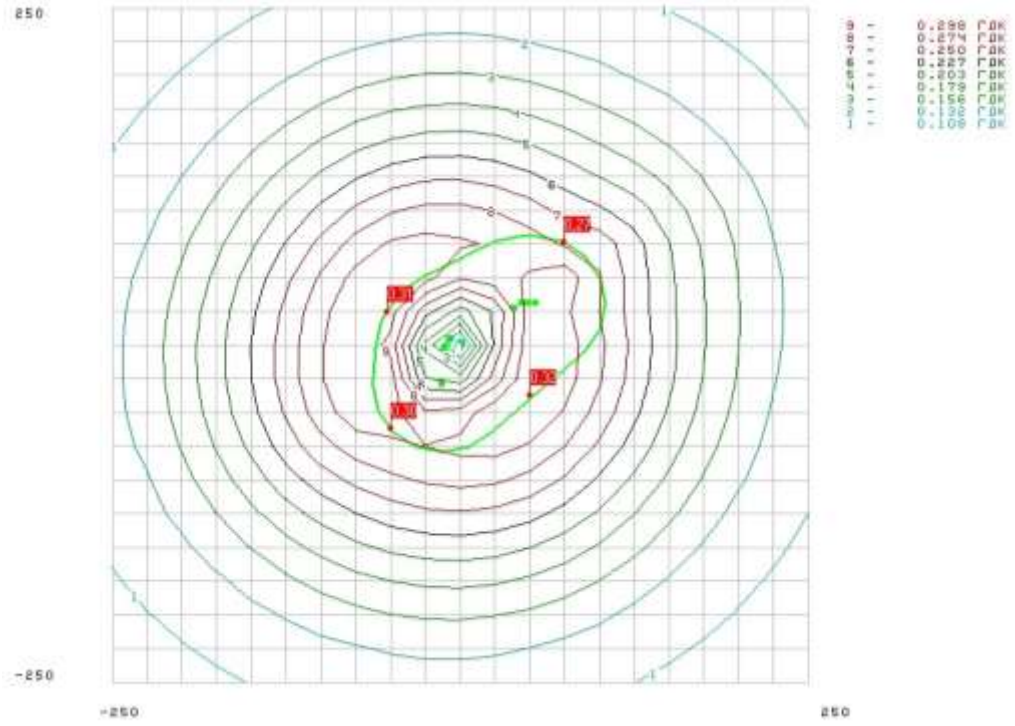
Таблиця 6

Максимальні приземні концентрації забруднюючих речовин без урахування фону / з урахуванням фону

Table 6

Maximum ground-level concentrations of pollutants without background / with background

Речовини/ Pollutants	Точки			
	Точка № 1 / Point 1 (Пн/N – 50м/m)	Точка № 2/ Point 2 (Сд/ E – 50м/m)	Точка № 3/ Point 3 (Пд/ S – 50м/m)	Точка № 4/ Point 4 (Зх/ W –58м/m)
	X=75, Y=75	X=50, Y= -39	X= -50, Y= -63	X= -52, Y= 23
	Долей ГДК, без урахування фону / з урахуванням фону MPC fraction, excluding background / including background			
Сірководень/ Hydrogen sulfide	0,08/0,48	0,10/0,50	0,09/0,49	0,10/0,50
Бутан/ Butane	0,01/0,41	0,02/0,42	0,02/0,42	0,02/0,42
Вуглеводні насичені C_{12}–C_{19} /Saturated Hydrocarbons C_{12}–C_{19}	0,27/0,67	0,32/0,72	0,30/0,70	0,31/0,71
Пропан/Propane	0,05/0,45	0,07/0,47	0,07/0,47	0,07/0,47
Бензол/Benzene	0,001/0,40	0,001/0,40	0,001/0,40	0,001/0,40
Ксилол/Xylene	0,004/0,40	0,004/0,40	0,004/0,40	0,004/0,40
Толуол/Toluene	0,002/0,40	0,002/0,40	0,002 /0,40	0,002/0,40



Значення від –250 м до +250 м на обох осях означають відстань від джерела викидів і 4 точки дослідження виділені позначками.

Рис. 1 – Концентрація вуглеводнів насичених C_{12}–C_{19} в приземному шарі атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони

Values from –250 m to +250 m on both axes indicate the distance from the emission source and 4 survey points are marked.

Fig. 1 – Concentration of saturated hydrocarbons C_{12}–C_{19} in the ground-level atmospheric air at the boundary of the sanitary protection zone m

Таблиця 7

Розрахунок сумарного неканцерогенного ризику

Table 7

Calculation of the total non-carcinogenic risk

Точка/Point	Індекс небезпеки, HI Hazard Index, HI	Рівень сумарного неканцерогенного ризику/ Total Non-Carcinogenic Risk Level
№ 1	3,21	Насторожуючий/Alert Level
№ 2	3,31	Насторожуючий/Alert Level
№ 3	3,28	Насторожуючий/Alert Level
№ 4	3,30	Насторожуючий/Alert Level

На основі результатів розрахунків приземних концентрацій забруднюючих речовин для чотирьох контрольних точок (рис.1) визначено індекс небезпеки. Для обчислення індексу небезпеки для кожної точки та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику використано значення «з урахуванням фону» (табл. 7).

Таким чином, для всіх точок спостереження індекс небепеки (HI) має значення 3,21–3,31, що відповідає насторожуючому рівню сумарного неканцерогенного ризику.

Оскільки результати оцінювання сумарного неканцерогенного ризику вказують на насторожуючий рівень, це потребує подальших досліджень, оскільки при постійному контакті зі шкідливими речовин, навіть якщо вони не перевищують нормативів, можливе погіршення стану здоров'я, що підтверджують розвідки [14; 17–25].

Оцінювання сумарного неканцерогенного ризику є важливою складовою забезпечення сталого розвитку. Воно сприяє прийняттю управлінських рішень, спрямованих на зниження негативного впливу та планування ефективних природоохоронних заходів.

Зменшення сумарного неканцерогенного ризику означатиме покращення якості життя населення та збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь. Інтеграція результатів ризик-аналізу у систему екологічного менеджменту підприємства забезпечить баланс між економічним зростанням та охороною довкілля. Визначення зон підвищеного ризику сприятиме реалізації концепції «зеленого» розвитку.

Здійснення інвентаризації викидів забруднюючих речовин та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику, спричиненого їх впливом, є важливим аналітичним інструментом, який безпосередньо корелює з ключовими цілями сталого розвитку (ЦСР). Тут слід відмітити ЦСР 3 «Міцне здоров'я і благополуччя», оскільки отримані результати дозволяють ідентифікувати речовини, що становлять найбільшу небезпеку для населення.

Визначення перевищення індексів небезпеки для окремих речовин або їх сукупної дії забезпечує підґрунтя для запровадження превентивних заходів, спрямованих на зниження захворюваності, пов'язаної з впливом забрудненого атмосферного повітря.

Водночас отримані результати підтримують реалізацію ЦСР 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», оскільки вони стимулюють модернізацію технологічних процесів та впровадження екологічно орієнтованих інновацій. Виявлені проблеми вказують на необхідність удосконалення технологічних режимів роботи обладнання, підвищення енергоефективності та зниження рівнів викидів, що відповідає принципам розвитку «чистішого» виробництва.

Оцінка ризику також тісно пов'язана з ЦСР 11 «Сталий розвиток міст і громад», адже результати моделювання розсіювання забруднювачів дозволяють визначити території з найбільшим екологічним навантаженням, оцінити якість повітря в межах санітарно-захисної зони та сформувати рекомендації щодо її оптимізації. Це сприяє підвищенню екологічної стійкості урбанізованих територій і створенню безпечного середовища проживання.

Не менш суттєвим є зв'язок із ЦСР 13 «Боротьба зі зміною клімату», адже зниження концентрацій шкідливих речовин і впровадження заходів зі зменшення викидів сприяє обмеженню антропогенного впливу на кліматичну систему.

Отже, інтеграція результатів інвентаризації викидів автозаправного комплексу та оцінювання сумарного неканцерогенного ризику у систему екологічного управління не лише забезпечує повне розуміння рівня загроз для здоров'я населення, але й сприяє досягненню ключових цілей сталого розвитку.

Такий підхід формує науково обґрунтоване підґрунтя для розроблення природоохоронних стратегій, модернізації виробничої інфраструктури та створення екологічно безпечних умов для життя і праці, що в комплексі сприяє зміцненню стійкості та конкурентоспроможності регіону.

На основі результатів дослідження менеджменту автозаправного комплексу необхідно сприяти забезпеченню мінімізації викидів. З цією метою основними напрямами повинні стати:

– удосконалення технологічних процесів для зменшення обсягів викидів летких органічних сполук та продуктів згоряння палива;

– регулярне технічне обслуговування резервуарів, паливороздавальних колонок і вентиляційних систем для запобігання витокам парів пального;

– впровадження систем рекуперації парів бензину під час заправки транспортних засобів;

– озеленення території для часткового поглинання забруднюючих речовин і покращення мікроклімату;

– проведення постійного моніторингу якості повітря та періодичного екологічного аудиту діяльності комплексу;

– підвищення екологічної обізнаності працівників шляхом навчань і тренінгів з питань охорони навколишнього середовища.

Реалізація цих заходів сприятиме зниженню рівня викидів, покращенню якості повітря на території автозаправного комплексу, створенню безпечних умов праці для персоналу та забезпеченню сталого розвитку території.

Висновки

Здійснено оцінку викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря автозаправним комплексом, розташованим у Луцькому районі Волинської області. Джерелами утворення забруднюючих речовин на підприємстві є три підземні резервуари для зберігання бензину, один резервуар для дизельного палива, два наземні резервуари для скрапленого газу і чотири двосторонні заправні колонки. Максимальні разові та валові викиди визначалися за результатами інструментальних вимірювань та розрахунків. За сумарними обсягами викидів об’єкт належить до третьої групи. Основні забруднювачі атмосфери: сірководень, насичені вуглеводні, бензол, ксилол, толуол, пропан, бутан. Розрахункові значення часток гранично допустимих концентрацій для основних речовин знаходяться у межах 0,40–0,72 з урахуванням фонового забруднення. Індекс небезпеки для чотирьох контрольних точок, перебуває в діапазоні 3,21–3,31, що відповідає насторожуючому рівню сумарного неканцерогенного ризику.

Отримані результати створюють основу для подальшої інвентаризації викидів та проведення інформаційного моделювання, включно з просторово-часовим аналізом розсіювання забруднювальних речовин, визначенням зон максимального впливу та оцінюванням ризиків для здоров’я населення. Виявлені екологічні загрози засвідчують необхідність розробки спеціалізованих природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення обсягів викидів і оптимізацію технологічних параметрів роботи обладнання. Таким чином, результати дослідження окреслюють пріоритетні шляхи підвищення екологічної безпеки автозаправного комплексу та формують підґрунтя для подальших управлінських рішень у сфері сталого розвитку.

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Антропченко А. К., Рабомська М. М., Черняк М. М., Бойченко, С. В. Оцінювання потенційного токсичного ефекту викидів вуглеводнів із резервуара типової АЗС для міського населення. *Нафтогазова галузь України*. 2016. № 2. С. 40–43.

2. Бусигіна Г. А., Івасенко В. М. Тенденція контролю викидів і якості роботи АЗС. Погляд у майбутнє приладобудування : матеріали XII Всеукр. наук.-практ. конф. (15–16 травня 2019 р.). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 252–254. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28117
3. Желновач Г. М., Прокопенко Н. В., Желновач А. Н. Аналіз екологічних впливів та ризиків при експлуатації автозаправних станцій. *Вісник ХНАДУ*. 2014. № 67. С. 78–88. URL: https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/caa5a8e9-02a7-410f-80f3-91089d90911b/content
4. Івасенко В. М., Винниченко Т. О. Оцінка впливу автозаправних станцій на навколишнє середовище. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2017. № 16. С. 123–131. URL: http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/102469
5. Караїм О. А., Милько І. П., Караїм В. П. Формування системи екологічного менеджменту підприємств в аспекті відновлення сталого розвитку регіонів. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Економічна».* 2022. № 2 (26). С. 29–38. http://doi.org/10.31474/1680-0044-2022-2(26)-29-38
6. Рабош І. О., Кофанова О. В., Підгорний А. В. Оцінка екологічного стану територій автозаправних станцій, розташованих поблизу автомагістралей. *Вісник Національного технічного університету Харківський політехнічний інститут. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* 2018. № 9. С. 236–242. http://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.09.34
7. Чугай А. В. Оцінка впливу експлуатації автозаправних станцій на навколишнє природне середовище. *Вісник ХНАДУ.* 2015. Вип. 71. С. 97–101. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/3ea83d13-c315-4d63-b431-b431f9114a84
8. Hilpert M., Rule A. M., Adria-Mora B. Gas stations vent far more toxic fumes than previously thought. *Science of the Total Environment*. 2018. P. 35–43. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.303
9. Hilpert M Setbacks for gas stations in a world with regionally varying emissions factors and acceptable health risks. *Front. Environ. Health.* 2023. Article 2:1214376. https://doi.org/10.3389/fenvh.2023.1214376
10. Mäkká K., Kampová K., Loveček T., Petrlová K. An Environmental Risk Assessment of Filling Stations Using the Principles of Security Management. A Case Study in the Slovak Republic. *Sustainability.* 2021. Vol. 13(22). Article 12452. https://doi.org/10.3390/su132212452
11. Nieminen P. M. Environmental Protection Standards at Petrol Stations: A comparative study between Finland and selected European countries. *Tampere: University of Technology*. 2015. 164 p. URL: http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-200810021073
12. Robinson H. K, Hasenmueller E. A., Chambers L. G. Soil as a reservoir for road salt retention leading to its gradual release to groundwater. *Applied Geochemistry*. 2017. Vol. 83. SI. P. 72–85. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.01.018
13. Zafar M., Zaidi S. T. H., Husain S. S., Bukhari, N. M. Risk assessment of ambient air pollutants and health impact around fuel stations in urban cities of KSA. *International Journal of Preventive Medicine*. 2021. Vol. 12(1). Article 91. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_331_19
14. Singh P., Berawala N., Patil Y. Automobile service station waste assessment and promising biological treatment alternatives: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022. Vol. 194.(10). Article 753. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10387-z
15. Fei-Baffoe B., Badu E., Miezah K., Adjiri Sackey L. N., Sulemana A., Yahans Amuah E. E. Contamination of groundwater by petroleum hydrocarbons: Impact of fuel stations in residential areas. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. Article e25924. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25924
16. Mäkká K., Šiser A., Mariš L., Kampová K. Impact of filling stations: Assessing the risks and consequences of the release of hazardous substances. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(1), Article 22. https://doi.org/10.3390/app14010022
17. Heidari E. A., Sarkhosh M., Alidadi H., Najafpoor A. A., Esmaily H., Shamsara, E. Assessing VOC emissions from different gas stations: Impacts, variations, and modeling fluctuations of air pollutants. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article 16617. https://doi.org/10.1038/s41598-024-67542-4
18. Periago J. F., Prado C. Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. *Annals of Occupational Hygiene*. 2015. Vol. 49. P. 233–240. https://doi.org/10.1093/annhyg/meh083
19. Yu T.-K., Chang I.-C. Predicting potential soil and groundwater contamination risks from gas stations using three machine learning models (XGBoost, LightGBM, and Random Forest). *Process Safety and Environmental Protection*. 2025. Vol. 199. Article 107249. https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107249
20. Hsieh P. Y., Shearston J. A., Hilpert M. Benzene emissions from gas station clusters: a new framework for estimating lifetime cancer risk. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2021. Vol. 19. P. 273–283. https://doi.org/10.1007/s40201-020-00601-w
21. Kumari P., Garg G., Soni D., Aggarwal S. G. Measurement of benzene and other volatile organic compounds: implications for its inhalation health risk associated with the workers at a fuel station in Delhi. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. 2023. Vol. 17(7). P. 1–11. https://doi.org/10.1007/s44273-023-00007-8
22. Anigilaje E. A., Nasir Z. A., Walton C. Exposure to benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) at Nigeria's petrol stations: a review of current status, challenges and future directions. *Frontiers in Public Health*. 2024. Vol. 12. Article 1295758. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1295758

23. Allahabady A., Yousefi Z., Mohammadpour T. R. A., Payandeh S. Z. Measurement of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) concentration at gas stations. *Environmental Health Engineering and Management Journal.* 2022. Vol. 9. P. 23–31. https://doi.org/10.34172/EHEM.2022.04
24. Ghahri A., Seydi P., Ranjbar A., Hatami H., Beheshti T., Seydi E. Evaluation of exposure to volatile organic compounds (BTEX) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in gas station workers and oxidative stress assessment in Karaj city. *Toxicology Reports*. 2024. Vol. 13. Article 101767. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101767
25. Mendes T. M. C. Surveillance of occupational exposure to volatile organic compounds in gas stations – a scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health (MDPI)*. 2024. Vol. 21(5). Article 518 (2024). https://doi.org/10.3390/ijerph21050518
26. Збірник методик із розрахунку вмісту забруднюючих речовин у викидах неорганізованих джерел забруднення атмосфери. ОАО «УкрНТЕК». Донецьк, 1994. 125 с.
27. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. *Український науковий центр технічної екології*. Донецьк, 2004. Том І. 184 с.
28. Методика розрахунку втрат галузевого стандарту України «Гази вуглеводневі скраплені». м. Київ : Держнафтогазпром, 2000. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=67172
29. Про затвердження Методичних рекомендацій «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря». Наказ МОЗ України від 18.10.2023 № 1811. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1811282-23#Text
30. Газопостачання. ДБН В.2.5-20:2018. URL: https://ips.ligazakon.net/document/DBN00074

Отримано: 18.09.2025 / Переглянуто: 15.11.2025 / Прийнято: 21.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

O. A. KARAIM[1], PhD (Economic),
Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1722-4110

O. A. BAKARAIEV,
Founder
e-mail: Vepp@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6876-2840
"VOLYNEKOPROMPROEKT" LLC
7 Gulaka-Artemovsky St., apt. 75, Lutsk, Volyn region, 43005, Ukraine

V. P. KARAIM[1],
PhD Student,
e-mail: karaim.volodymyr@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4053-8019

Z. V. LAVRYNYUK[1], PhD (Chemistry),
Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1906-3330
[1]*Lesya Ukrainka Volyn National University,*
13 Voli Ave., Lutsk, Volyn region, 43025, Ukraine

GAS STATION EMISSIONS: RISK ASSESSMENT IN THE CONTEXT OF ENSURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

Purpose. To carry out an inventory of pollutant emissions generated by the operation of a filling station and to assess the total non-carcinogenic risk in the context of ensuring sustainable development.

Methods. Experimental and analytical methods, as well as mathematical modeling and forecasting techniques.

Results. An analysis of atmospheric emissions from a filling station located in the Lutsk district of the Volyn region was conducted. The sources of pollutant formation at the facility include underground steel horizontal cylindrical tanks for gasoline and diesel fuel storage, double-sided fuel dispensers, above-ground steel tanks for liquefied petroleum gas, and a gas-filling dispenser. Maximum one-time and annual emissions were determined using instrumental measurements, analytical calculations, design data, and technological standards. According to the total annual volume of emissions, the facility belongs to the third category. The operation of the filling station results in the release of hydrogen sulfide, saturated hydrocarbons, benzene, xylene, toluene, propane, and butane into the atmospheric air. The calculated ground-level concentrations of pollutants, including

background pollution, at the boundary of the sanitary protection zone and residential areas do not exceed hygienic standards. The hazard index values for the four control points correspond to a warning level of total non-carcinogenic risk. The identified level of risk requires further monitoring and the implementation of emission-reduction measures, which is an essential prerequisite for ensuring sustainable development.

Conclusions. Pollutant concentrations at the boundary of the sanitary protection zone do not exceed regulatory limits. However, the warning level of total non-carcinogenic risk necessitates continued monitoring, assessment of potential health impacts, and the implementation of effective environmental protection measures. Reducing emissions is a critical condition for the safe operation of the filling station and for supporting the sustainable development of the surrounding area.

KEYWORDS: *risk assessment, atmospheric air, pollution, emission, filling station, sustainable development*

Conflict of Interest

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

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Antropchenko, A. K., Rabomska, M. M., Chernyak, M. M., & Boichenko, S. V. (2016). Assessment of the potential toxic effect of hydrocarbon emissions from a typical gas station reservoir for urban population. *Oil and Gas Industry of Ukraine*, (2), 40–43. (in Ukrainian)
2. Busyhina, H. A., & Ivasenko, V. M. (2019). The trend of controlling emissions and the performance quality of gas stations. In *A Look into the Future of Instrument Engineering: Proceedings of the 12th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 252–254). Kyiv: Igor Sikorsky KPI. Retrieved from https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28117 (in Ukrainian)
3. Zhelnovach, H. M., Prokopenko, N. V., & Zhelnovach, A. N. (2014). Analysis of environmental impacts and risks during the operation of gas stations. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, (67), 78–88. Retrieved from https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/caa5a8e9-02a7-410f-80f3-91089d90911b/content (in Ukrainian)
4. Ivasenko, V. M., & Vynnychenko, T. O. (2017). Assessment of the impact of gas stations on the environment. *Bulletin of the National Technical University "KhPI." Series: Mechanical and Technological Systems and Complexes*, (16), 123–131. Retrieved from http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/102469 (in Ukrainian)
5. Karaim, O. A., Mylko, I. P., & Karaim, V. P. (2022). Formation of an environmental management system for enterprises in the context of restoring sustainable regional development. *Scientific Works of DonNTU. Series: Economic*, *2*(26), 29–38. https://doi.org/10.31474/1680-0044-2022-2(26)-29-38 (in Ukrainian)
6. Rabosh, I. O., Kofanova, O. V., & Pidhorniy, A. V. (2018). Assessment of the environmental condition of gas station areas located near highways. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute." Series: New Solutions in Modern Technologies*, (9), 236–242. https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.09.34
7. Chuhai, A. V. (2015). Assessment of the impact of gas station operation on the natural environment. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, (71), 97–101. Retrieved from https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/3ea83d13-c315-4d63-b431-b431f9114a84 (in Ukrainian)
8. Hilpert, M., Rule, A. M., & Adria-Mora, B. (2018). Gas stations vent far more toxic fumes than previously thought. *Science of the Total Environment*, 35–43. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.303
9. Hilpert, M. (2023). Setbacks for gas stations in a world with regionally varying emissions factors and acceptable health risks. *Frontiers in Environmental Health*, *2*, 1214376. https://doi.org/10.3389/fenvh.2023.1214376
10. Mäkká, K., Kampová, K., Loveček, T., & Petrlová, K. (2021). Environmental risk assessment of filling stations using the principles of security management: A case study in the Slovak Republic. *Sustainability*, *13*(22), 12452. https://doi.org/10.3390/su132212452
11. Nieminen, P. M. (2015). Environmental Protection Standards at Petrol Stations: A Comparative Study between Finland and Selected European Countries. *Tampere University of Technology*. Retrieved from http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-200810021073
12. Robinson, H. K., Hasenmueller, E. A., & Chambers, L. G. (2017). Soil as a reservoir for road salt retention leading to its gradual release to groundwater. *Applied Geochemistry*, *83*(SI), 72–85. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.01.018
13. Zafar, M., Zaidi, S. T. H., Husain, S. S., & Bukhari, N. M. (2021). Risk assessment of ambient air pollutants and health impact around fuel stations in urban cities of KSA. *International Journal of Preventive Medicine*, *12*(1), 91. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_331_19

14. Singh, P., Berawala, N., & Patil, Y. (2022). Automobile service station waste assessment and promising biological treatment alternatives: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(10), 753. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10387-z
15. Fei-Baffoe, B., Badu, E., Miezah, K., Adjiri Sackey, L. N., Sulemana, A., & Yahans Amuah, E. E. (2024). Contamination of groundwater by petroleum hydrocarbons: Impact of fuel stations in residential areas. *Heliyon*, *10*, e25924. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25924
16. Mäkká, K., Šiser, A., Mariš, L., & Kampová, K. (2024). Impact of filling stations: Assessing the risks and consequences of the release of hazardous substances. *Applied Sciences*, *14*(1), 22. https://doi.org/10.3390/app14010022
17. Heidari, E. A., Sarkhosh, M., Alidadi, H., Najafpoor, A. A., Esmaily, H., & Shamsara, E. (2024). Assessing VOC emissions from different gas stations: Impacts, variations, and modeling fluctuations of air pollutants. *Scientific Reports*, *14*, 16617. https://doi.org/10.1038/s41598-024-67542-4
18. Periago, J. F., & Prado, C. (2015). Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. *Annals of Occupational Hygiene*, *49*, 233–240. https://doi.org/10.1093/annhyg/meh083
19. Yu, T.-K., & Chang, I.-C. (2025). Predicting potential soil and groundwater contamination risks from gas stations using three machine learning models (XGBoost, LightGBM, and Random Forest). *Process Safety and Environmental Protection*, *199*, 107249. https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107249
20. Hsieh, P. Y., Shearston, J. A., & Hilpert, M. (2021). Benzene emissions from gas station clusters: a new framework for estimating lifetime cancer risk. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *19*, 273–283. https://doi.org/10.1007/s40201-020-00601-w
21. Kumari, P., Garg, G., Soni, D., & Aggarwal, S. G. (2023). Measurement of benzene and other volatile organic compounds: implications for its inhalation health risk associated with the workers at a fuel station in Delhi. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, *17*(7), 1–11. https://doi.org/10.1007/s44273-023-00007-8
22. Anigilaje, E. A., Nasir, Z. A., & Walton, C. (2024). Exposure to benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) at Nigeria's petrol stations: a review of current status, challenges and future directions. *Frontiers in Public Health*, *12*, 1295758. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1295758
23. Allahabady, A., Yousefi, Z., Mohammadpour, T. R. A., & Payandeh, S. Z. (2022). Measurement of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) concentration at gas stations. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, *9*, 23–31. https://doi.org/10.34172/EHEM.2022.04
24. Ghahri, A., Seydi, P., Ranjbar, A., Hatami, H., Beheshti, T., & Seydi, E. (2024). Evaluation of exposure to volatile organic compounds (BTEX) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in gas station workers and oxidative stress assessment in Karaj city. *Toxicology Reports*, *13*, 101767. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101767
25. Mendes, T. M. C., (2024). Surveillance of occupational exposure to volatile organic compounds in gas stations – a scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health (MDPI)*, *21*(5), 518. https://doi.org/10.3390/ijerph21050518
26. Collection of Methods for Calculating the Content of Pollutants in Emissions from Unorganized Sources of Atmospheric Pollution. (1994). Donetsk: OAO "UkrNTEK". (in Ukrainian)
27. Collection of Emission Indicators (Specific Emissions) of Pollutants into the Atmosphere by Various Industries. (2004). Vol. 1. Donetsk: Ukrainian Scientific Center for Technical Ecology. (in Ukrainian)
28. Methodology for Calculating Losses of the Industry Standard of Ukraine “Liquefied Hydrocarbon Gases.” (2000). Kyiv: Derzhnaftogazprom. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=67172 (in Ukrainian)
29. Ministry of Health of Ukraine. (2023, October 18). Methodological recommendations “Assessment of carcinogenic and non-carcinogenic risks to public health from chemical pollution of ambient air” (Order No. 1811). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1811282-23#Text (in Ukrainian)
30. *Gas Supply. DBN V.2.5-20:2018.* (2018). Retrieved from https://ips.ligazakon.net/document/DBN00074 (in Ukrainian)

Submission received: 18.09.2025 / Revised: 15.11.2025 / Accepted: 21.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-06
UDC (УДК): 338.49: 656.2: 504.5

L. A. HOROSHKOVA, DSc (Economy), Prof.,
Professor of the Department of Ecology
e-mail: goroshkova69@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7142-4308
National university of Kyiv Mohyla academy
2, Skovorody, Str., Kyiv, 04070, Ukraine

O. I. MENSHOV, DSc (Geology), Senior Researcher,
Department of Geoinformatics
e-mail: menshov@knu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7280-8453
Taras Shevchenko National University of Kyiv
60, Volodymyrska, Str., Kyiv, 01033, Ukraine

Y. D. KORNIICHUK[1,2],
Master's Degree,
e-mail: yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0742-3213
[1]*Taras Shevchenko National University of Kyiv*,
60, Volodymyrska, Str., 01033 Kyiv, Ukraine
[2]*V.N. Karazin Kharkiv National University*,
4, Svobody, Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

A. O. SOLOVIOVA,
Bachelor
e-mail: a.soloviova@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-8802-7477
National university of Kyiv Mohyla academy
2, Skovorody, Str., Kyiv, 04070, Ukraine

THE WAR ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE CONDITIONS OF THE DESNA RIVER SURFACE WATERS

Purpose. To provide a comprehensive environmental assessment of the condition of the surface waters of the Desna River in order to identify the main anthropogenic factors of impact, in particular the consequences of the war.

Methods. System analysis, statistical data processing methods, retrospective dynamics analysis, and forecasting of future trends.

Results. An analysis was carried out using long-term data from the Water Monitoring Laboratory of the Desna Basin Water Resources Authority for the monitoring stations: Chernihiv, Brovary and Kyiv. The research was conducted for the following indicators: biochemical oxygen demand over 5 days (BOD_5) and dissolved oxygen, phosphate ions and ammonium ions, nitrite ions and nitrate ions, sulfate ions and chloride ions. Special attention was paid to the analysis of pollution of the surface waters of the Desna River originating from the territory of the Russian Federation. It was established that in 2024 the most significant pollution was recorded in Chernihiv. An increase in the BOD_5 level was observed, exceeding the MPC (maximum permissible concentration) levels, along with a sharp decrease in the dissolved oxygen level. This indicates the entry of organic pollutants into the waters of the Desna River, which led to intensified decomposition processes. After September 21, 2024, the situation improved, as evidenced by a decrease in the BOD_5 level and an increase in dissolved oxygen. It was proven that this resulted from the entry into the river of phosphate and ammonium ions, as well as nitrite ions. Similar studies were carried out for the Brovary and Kyiv stations. It was found that the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation into the Desna River after August 26, 2024, did not affect the BOD_5 values and dissolved oxygen levels at these sites.

Conclusions. The study identified the main environmental problems of the Desna River, in particular organic and mineral pollution, disturbance of the hydrological regime, and a decrease in oxygen levels. It was

© Horoshkova L.A., Menshov O. I., Korniichuk Y. D., Soloviova A. O., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

established that in 2024 the Desna River near Chernihiv (Chernihiv station, 200 km) experienced the greatest anthropogenic impact. Deterioration of water quality indicators was recorded for all analyzed parameters. The situation was better at the other two stations. Pollution of the Desna River with nitrite ions was observed only at the Chernihiv (200 km) station and was not significant at the Brovary (20 km) or Kyiv (3 km) stations. Since the BOD_5 and dissolved oxygen indicators normalized at the end of September, there is reason to believe that self-purification of the surface waters in the river occurred.

KEYWORDS: *Desna River, surface waters, environmental monitoring, phosphates, ammonium, sulfates, chlorides, dissolved oxygen, BOD_5, nitrates, nitrites, anthropogenic impact, consequences of the war*

Як цитувати: Horoshkova L. A., Menshov O. I., Korniichuk Y. D., Soloviova A. O. The war anthropogenic impact on the conditions of the Desna river surface waters. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 74-93. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-06

In cites: Horoshkova, L. A., Menshov, O. I., Korniichuk, Y. D., & Soloviova, A. O. (2025). The war anthropogenic impact on the conditions of the Desna river surface waters. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 74-93. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-06

Introduction

The ecological state of Ukraine's rivers attracts constant attention from scientists, as economic activity, species exploitation, and discharge of insufficiently treated wastewater lead to negative anthropogenic impacts [1-19]. The Desna River basin is no exception. Under wartime conditions, Ukraine's water resources, in particular the Desna River basin, are suffering significant environmental losses. This region plays a key role in ensuring water supply and maintaining ecosystem balance. Military actions cause direct pollution of water bodies with explosive substances, fragments of military equipment, petroleum products, and toxic chemicals, leading to a decline in water quality and loss of biodiversity within the river basin and surrounding natural complexes. The destruction of water treatment facilities and hydraulic structures contributes to the uncontrolled entry of pollutants into the river system.

The case of the Kakhovka hydroelectric power station explosion, which caused massive flooding of territories, leaching of pollutants from soils, chemical warehouses, cemeteries and cattle burial grounds, is particularly illustrative. The destruction of treatment facilities in frontline regions, such as Zaporizhia region, led to the discharge of thousands of cubic meters of untreated wastewater into rivers. Damage to hydraulic structures disrupts water level regulation, causes bank erosion and changes in the hydrological regime. Additional pressure is created by forced population migration and changes in land use. Eliminating the consequences of these environmental losses and monitoring them is critically important for preserving environmental stability in the strategic perspective. A thorough analysis of the impacts of the war on the water resources of the Desna basin should form the basis for the development of effective measures for restoration and prevention of further degradation. Special attention is required to study the situation during 2024-2025, since in addition to the anthropogenic impacts of enterprises on the state of surface waters of the Seim River basin [20] within the Kursk Oblast of the Russian Federation, the consequences of hostilities in this territory have been added, which may be potential sources of additional pollution of the Desna River.

Objects and Research Methods

For the purpose of assessing the anthropogenic load, including that caused by the war, on the condition of the surface waters of the Desna River, an analysis of water condition indicators was carried out for the monitoring stations: Chernihiv, 300 km (51°39′42″ N, 31°27′12″ E); Brovary, 20 km (50°61′61″ N, 30°70′61″ E); and Kyiv, 3 km (50°55′10″ N, 30°56′90″ E). The analysis was based on data from the Water Monitoring Laboratory of the Desna Basin Water Resources Authority. The study was conducted for the following indicators: biochemical oxygen demand over 5 days (BOD_5) and dissolved oxygen, phosphate ions and ammonium ions, nitrite ions and nitrate ions, sulfate ions and chloride ions.

Results and Discussion

Physico-geographical and hydrological characteristics. The Desna River is the largest left-bank first-order tributary of the Dnipro and belongs to the large rivers of Ukraine. The total length of the river is 1,130 km, of which 575 km lie within Ukraine. The catchment area covers

88.9 thousand km², with 33.8 thousand km² within Ukraine's borders. The average density of the river network in the sub-basin is 0.24 km/km², which indicates a well-developed hydrographic system. The medium-sized tributaries of the river with a catchment area of more than 2 thousand km² include the Seym, Kleven, Sudost, Snov, and Oster rivers (Fig. 1).

Lake formations in the basin are mainly represented by floodplain oxbow lakes formed as a result of channel meandering. Lakes on low above-floodplain terraces are remnants of ancient riverbeds. Within Ukraine, the Desna has no regulated sections, however, on its tributaries – mainly in the Seym basin – 23 reservoirs have been created, serving general water-use functions [5].

The hydrological regime of the Desna is formed mainly due to snowmelt, which causes a distinctly expressed spring flood of the meltwater–rain type. The summer–autumn period is characterized by declining water levels, and in winter the river is under ice cover for an average of 3–4 months. Seasonal fluctuations in discharge and water levels have a significant impact on the channel's morphology and the condition of riparian ecosystems [6].

Hydrochemical characteristics and water quality assessment. The hydrochemical composition of the Desna River's water is formed under the influence of natural factors (geological structure, climate, hydrological regime) and anthropogenic factors (wastewater discharges, agricultural land use in the basin). According to state monitoring conducted by the Desna Basin Water Resources Authority, the river water is regularly tested for priority organic and inorganic pollutants in accordance with the EU Water Framework Directive. Among the main indicators monitored are sulfate content, chloride content, ammonium nitrogen, nitrites, nitrates, phosphates, as well as BOD_5 and COD as indicators of organic pollution [5].

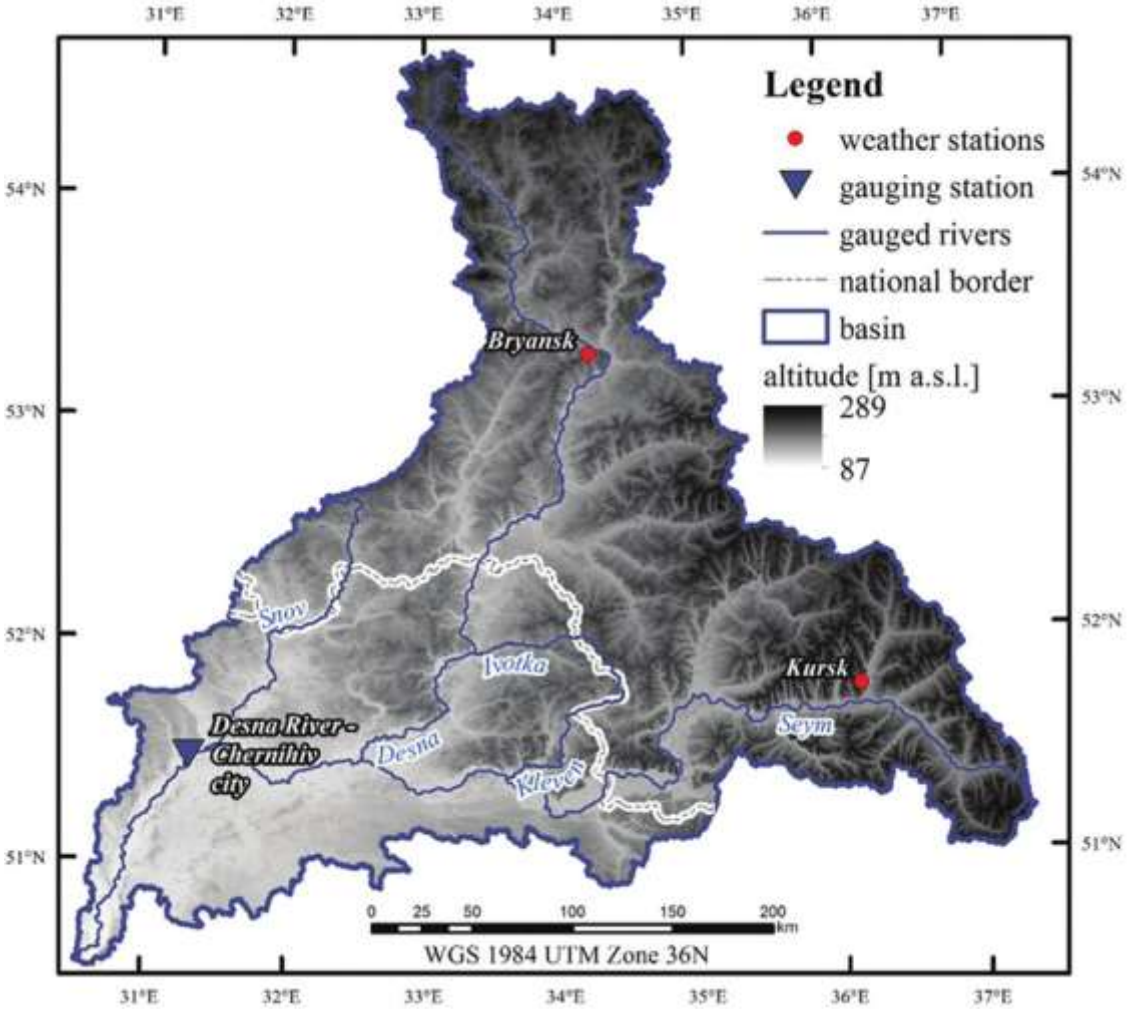


Fig. 1 – Location of the Desna River basin [1]

Results of hydrochemical observations show that elevated concentrations of biogenic elements (nitrogen, phosphorus) can lead to the development of eutrophication processes. Luzovytska Yu.A., Osadcha N.M., and Artemenko V.A. established that the presence of increased concentrations of nitrogen and phosphorus compounds in the water stimulates intensive phytoplankton growth and the phenomenon of "water blooming," which worsens organoleptic properties and reduces dissolved oxygen content [7].

Research by Kovalenko S.A. confirms that the quality of the Desna's water depends not only on local pollution sources but also on the influence of upstream tributaries. A mathematical model developed by the author shows that pollutants, in particular sulfates and chlorides, can persist in the water flow and spread over long distances downstream, creating a cumulative effect at confluences [8].

The impact of anthropogenic load is also confirmed by studies conducted in the Seym basin and other Desna tributaries, where exceedances of pollutant content standards were detected in summer, when hydrological conditions favor the concentration of dissolved substances [8 – 10].

Climatic features of the basin. The Desna basin is located in a temperate continental climate zone with mild winters and warm summers. The average annual air temperature is +6…+8 °C, the average temperature in January is –6…–8 °C, and in July +18…+20 °C. The average annual precipitation ranges from 550 to 650 mm, with a maximum in summer, which makes possible the formation of rain-induced floods. Winter is characterized by a stable snow cover that feeds the spring flood [6].

According to Shakirzanova Zh.R. and coauthors, long-term trends indicate a decrease in average spring runoff values, yet the likelihood of high-water and even catastrophic floods remains. Such events are particularly dangerous as they lead to flooding of floodplains and settlements and to the disruption of transport infrastructure. For forecasting the hydrological situation in the Desna basin, a methodology for regional long-term forecasts of maximum spring flood discharge is applied, taking into account a complex of hydrometeorological factors. Climate change manifests itself in the increased frequency of extreme meteorological events—from warm winters with short ice cover to intense summer downpours capable of causing short-term but high flood waves [6, 11].

Ecological aspects. The ecological state of the Desna basin is determined by a combination of natural processes and anthropogenic impacts. The main sources of pollution are agricultural runoff, untreated or insufficiently treated municipal and industrial wastewater, as well as diffuse sources associated with soil erosion. The influence of these factors is particularly noticeable in the summer–autumn period, when water levels drop and pollutant concentrations increase [9, 10. 12].

Studies by Kovalenko S.A. and other authors confirm the importance of a basin-wide approach to water resources management. In particular, the influence of upstream tributaries on the ecological state of the main channel is significant, and ignoring this factor can lead to underestimation of pollution levels. Constructed isolines of sulfate and chloride concentrations show a consistent increase in the content of these components downstream, confirming the cumulative effect [8].

Processes of eutrophication are also recorded, developing due to an excess of biogenic elements in the water. This creates the threat of toxic blooms and reduced water transparency, which negatively affects the biodiversity of aquatic ecosystems [2, 3, 7].

The works of Luzovytska Yu.A., Osadcha N.M., and Artemenko V.A. have examined the content of biogenic elements and determined their role in the development of eutrophication processes in the Desna. Shakirzanova Zh.R. and coauthors have developed and tested a methodology for forecasting maximum spring flood discharge in the basin under climate change conditions. Kovalenko S.A. created a mathematical model for assessing the influence of upstream tributaries on water quality, showing the cumulative effect of pollutant spread. Materials from the state monitoring conducted by the Desna Basin Water Resources Authority detail the physico-geographical and hydrochemical characteristics of the river, as well as sources of anthropogenic impact. Together, these studies form a comprehensive understanding of the current state of the Desna River and the factors that determine it [5 – 9].

Water bodies of Ukraine under wartime conditions experience additional anthropogenic impacts. One such case became known on August 26, 2024, when there was a critical deterioration in the ecological condition of the Seym River in Chernihiv region. Visual evidence of environmental danger included the change in water color to black and mass fish kills. The State Agency for Land Reclamation and Water Management of Ukraine promptly released information stating that the primary cause of the pollution was the

inflow of contaminated water masses from Kursk region of the Russian Federation, where active hostilities were ongoing at the time.

It is worth noting that pollution of the Seym River on Russian territory had been recorded as early as mid-August 2024. Local sources reported the movement of polluted water characterized by high toxicity and causing biota death. In response to the environmental crisis, on August 29, 2024, the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine issued an official statement emphasizing that the situation with water quality in the Seym and Desna rivers was under control. The statement also noted that, at present, there was no threat to drinking water supply for the population; however, the issue of long-term environmental consequences remains open and requires further scientific research and monitoring.

In addition, according to open sources, there are 23 polluting enterprises in the Seym River basin within Kursk region of the Russian Federation (LLC "Tyotkino Sugar Plant", JSC "Tyotkinospirt", Kursk NPP, LLC "Kursk Leather", JSC "Kurskvodokanal" and others) that may be potential sources of pollution affecting Sumy and Chernihiv regions [13].

Data on anthropogenic pollution and the condition of water in the Desna River were analyzed using monitoring data from the Chernihiv station, 200 km, over the period from 2014 to February 2025. An analysis was carried out on the temporal changes in biochemical oxygen demand over 5 days (BOD_5) in water bodies of the city of Chernihiv for the period from 2007 to 2025 (monitoring data for 2019–2023 are unavailable) (Fig. 2).

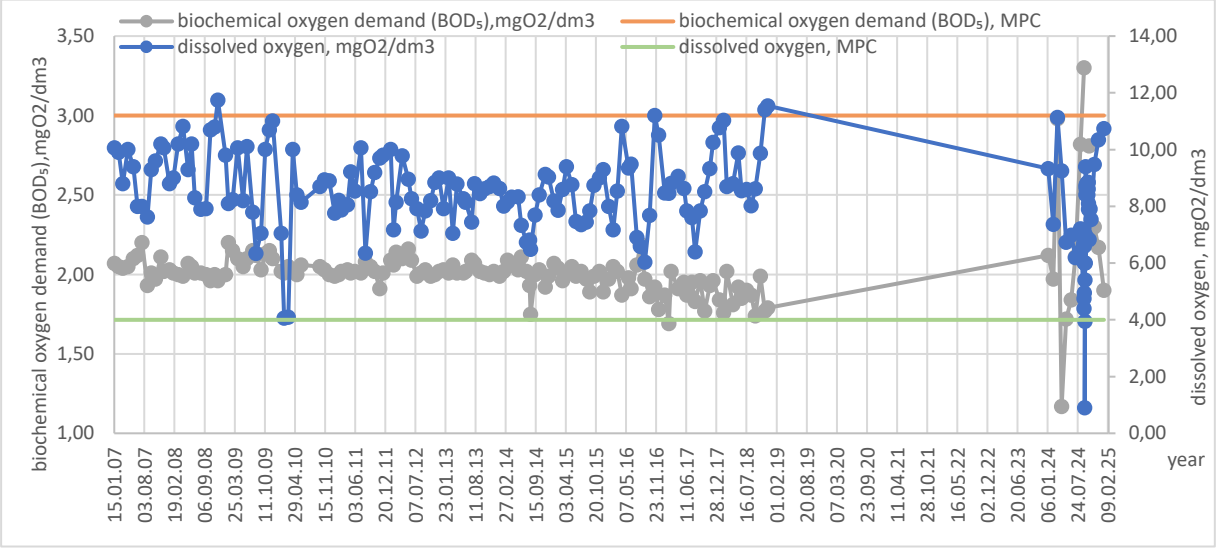


Fig. 2 – Dynamics of changes in indicators: biochemical oxygen demand over 5 days (BOD_5) and dissolved oxygen (O_2) during 2007–2025

Based on these data, several significant fluctuations can be noted. At the beginning of 2014, a relatively high BOD_5 level (about 2.5 mgO_2/dm^3) is observed, showing a tendency to increase in the first half of 2014, reaching a peak value of about 3.0 mgO_2/dm^3. In the second half of 2014 and at the beginning of 2015, there is a sharp drop in the indicator to its lowest point (approximately 1.2 mgO_2/dm^3), which may indicate an improvement in water quality during this period or changes in anthropogenic load. From 2015 to 2017, BOD_5 values fluctuate within the range of 1.8–2.2 mgO_2/dm^3, showing relative stability.

In 2017–2018, a gradual increase in the indicator begins, which may be associated with an increase in organic matter pollution. The largest fluctuations are observed in the period 2019–2020, when BOD_5 values rapidly rise to almost 2.7 mgO_2/dm^3, then sharply drop to 1.0 mgO_2/dm^3, after which they again increase steeply. This indicates instability in the ecological situation during this period.

Figure 3 presents detailed data for the period 2024 – early 2025. The situation in 2024 with regard to BOD_5 fully corresponded to its seasonal variations. It should be noted that its level was below the MPC. At the beginning of 2024, it was relatively high, then sharply decreased, and subsequently rose again, reaching peak values in the second half of 2024. The level of dissolved oxygen also underwent significant changes but generally showed a trend opposite to

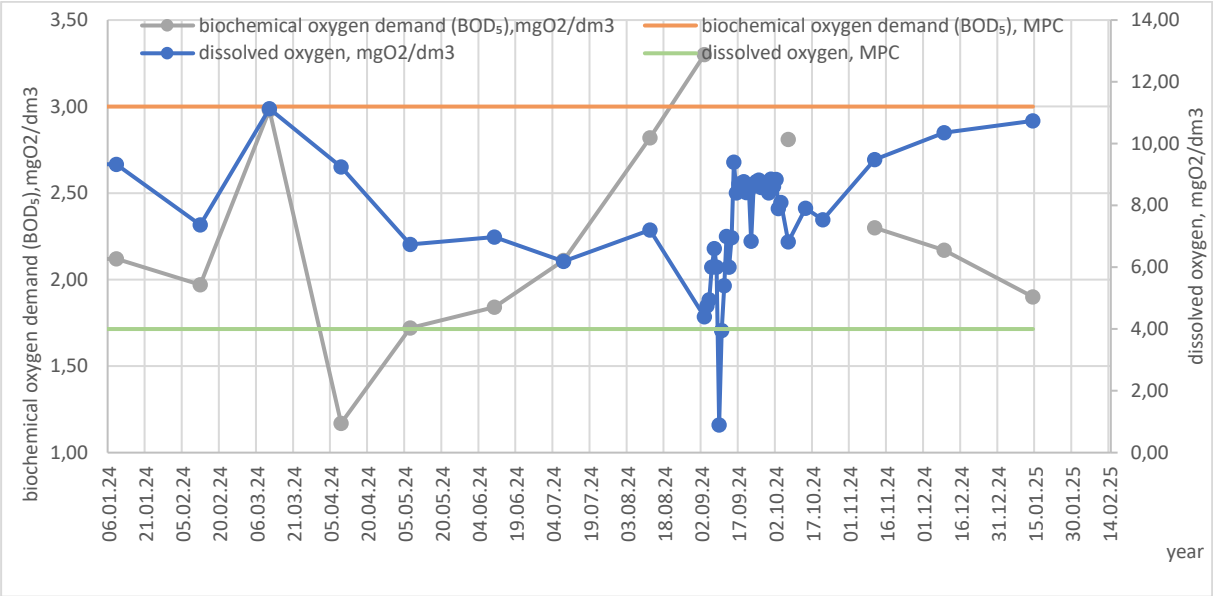


Fig. 3 – Dynamics of changes in indicators: biochemical oxygen demand over 5 days (BOD_5) and dissolved oxygen (O_2) during 2024–2025

that of BOD_5. In summer, a decrease in dissolved oxygen levels and an increase in BOD_5 were observed due to higher temperatures and the intensification of organic matter decomposition processes. In autumn and winter, by contrast, as temperatures decreased, the biological activity of microorganisms and the decomposition of organic matter slowed down, leading to a reduction in oxygen consumption. As a result, the level of dissolved oxygen increased, and BOD_5 decreased.

The inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation into the Desna River can be traced to the period after August 26, 2024. As we can see, there is a significant increase in BOD_5 accompanied by a sharp decrease in dissolved oxygen levels, and this continued until the end of September 2024. Furthermore, the BOD_5 level exceeded the MPC (3 mgO_2/dm^3), and the dissolved oxygen level also dropped below the critical MPC level (4 mgO_2/dm^3). This indicates the entry of organic pollutants into the waters of the Desna River, which led to intensified decomposition processes. After September 21, 2024, the situation improved, as evidenced by a decrease in BOD_5 levels and an increase in dissolved oxygen levels.

To clarify the causes of the observed changes in dissolved oxygen and BOD_5 levels, we conducted an analysis of the dynamics of concentrations of the main pollutants.

A study was conducted on the content of sulfate and chloride ions in the Desna River. As can be seen, the content of sulfate ions significantly exceeds that of chloride ions throughout the observation period (Fig. 4).

Fluctuations in sulfate ion content were observed as follows: in March and April 2013 – maximum concentration (about 50.00 mg/dm^3); June and July 2013 – a sharp decrease to 30.00 mg/dm^3; December 2013 – January 2014 – a significant increase to 45.00 mg/dm^3; October–November 2014 – the lowest recorded level (25.00 mg/dm^3).

The concentration of chloride ions remained relatively stable (15.00–20.00 mg/dm^3), with a slight increase in May–July 2014. Autumn–winter 2014 was characterized by the lowest levels of both ions, which may be related to changes in the city's water supply or to natural hydrological factors.

The situation in 2024–2025 showed that sulfate ion concentrations had significant fluctuations, from high values (50 mg/dm^3) at the beginning of the period to a sharp decrease, followed by rises and drops (25–45 mg/dm^3). Chloride ions showed smaller but still noticeable fluctuations within the range of 15–25 mg/dm^3. However, the overall concentration levels during this period did not exceed the values of previous years.

Thus, it can be noted that among the pollutants that entered the Desna River from the territory of the Russian Federation after 26.08.2024, no increase was observed in the content of sulfate or chloride ions in the water.

An analysis was carried out of the content of ammonium ions and phosphate ions in the Desna River during the study period (Fig. 5).

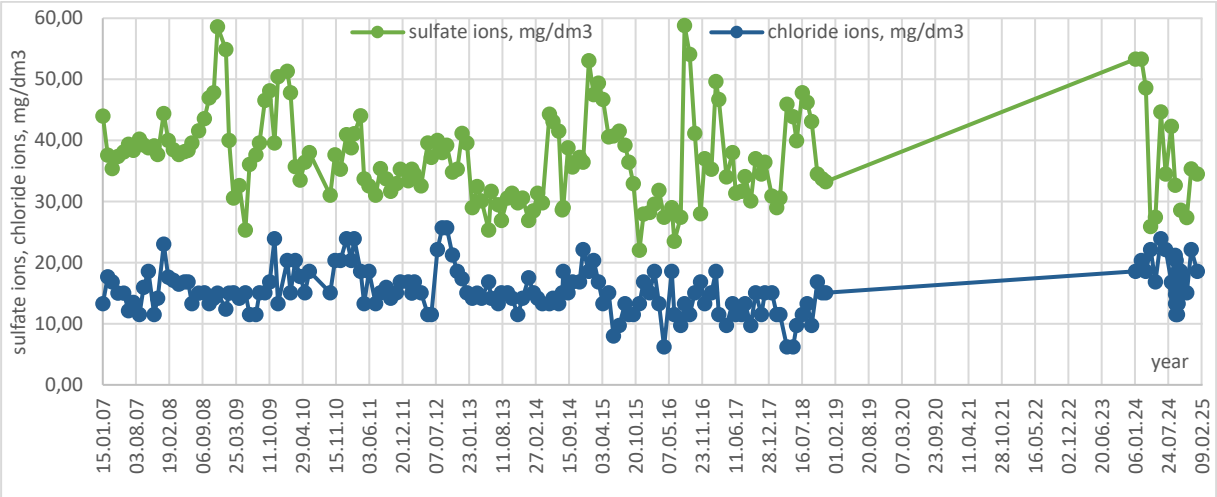


Fig. 4 – Dynamics of changes in indicators: sulfate ions and chloride ions, 2024–2025

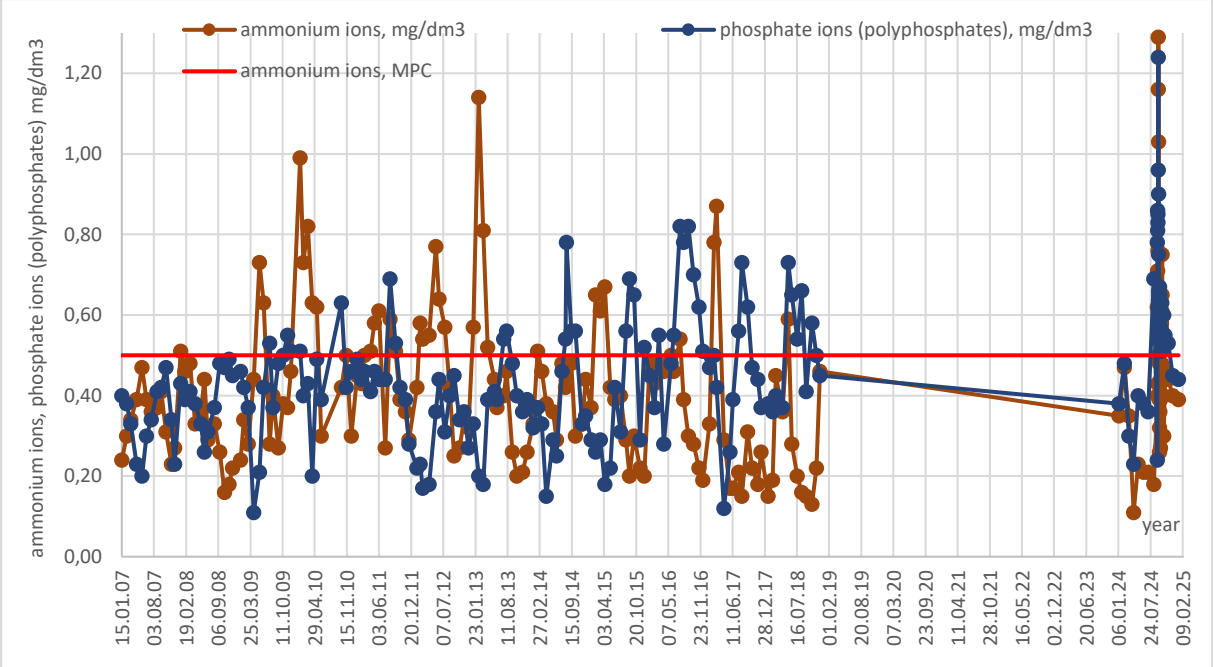


Fig. 5 – Dynamics of changes in indicators: ammonium ions and phosphate ions in 2024–2025

For most of 2014, the indicators showed relative stability: ammonium ion concentration fluctuated within the range of 0.1–0.45 mg/dm³ (below MPC = 0.5 mg/dm³), phosphate ions within 0.2–0.4 mg/dm³. At the end of 2014 – beginning of 2015, a sharp increase in both indicators was recorded. In December 2014, phosphate ion concentration peaked at about 1.1 mg/dm³, and in January 2015, ammonium ion content reached a maximum of approximately 1.2 mg/dm³, more than twice the MPC.

After the peak values in January–February 2015, a gradual decrease in concentrations was observed. Ammonium ions showed significant fluctuations with several smaller peaks, while phosphate ion levels decreased more smoothly. By mid-2015, both indicators stabilized at a level close to the initial values, but slightly higher compared to the same period in 2014. Such significant fluctuations in the winter of 2014–2015 may indicate a temporary deterioration in water quality associated with seasonal factors or changes in anthropogenic load.

Figure 6 presents the dynamics of ammonium ion and phosphate ion (orthophosphate) concentrations, as well as the MPC for ammonium, for 2024 – early 2025.

In 2024 – early 2025, the dynamics of ammonium ion and phosphate ion concentrations were unstable. At the beginning of the year, the

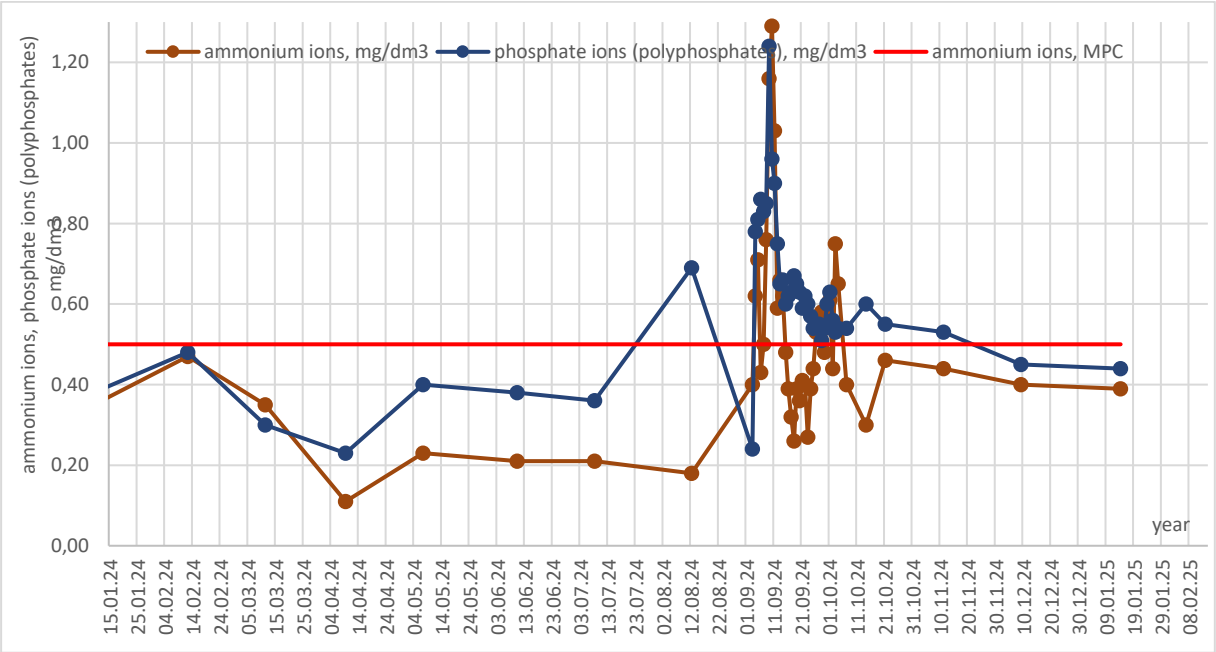


Fig. 6 – Dynamics of changes in indicators: ammonium ions and phosphate ions in 2024–2025

levels were low, but in September 2024 there was a sharp spike in both indicators, with the concentration of ammonium ions exceeding the MPC by 2.5 times. After the peak, the levels decreased but remained higher than the initial values, showing further fluctuations.

These trends can be considered a consequence of the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation into the Desna River after 26.08.2024. There is reason to believe that the significant increase in BOD_5 accompanied by a sharp decrease in dissolved oxygen levels, described above, is the result of contamination of the Desna River water with ammonium ions and phosphate ions.

We also studied the indicators of nitrate and nitrite pollution in the Desna River (Fig. 7).

At the beginning of the period (12.02.14 – 14.02.14), a high nitrate level was observed – about 2.0–2.2 mg/dm³ – after which there was a sharp decrease in concentration to approximately 1.2 mg/dm³. From March to June 2014, nitrate concentration remained relatively stable – within 1.2–1.3 mg/dm³.

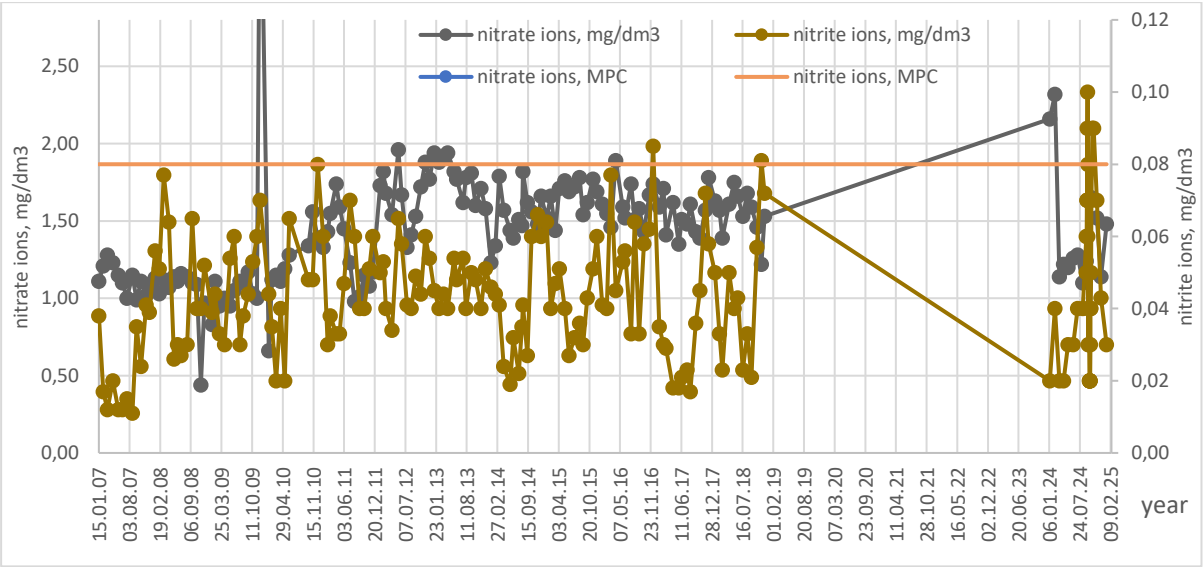


Fig. 7 – Dynamics of changes in indicators: nitrite ions and nitrate ions, 2007–2025

The most significant fluctuations in nitrite concentration were recorded in the summer–autumn period of 2014 (07.07.14 – 11.09.14), when values rose sharply from 0.04 to 0.1 mg/dm³, reaching a peak of approximately 0.1 mg/dm³ in August. In September 2014, there were substantial fluctuations in nitrite concentration with sharp rises and drops within the range of 0.02–0.09 mg/dm³.

At the end of the period (October–November 2014), a decreasing trend in nitrite concentration was noted, while nitrate levels began to gradually increase, reaching approximately 1.5 mg/dm³ at the last measurement point.

Figure 8 shows the dynamics of nitrate and nitrite concentrations in the water in Chernihiv during 2024 – early 2025.

At the beginning of 2024, the nitrate level was high, then sharply decreased, after which it rose again and showed several peaks and drops throughout the year.

Nitrite concentration also demonstrated significant fluctuations, especially during the period of pollutant inflow from the territory of the Russian Federation. In September 2024, there was a sharp increase in nitrite ion content, with its concentration exceeding the MPC of 0.08 mg/dm³. After the peak, levels decreased, but in October there was another rise above the MPC, most likely caused by other factors.

These trends can be considered a consequence of the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation into the Desna River after 26.08.2024. There is reason to believe that the significant increase in BOD_5 accompanied by a sharp decrease in dissolved oxygen levels, described above, is the result of contamination of the Desna River water with nitrite ions.

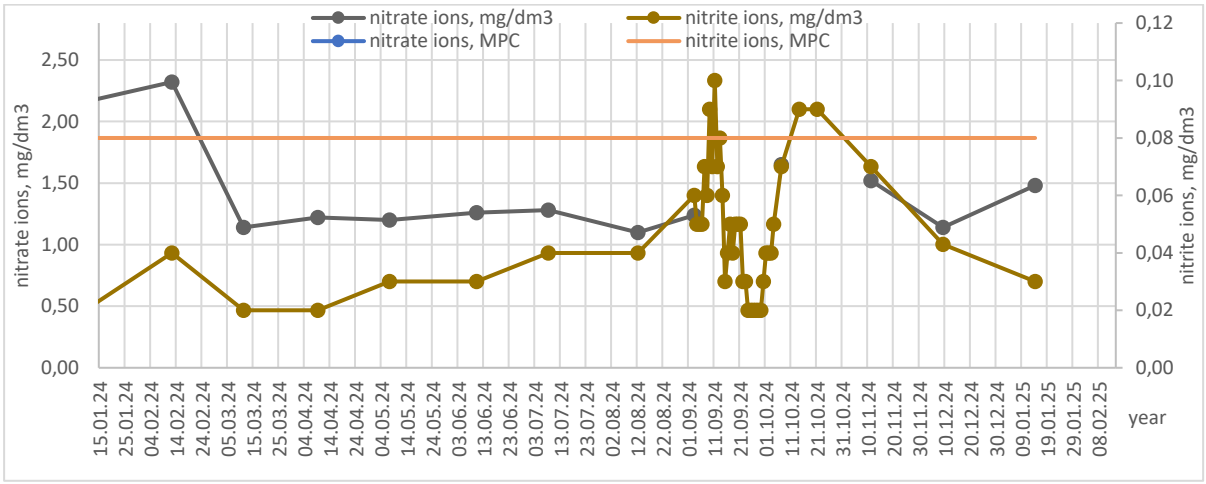


Fig. 8 – Dynamics of changes in indicators: nitrite ions and nitrate ions, 2024–2025

Similar studies were carried out for the Brovary station, 20 km. The analysis covered the period from 2019 to 2025.

Figure 9 presents data on biochemical oxygen demand and dissolved oxygen content. BOD_5 shows significant fluctuations (0–7 mgO_2/dm^3), while oxygen content (blue line) remains relatively stable.

Peak BOD_5 values were recorded in April 2021 (5 mgO_2/dm^3), August–September 2021 (6 mgO_2/dm^3), and March–April 2022 (7 mgO_2/dm^3, maximum). The lowest BOD_5 values were recorded in January–February 2022 (about 0) and May–June 2022 (about 0). A seasonal dynamic was observed, with higher BOD_5 in the spring–summer period and lower values in autumn–winter. The largest fluctuation occurred between December 2021 and April 2022, when BOD_5 first dropped almost to zero and then sharply increased to the maximum value.

During 2024, there was a sharp increase in BOD_5, followed by a decrease. Dissolved oxygen levels also fluctuated significantly throughout the year, with a noticeable decline in the middle of the year followed by an increase.

Exceedances of the MPC (3 mgO_2/dm^3) for BOD_5 during the study period were recorded multiple times, but after August 26, 2024, no exceedances were observed. Dissolved oxygen levels did not fall below the MPC (4 mgO_2/dm^3). Therefore, the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation into the Desna River after 26.08.2024 did not affect the BOD_5 values or the dissolved oxygen levels.

Figure 10 presents data on the dynamics of changes in indicators: sulfate ions and chloride ions during 2019–2024.

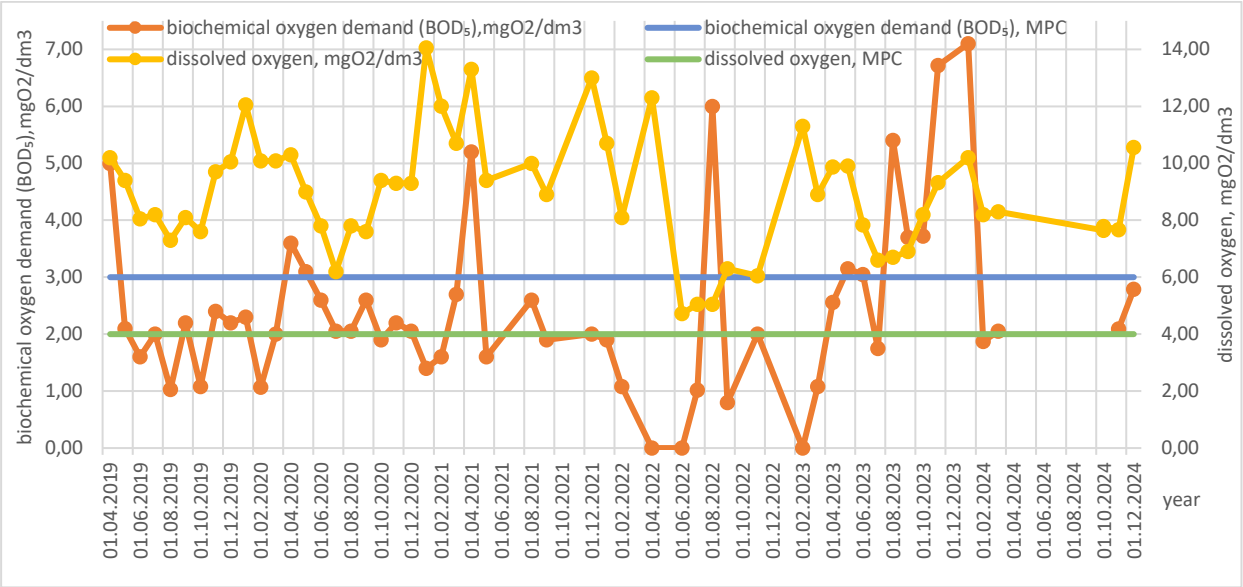


Fig. 9 – Dynamics of changes in indicators: biochemical oxygen demand (BOD_5) and dissolved oxygen (O_2) during 2019–2024

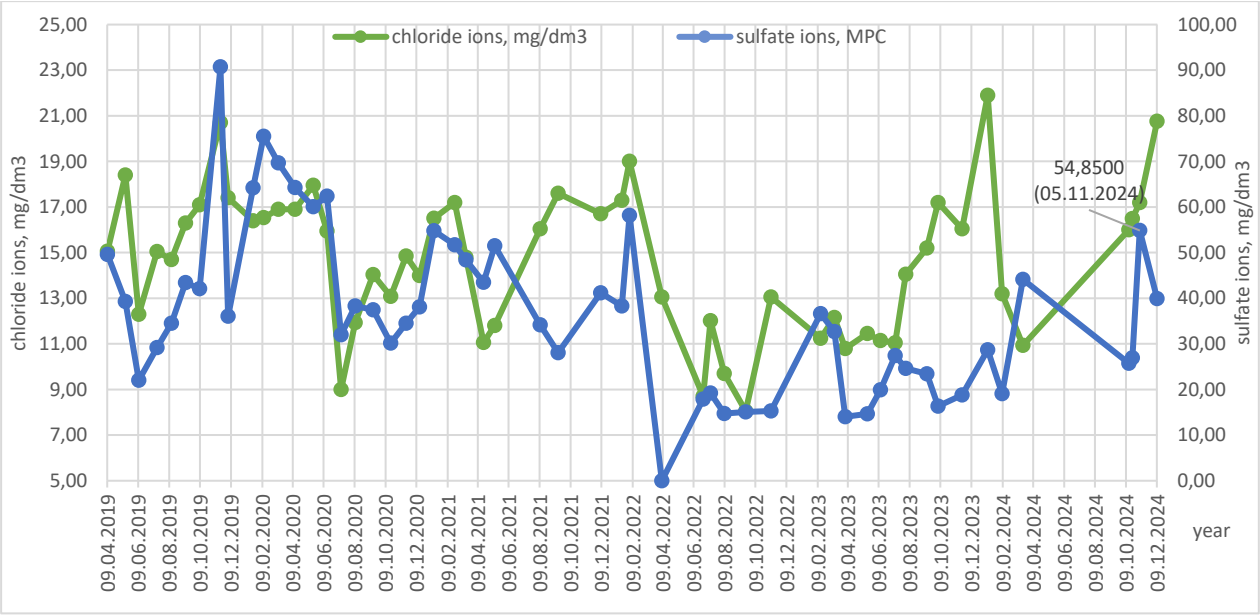


Fig. 10 – Dynamics of changes in indicators: sulfate ions and chloride ions in 2019–2024

The maximum concentration of chloride ions was recorded on 05.11.2020 (23 mg/dm³). Sulfate ions reached their peak concentration at the beginning of the observation period (about 23 mg/dm³), while the minimum value (about 5 mg/dm³) was recorded in the middle of the period. In the second half of 2020, there was a trend toward a gradual increase in the concentration of both ions. Chloride ion and sulfate ion concentrations often showed opposite trends, which may indicate different sources of their inflow. Both indicators remained within the permissible MPC limits despite seasonal fluctuations.

At the beginning of 2024, the chloride ion level decreased, then rose again slightly, and by the end of the available period (November 2024) showed a downward trend once more. The sulfate ion level also fluctuated throughout 2024, though without such sharp jumps as in chloride ions. By the end of the available period, an increase was observed. Therefore, the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation into the Desna River after

26.08.2024 did not affect sulfate ion and chloride ion values.

Figure 11 presents data on the dynamics of changes in indicators: ammonium ions and phosphate ions during 2019–2025.

The maximum concentration of ammonium ions was recorded on 19.02.2020 – 1.90 mg/dm³, and in June 2020 – 1.32 mg/dm³. The minimum concentration was at the beginning of 2020 – 0.10–0.20 mg/dm³, and in September 2020 – about 0.15 mg/dm³. Average values fluctuated within the range of 0.40–0.80 mg/dm³. The maximum concentration of phosphate ions was in July 2020 – 0.58 mg/dm³. The minimum concentration was in May 2020 – about 0.10 mg/dm³, and in August 2020 – 0.15 mg/dm³. Average values were mostly in the range of 0.30–0.50 mg/dm³.

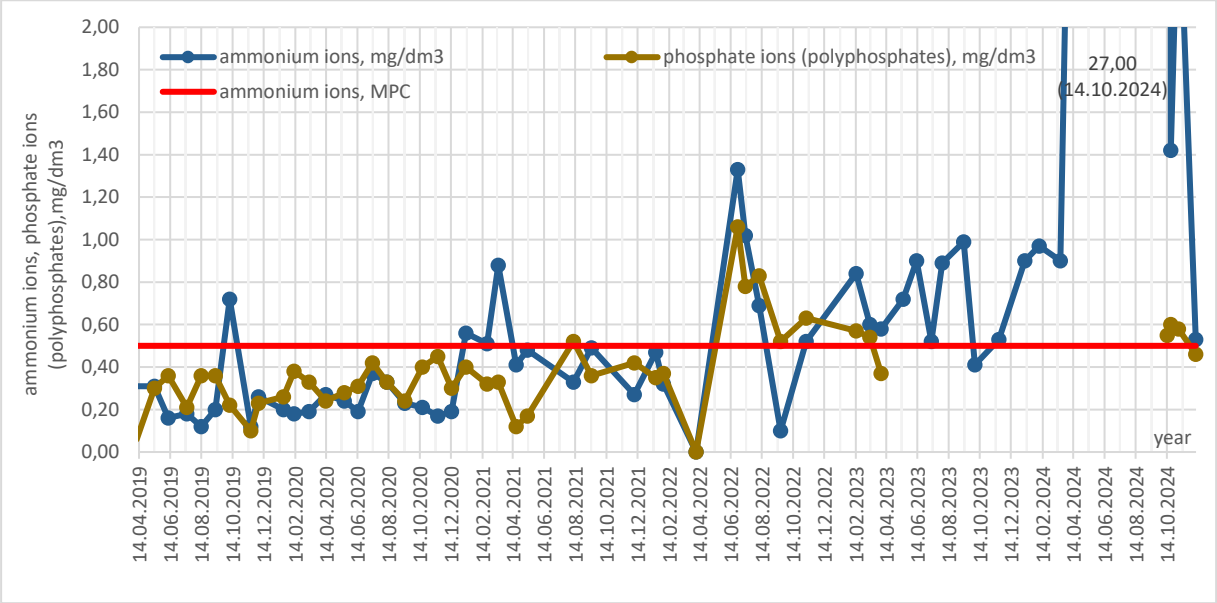


Fig. 11 – Dynamics of changes in indicators: ammonium ions and phosphate ions in 2019–2025

The period of June–July 2020 was characterized by a synchronous increase in the concentrations of both ions. In October 2020, there was a significant increase in ammonium ion concentration (up to 1.90 mg/dm³) with a simultaneous decrease in phosphate ion concentration (to 0.30 mg/dm³). At the end of the study period, the concentration of ammonium ions reached its maximum (2.00 mg/dm³), while the concentration of phosphate ions remained stable (0.50 mg/dm³).

Thus, throughout 2023–2024, there was almost constant exceedance of the MPC for ammonium ion content (0.5 mg/dm³), with the critical value reached on 14.10.2024 – 27 mg/dm³. These data indicate the presence of both traditional anthropogenic impacts, which were intensified by the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation on 26 August 2024. High ammonium ion content may result from the activities of livestock farms, the use of ammonium fertilizers, as well as industrial wastewater. These are sources of "traditional" anthropogenic impacts.

Comparison of ammonium ion content at the Brovary station (20 km) with the content upstream in the Desna River (Chernihiv, 200 km) indicates the presence of additional ammonium ion pollution.

The concentration of phosphate ions during this period remained relatively stable, although with some fluctuations. However, considering the acceptable values of BOD_5 and dissolved oxygen, there is reason to believe that the presence of phosphate ions and ammonium in the water did not stimulate eutrophication of surface waters.

Figure 12 presents data on the dynamics of changes in indicators: ammonium ions and phosphate ions during 2019–2025. The first peak was observed in March–April 2020, when nitrate ion concentration reached approximately 6.2 mg/dm³. The second significant peak occurred in April–May 2021 with values of about 6.0 mg/dm³. Another notable peak was recorded in April 2022, when the concentration reached nearly 6.0 mg/dm³. In September–October 2023, a smaller peak of about 3.5 mg/dm³ was

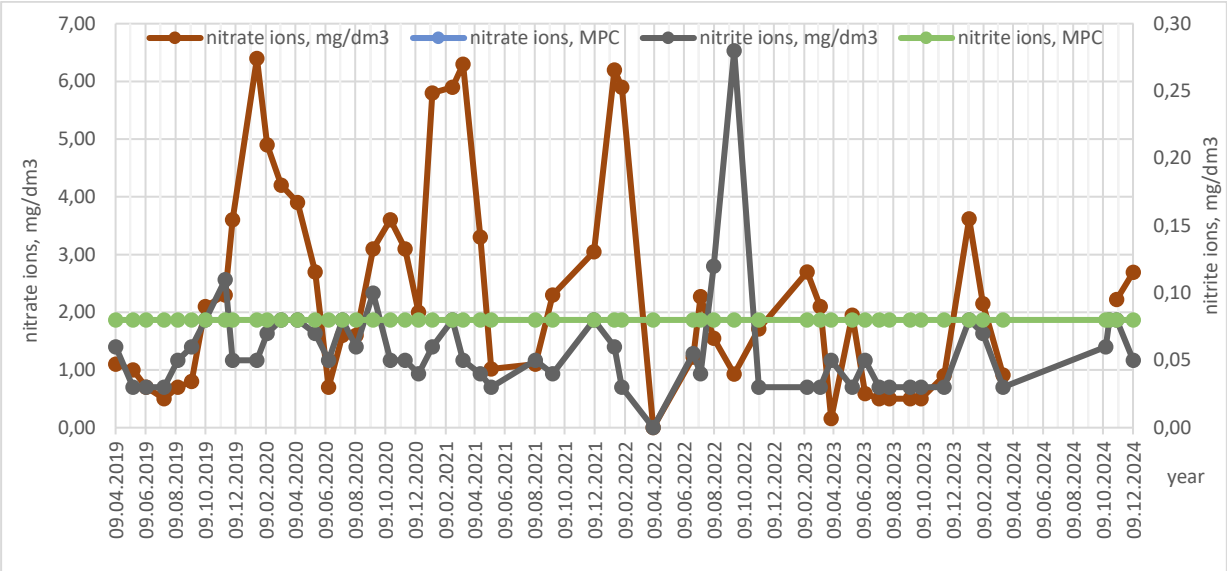


Fig. 12 – Dynamics of changes in indicators: nitrite ions and nitrate ions in 2019–2025

observed. At the beginning of 2024, there was also a noticeable rise to about 3.0 mg/dm³.As for nitrite ions, their concentration remained relatively stable throughout the entire period, fluctuating within 0.0800–0.1200 mg/dm³, with slight rises and drops. A particularly noticeable increase in nitrite ion concentration was recorded in May 2022, when the value reached approximately 0.1500 mg/dm³.

The maximum nitrate ion concentrations were recorded in the spring period (March–May) in almost every year of observation, which may be associated with seasonal factors such as snowmelt, increased precipitation, or agricultural activity.

In 2024 and early 2025, the dynamics of both nitrite and nitrate ions were unstable. Levels of both indicators experienced significant fluctuations but did not exceed the MPC.

The obtained results indicate that pollution of the Desna River from the territory of the Russian Federation on August 26, 2024, did not affect water quality in Brovary (20 km).

Similar studies were conducted for the Kyiv station, 3 km. The analysis covered the period from 2015 to 2025.

Figure 13 presents data on the dynamics of changes in indicators: biochemical oxygen demand (BOD_5) and dissolved oxygen (O_2) during 2015–2025.

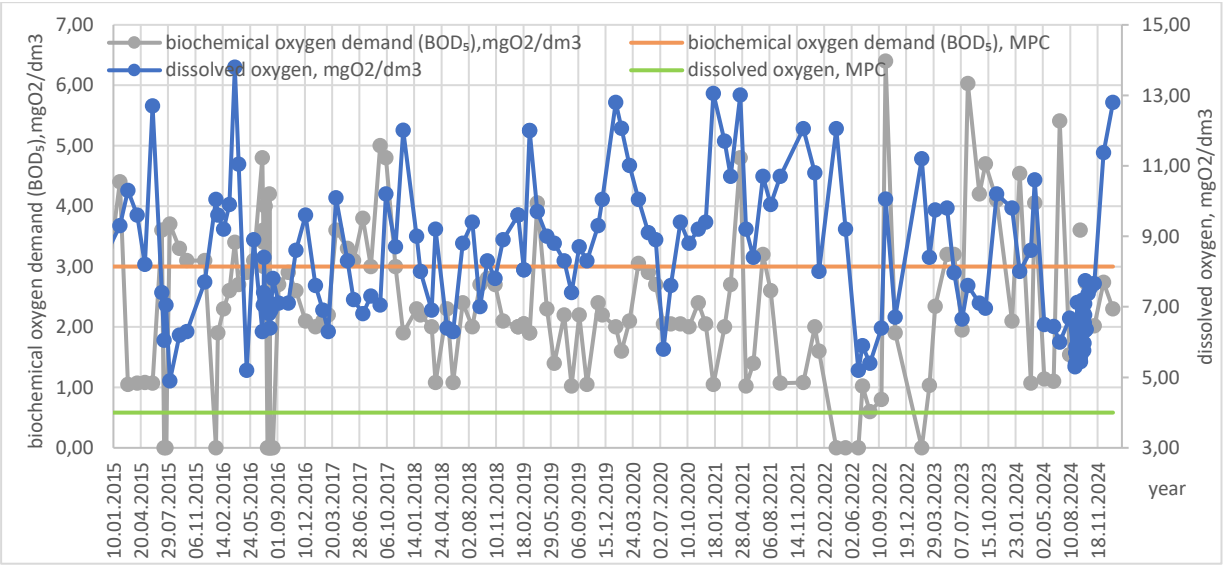


Fig. 13 – Dynamics of changes in indicators: biochemical oxygen demand (BOD_5) and dissolved oxygen (O_2) during 2015–2025

Significant fluctuations in the indicators began in November–December 2018, when a sharp decrease in BOD_5 was observed (from about 4 mgO_2/dm^3 to 1 mgO_2/dm^3), accompanied by a gradual increase in oxygen levels. In April–May 2019, there was a sharp rise in BOD_5 to a peak value of about 4.5 mgO_2/dm^3, with oxygen levels showing a downward trend. In September–October 2019, the most significant increase in BOD_5 was recorded, reaching the maximum value (about 5.2 mgO_2/dm^3), accompanied by a decrease in dissolved oxygen concentration. In February–March 2020, BOD_5 dropped sharply to its minimum level, while oxygen concentration remained relatively stable.

From May to July 2020, frequent fluctuations in dissolved oxygen concentration were observed, which may indicate instability in the ecological state of the water bodies during this period. From August 2020 to March 2021, there was a steady trend of increasing dissolved oxygen levels to the highest values for the entire period, while BOD_5 remained relatively low with minor fluctuations.

In 2024, there was significant instability in biochemical oxygen demand (BOD_5), with sharp peaks and drops. Dissolved oxygen levels tended to decline for most of 2024 but then began to rise at the beginning of 2025. The results indicate that pollution of the Desna River from the territory of the Russian Federation on August 26, 2024, did not affect water quality in Kyiv (3 km).

Studies were also conducted on the dynamics of changes in sulfate and chloride ion content. Figure 14 presents data on the dynamics of changes in indicators: sulfate ions and chloride ions in 2015–2025.

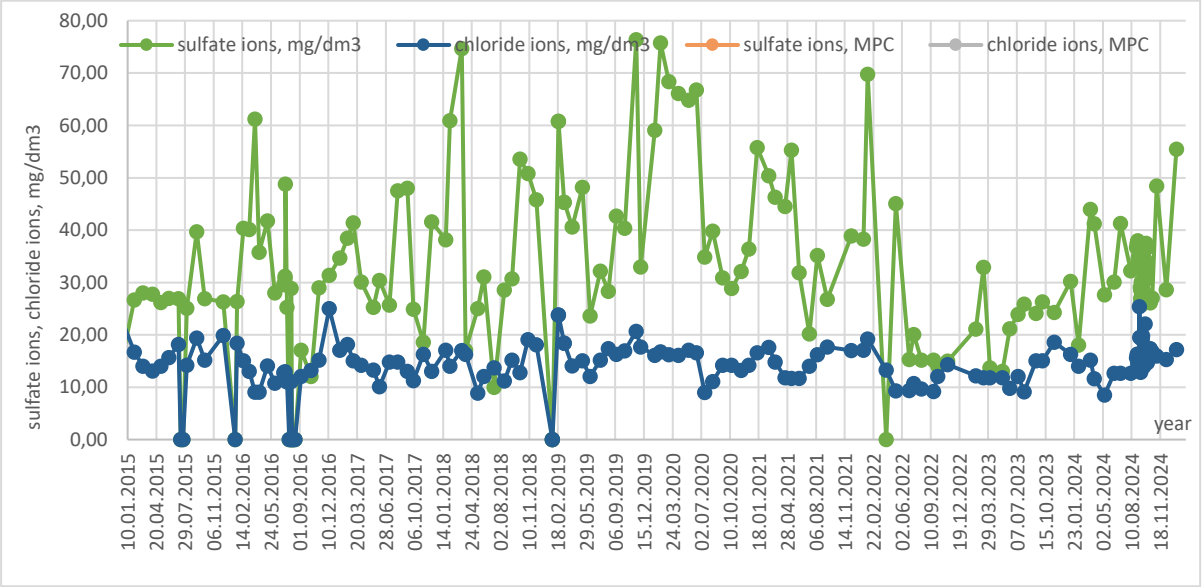


Fig. 14 – Dynamics of changes in indicators: sulfate ions and chloride ions in 2015–2025

Sulfate ions have higher concentrations (20–50 mg/dm³) compared to chloride ions (10–15 mg/dm³). Significant sulfate peaks occurred in March–April 2019 (45–47 mg/dm³), September–October 2021 (50 mg/dm³), and February–March 2023 (50 mg/dm³). Chloride ion concentration was mostly stable, except for short-term peaks up to 15–17 mg/dm³ in mid-2021. The lowest sulfate concentrations were recorded in the summer months of 2018, 2020, and 2022 (25–30 mg/dm³). There is seasonal variability in sulfate ions with a trend toward increasing levels in recent years, while chloride ion concentration remains relatively stable.

In 2024, the sulfate ion level tended to increase with some fluctuations. The chloride ion level remained relatively stable for most of 2024 but showed a sharp spike in autumn. At the beginning of 2025, the sulfate ion level continued to rise, while the chloride ion level decreased again after the spike. The results indicate that pollution of the Desna River from the territory of the Russian Federation on August 26, 2024, did not affect the level of sulfate and chloride ions in the water at Kyiv (3 km).

Studies were also conducted on the content of ammonium and phosphate ions in the water of the Desna River **(**Fig. 15**).**

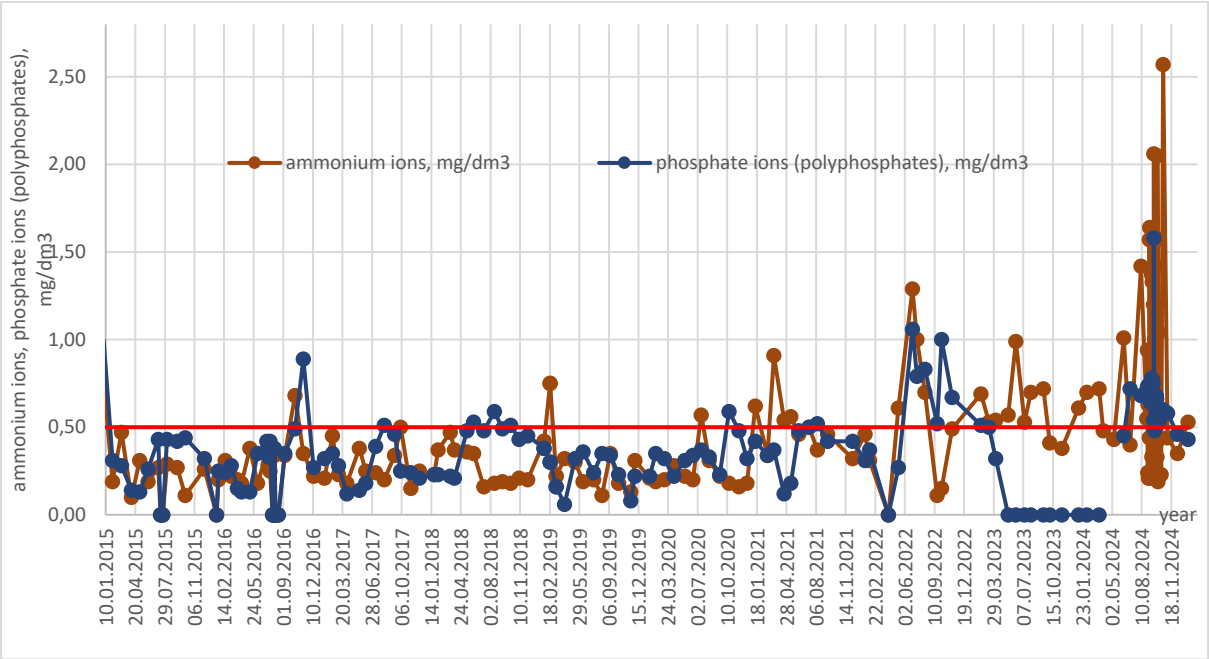


Fig. 15 – Dynamics of changes in indicators: ammonium ions and phosphate ions in 2015–2025

The concentration of ammonium ions mostly remained at around 0.5 mg/dm³ but showed significant peaks in January–February 2021 (up to 1.0 mg/dm³). The highest values were recorded in April–June 2021, with a maximum of about 2.5 mg/dm³ in May, which significantly exceeded the MPC. Phosphate ions showed moderate fluctuations, with a maximum of about 1.0 mg/dm³ in March–April 2021. After the summer peaks, ammonium ion concentration returned to its baseline level in the second half of 2021.

Sharp spring–summer fluctuations may have been caused by seasonal factors such as increased anthropogenic load, accidental discharges, or the impact of agricultural activity.

Figure 16 presents data on the dynamics of changes in indicators: ammonium ions and phosphate ions in 2024–2025. In 2024, the ammonium ion level was almost constantly above the MPC (0.5 mg/dm³). The critical value was reached on 20.10.2024. The obtained results indicate that after the pollution of the Desna River from the territory of the Russian Federation on

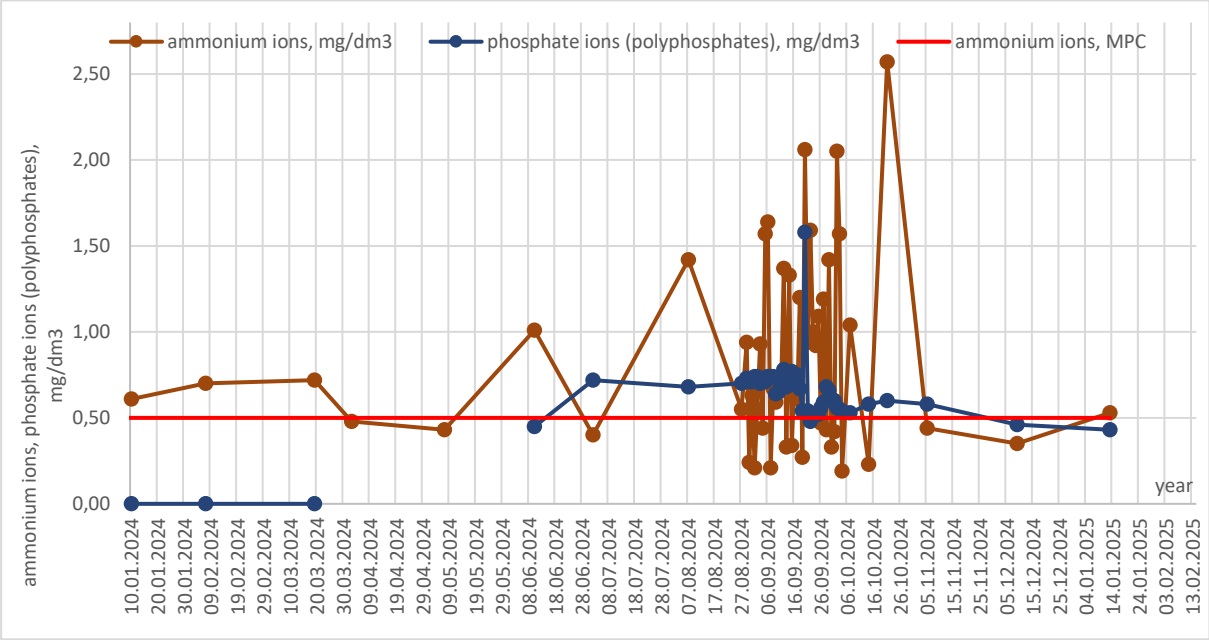


Fig. 16 – Dynamics of changes in indicators: ammonium ions and phosphate ions in 2024–2025

August 26, 2024, the ammonium ion content in the water increased in September and this continued until November 2024. Thus, the data show the presence of both traditional anthropogenic impacts, which were intensified by the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation on August 26, 2024.

Comparison of ammonium ion content at the Chernihiv station (200 km) and the Brovary station (20 km), located upstream on the Desna River, indicates the presence of additional ammonium ion pollution.

The concentration of phosphate ions during this period remained relatively stable, although with some fluctuations.

Comparison with the above values of BOD_5 and dissolved oxygen suggests that the content of phosphate ions and ammonium in the water was not as significant as at the Chernihiv station (200 km).

Studies were also carried out on nitrate and nitrite ion content (Fig. 17**).** Nitrate ion concentration shows significant fluctuations. The highest values were recorded in November–December 2020 at about 3.5–4.0 mg/dm³. A substantial decrease to 1.0–2.0 mg/dm³ occurred in January–February 2021, followed by relative stability at about 2.0 mg/dm³ in March–June 2021. There was a gradual decrease to minimum values (about 0.5–1.0 mg/dm³) in July–August 2021, then an increase in autumn 2021, returning to 2.5–3.0 mg/dm³ in November 2021.

Nitrite ion concentration remained stable at 2.0–3.0 mg/dm³ for most of the period, with a sharp peak in May 2021, reaching a maximum of about 4.5 mg/dm³. Both indicators display seasonal dependence: nitrate ions tend to decrease in summer and increase in winter, while nitrite ions have their highest concentrations in spring.

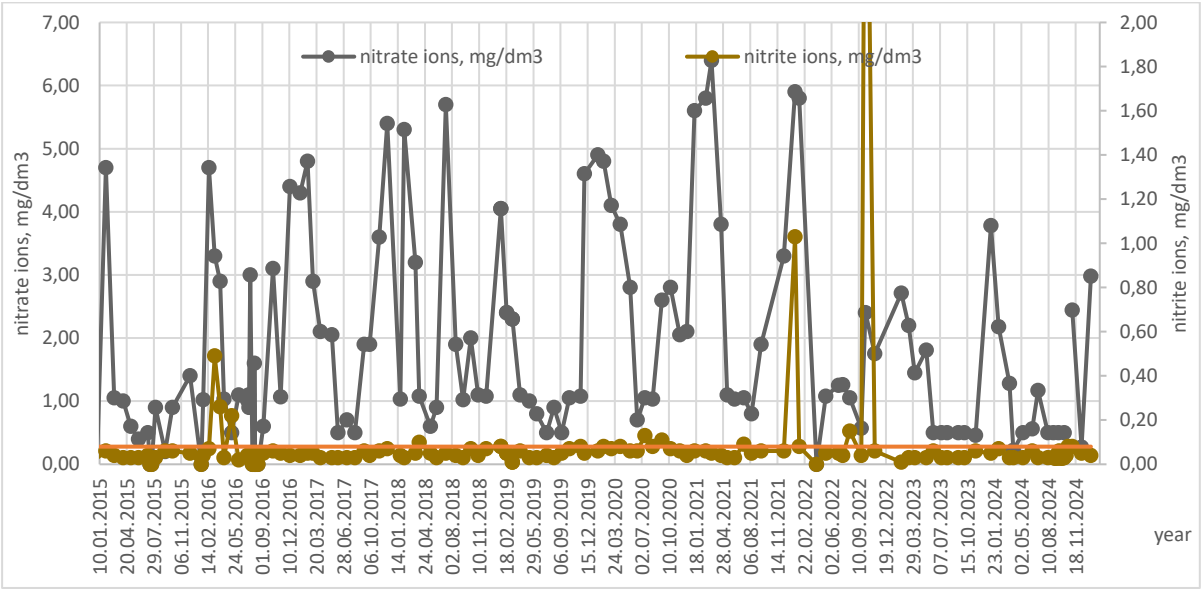


Fig. 17 – Dynamics of changes in indicators: nitrite ions and nitrate ions in 2015–2025

The most significant fluctuations for both parameters were observed in spring and early summer 2021.

Figure 18 presents data on the dynamics of changes in indicators: nitrite ions and nitrate ions in 2024–2025.

In 2024, nitrate ion levels fluctuated significantly but generally remained below the maximum permissible concentration (MPC). Nitrite ion levels also fluctuated, but for most of the year were close to zero, with several sharp but short-term increases exceeding the MPC. At the beginning of 2025, nitrate ion levels slightly decreased, while nitrite ion levels remained low.

Thus, for the Kyiv station (3 km), the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation into the Desna River after 26.08.2024 was not significant. There is reason to believe that BOD_5 and dissolved oxygen levels confirm this conclusion.

The analysis showed that nitrite ion pollution of the Desna River was observed only at the Chernihiv station (200 km) and was not significant at the Brovary station (20 km) or at the Kyiv station (3 km).

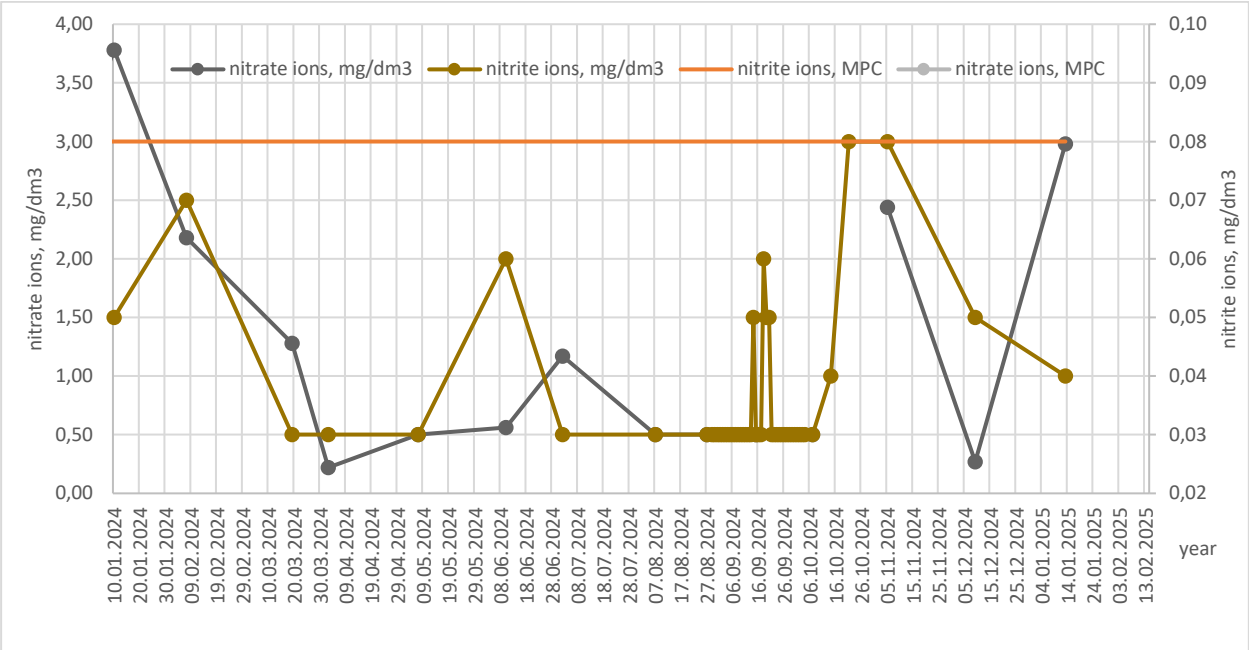


Fig. 18 – Dynamics of changes in indicators: nitrite ions and nitrate ions in 2024–2025

Conclusions

The analysis revealed that pollution of the surface waters of the Desna River from the territory of the Russian Federation was most significant in the city of Chernihiv. There was an increase in BOD_5 accompanied by a sharp decrease in dissolved oxygen levels, lasting until the end of September 2024. In addition, the MPC for BOD_5 (3 mgO_2/dm^3) was exceeded, and dissolved oxygen levels dropped below the critical MPC (4 mgO_2/dm^3). This indicates the entry of organic pollutants into the Desna River, which led to the intensification of their decomposition. After 21.09.2024, the situation improved, as evidenced by the decrease in BOD_5 levels and the increase in dissolved oxygen levels.

Unlike BOD_5 and dissolved oxygen, the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation did not cause significant changes in the content of sulfate and chloride ions in the water.

Regarding phosphate and ammonium ions, in 2024 – early 2025 their concentrations were unstable. At the beginning of the year, levels were low, but in September 2024 there was a sharp spike in both indicators, with ammonium ion concentration exceeding the MPC by 2.5 times. These trends can be considered a consequence of the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation. This supports the conclusion that the significant increase in BOD_5 accompanied by a sharp decrease in dissolved oxygen levels was due to contamination of the Desna River water with ammonium and phosphate ions.

Nitrate and nitrite concentrations fluctuated significantly, especially during the period of pollutant inflow from the territory of the Russian Federation. In September 2024, there was a sharp increase in nitrite ion content, with concentration exceeding the MPC of 0.08 mg/dm^3. The increase in nitrite ions was also associated with the observed rise in BOD_5 and the simultaneous decrease in dissolved oxygen levels.

Similar studies for the Brovary station (20 km) showed that the inflow of pollutants from the territory of the Russian Federation after 26.08.2024 did not affect BOD_5 or dissolved oxygen levels. A comparison of ammonium ion levels at Brovary with those at Chernihiv indicates additional ammonium ion pollution. Phosphate ion concentration remained relatively stable, with some fluctuations. These results indicate that the pollution incident on 26 August 2024 did not affect water quality in Brovary (20 km).

At the Kyiv station (3 km), BOD_5 and dissolved oxygen levels also indicated no impact from the 26.08.2024 pollution event. Comparison of ammonium ion levels at Chernihiv (200 km) and Brovary (20 km) with those upstream confirmed additional ammonium ion pollution,

but phosphate ion concentration remained relatively stable. Therefore, pollutant inflow after 26.08.2024 was not significant for the Kyiv station (3 km).

Overall, the Desna River near Chernihiv (Chernihiv station, 200 km) experienced the greatest anthropogenic impact. Deterioration in water quality was recorded for all analyzed parameters. The situation was better at the other two stations. Nitrite ion pollution of the Desna was observed only at Chernihiv and was not significant at Brovary or Kyiv. Since BOD_5 and dissolved oxygen levels normalized at the end of September, there is reason to believe that self-purification of the surface waters in the river occurred.

Conflict of Interest

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

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work.

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Khrystyuk, B., Gorbachova, L., & Koshkina, O. (2017). The impact of climatic conditions of spring flood formation on hydrograph shape of the Desna River. *Meteorology Hydrology and Water Management, 5*(1), 63-70. https://doi.org/10.26491/mhwm/67914
2. Ristea, E., Pârvulescu, O. C., Lavric V. & Oros, A. (2025). Assessment of heavy metal contamination of seawater and sediments along the Romanian Black Sea coast: spatial distribution and environmental implications. *Sustainability, 17*(6), 2586. https://doi.org/10.3390/su17062586
3. Trach, Y., Trach, R., Kuznietsov, P., Pryshchepa, A., Biedunkova, O., Kiersnowska, A., & Statnyk, I. (2024). Predicting the influence of ammonium toxicity levels in water using fuzzy logic and ANN models. *Sustainability,16*(14), 5835. https://doi.org/10.3390/su16145835
4. Kuznietsov, P., Biedunkova, O., & Trach, Y. (2023). Monitoring of phosphorus compounds in the influence zone affected by nuclear power plant water discharge in the Styr River (Western Ukraine): case study. *Sustainability,15*(23), 16316. https://doi.org/10.3390/su152316316
5. Surface Water Resources. (n.d.). Desna Basin Water Resources Administration. Retrieved from https://desna-buvr.gov.ua/diialnist/upravlinnya-vodnymy-resursamy/poverhnevi-vodni-resursy/ (in Ukrainian)
6. Shakirzanova, Zh.R., Perevozchikov, I.M., & Shevchenko, O.P. (2023). Application of the Method of Territorial Long-Term Forecasts to Determine Maximum Water Discharges During the Formation of the Spring Flood of 2022–2023 in the Desna River Basin. *Ukrainian Hydrometeorological Journal, 31*, 5–21. https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.01 (in Ukrainian)
7. Luzovytska, Yu.A., Osadcha, N.M., & Artemenko, V.A. (2016). Determination of Factors Influencing the Formation of the Biogenic Composition of the Desna River Using Total and Differential Integral Curves. *Scientific Works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute*, (269), 86–93. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npundgi_2016_269_11 (in Ukrainian)
8. Kovalenko, S.A. (2024). Mathematical Model for Predicting Changes in the Ecological State of Surface Water Bodies Considering the Influence of Upstream Tributaries. *Technogenic and Environmental Safety*, 2. https://doi.org/10.52363/2522-1892.2024.2.7 (in Ukrainian)
9. Kovalenko, S.A., Ponomarenko, R.V., Tretyakov, O.V., & Ivanov, Ye.V. (2023). Analysis of Known Methods for Determining the Water Quality Index Suitable for Predicting the Ecological State of Surface Water Bodies. *Technogenic and Environmental Safety*, 13(1/2023), 68–74. https://doi.org/10.52363/2522-1892.2023.1.9 (in Ukrainian)
10. Kovalenko, S.A. (2023). Influence of Groundwater Exchange Between Tributaries on the Ecological Quality of Surface Water Bodies. *Technogenic and Environmental Safety*, 14(2/2023), 98–103. https://doi.org/10.52363/2522-1892.2023.2.10 (in Ukrainian)
11. Morozova, A.O. (2020). Ecological Characteristics of the Southern Bug River and the Oleksandrivske Reservoir Based on Hydrochemical Indicators. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology, 1*(56), 55–63. https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.6 (in Ukrainian)
12. Kovalenko, S.A., & Ponomarenko, R.V. (2024). Influence of Groundwater on the Water Quality of Surface Water Bodies. Problems and Prospects of Civil Protection: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists (Kharkiv, April 25–26, 2024), 7. Kharkiv: National University of Civil Protection of Ukraine. (in Ukrainian)
13. Horoshkova, L., Mevshov, O., Maslov, D., & Horoshkov, S. (2025). Environmental assessment of the war impact on the surface waters of the Dnipro River in the Zaporizhzhia city. European Association of Geoscientists & Engineers. XVIII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». European Association of Geoscientists & Engineers. (Vol. 2025, pp.1 – 5.). Retrieved from https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2025/04/Mon25-052.pdf

14. Bezsonnyi, V., Tretyakov, O., Khalmuradov, B., & Ponomarenko, R. (2017). Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. *5*(10). 32-38. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109477
15. Bezsonnyi, V., & Nekos, A. (2022). Modeling of the oxygen regime of the Chervonooskilsky reservoir. Proceedings of the 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Monitoring 2022), Kyiv, Ukraine, 15–18 November 2022. https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580216
16. Bezsonnyi, V. (2022). Selection of indicative indicators of ecological condition of surface source of water supply. *Municipal Economy of Cities (Technical Science), 3*(170), 26–34. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-3-170-26-34.
17. Horoshkova, L., Zaitsev, V., Ryshykov, I., & Shovkoplias, T. (2025). Environmental impacts of dredging operations on the condition of surface waters of the Danube River. *Proceedings of the XVIII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment».* (April 2025, pp.1-5). Retrieved from https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2025/04/Mon25-189.pdf
18. Ponomarenko, R.V., Pliatsuk, L.D., Tretyakov, O.V., & Kovaliov, P.A. (2019). Determination of the ecological state of Ukraine's main water supply source. *Technogenic and Ecological Safety*, 2019, No. 6(2/2019), pp. 69–77. Retrieved from http://jteb.nuczu.edu.ua/en/2-text/122-determination-of-the-ecological-state-of-the-main-source-of-water-supply-of-ukraine
19. Trokhymenko, G., Magas, N., Gomelya, N., Trus, I., & Koliehova, A. (2020). Study of the process of electro evolution of copper ions from waste regeneration solutions. *Journal of Ecological Engineering*, 21(2), 29–38. https://doi.org/10.12911/22998993/116351
20. Operational information on pollution of the Seim River. (2019). State Agency of Water Resources of Ukraine. Retrieved from https://davr.gov.ua/news/uvaga-operativna-informaciya-tshodo-zabrudnennya-richki-sejm (in Ukrainian)

Submission received:23.07.2025 / Revised: 28.10.2025 / Accepted: 21.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

Л. А. ГОРОШКОВА[1], д-р екон. наук, проф.,
Професор кафедри екології
e-mail: goroshkova69@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7142-4308
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

О. І. МЕНШОВ, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,
Кафедра геоінформатики
e-mail: menshov@knu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7280-8453
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирівська. 60, Київ, 01033, Україна

Ю. Д. КОРНІЙЧУК,
Магістр
e-mail: yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0742-3213
[1]*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*
вул. Володимирівська. 60, Київ, 01033, Україна
[2]*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,*
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

А. О. СОЛОВЙОВА,
Бакалавр
e-mail: a.soloviova@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-8802-7477
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ ВІЙНИ НА СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ ДЕСНА

Мета. Надати комплексну екологічну оцінку стану поверхневих вод річки Десна з метою визначення основних антропогенних факторів впливу, зокрема наслідків війни.

Методи. Системний аналіз, методи статистичної обробки, аналіз динаміки у ретроспективі та прогнозування майбутніх тенденцій.

Результати. Проведений аналіз багаторічних даних Лабораторії моніторингу вод Деснянського БУВР для постів: Чернігів, Бровари, та Київ для показників: біохімічне споживання кисню за 5 діб (BSK5) та кисень розчинений, фосфат-іони та амоній-іони, нітрит-іони та нітрат-іони, сульфат-іони та хлорид-іони. Окрема увага приділена аналізу забруднення поверхневих вод р. Десна з території РФ. Встановлено, що найбільш відчутним забруднення у 2024 році було у м. Чернігів, де зафіксоване зростання рівня $БСК_5$ з перевищенням ГДК з одночасним різким зменшенням рівня розчиненого кисню. Це свідчить про потрапляння органічних забруднень у води річки Десна, що призвело до активізації їх розкладання. Після 21.09.2024 року ситуація покращилась, про що свідчить зниження рівня БСК5 та підвищення рівня розчиненого кисню. Доведено, що це стало результатом потрапляння у річку фосфат- та амоніт-іонів, а також нітрит-іонів. Аналогічні дослідження проведені для поста Бровари та Київ. Встановлено, що потрапляння забруднюючих речовин з території РФ в річку Десна після 26.08.2024 р. не позначилось на величині показників БСК5 та рівня розчиненого кисню.

Висновки. Визначено органічне й мінеральне забруднення, порушення гідрологічного режиму та зниження рівня кисню. Встановлено, що найбільшого антропогенного впливу у 2024 році зазнала річка Десна біля м. Чернігова. Погіршення показників щодо якості води зафіксовано за всіма проаналізованими показниками. Внаслідок того, що в кінці вересня нормалізувались показники щодо $БСК_5$ та розчиненого кисню, є підстави вважати що відбулось самоочищення поверхневих вод у річці.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *річка Десна, поверхневі води, екологічний моніторинг, фосфати, амоній, сульфати, хлориди, розчинений кисень, $БСК_5$, нітрати, нітрити, антропогенний вплив, наслідки війни*

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису. Крім того, автори повністю дотримувалися етичних норм, включаючи уникнення плагіату, фальсифікації даних та дублювання публікацій.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Khrystyuk B., Gorbachova L., Koshkina O. (2017). The impact of climatic conditions of spring flood formation on hydrograph shape of the Desna River. *Meteorology Hydrology and Water Management.* Vol. 5. Issue 1. P. 63-70. https://doi.org/10.26491/mhwm/67914
2. Ristea E., Pârvulescu O. C., Lavric V. Oros A. Assessment of heavy metal contamination of seawater and sediments along the Romanian Black Sea coast: spatial distribution and environmental implications. *Sustainability.* 2025. Vol. 17. No 6. 2586. https://doi.org/10.3390/su17062586
3. Trach Y., Trach R., Kuznietsov P., Pryshchepa A., Biedunkova O., Kiersnowska A., Statnyk I. Predicting the influence of ammonium toxicity levels in water using fuzzy logic and ANN models. *Sustainability*, 2024. Vol. 16. No14. 5835. https://doi.org/10.3390/su16145835
4. Kuznietsov P., Biedunkova O., Trach Y. Monitoring of phosphorus compounds in the influence zone affected by nuclear power plant water discharge in the Styr River (Western Ukraine): case study. *Sustainability,* 2023. Vol. 15. No 23. 16316. https://doi.org/10.3390/su152316316
5. Поверхневі водні ресурси. (б/д). Деснянське басейнове управління водних ресурсів. URL: https://desna-buvr.gov.ua/diialnist/upravlinnya-vodnymy-resursamy/poverhnevi-vodni-resursy/
6. Шакірзанова Ж.Р., Перевозчиков І.М., Шевченко О.П. (2023). Застосування методу територіальних довгострокових прогнозів для визначення максимальних витрат води в умовах формування весняного водопілля 2022–2023 року в басейні р. Десна. *Український гідрометеорологічний журнал*, 31, 5–21. https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.01
7. Лузовіцька Ю.А., Осадча Н.М., Артеменко В.А. (2016). Визначення чинників формування біогенного складу річки Десни за допомогою сумарних та різницевих інтегральних кривих. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*, (269), 86–93. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npundgi_2016_269_11
8. Коваленко С.А. (2024). Математична модель прогнозування зміни екологічного стану поверхневих водних об'єктів з урахуванням впливу вищерозташованих притоків. *Техногенно-екологічна безпека*, 2(2024). https://doi.org/10.52363/2522-1892.2024.2.7
9. Коваленко С.А., Пономаренко Р.В., Третьяков О.В., Іванов Є.В. (2023). Аналіз відомих методик визначення індексу якості води, що придатні для прогнозування екологічного стану поверхневих водних об'єктів. *Техногенно-екологічна безпека*, 13(1/2023), 68–74. https://doi.org/10.52363/2522-1892.2023.1.9
10. Коваленко С.А. (2023). Вплив обміну ґрунтовими водами між притоками на екологічну якість вод поверхневих водних об'єктів. *Техногенно-екологічна безпека*, 14(2/2023), 98–103. https://doi.org/10.52363/2522-1892.2023.2.10

11. Морозова А.О. (2020) Екологічна характеристика р. Південний Буг та Олександрівського водосховища за гідрохімічними показниками. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. №1(56). С. 55-63. https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.6
12. Коваленко С.А., Пономаренко Р.В. (2024). Вплив ґрунтових вод на якість води поверхневих водних об'єктів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (Харків, 25–26 квітня 2024 р.), 7. Харків: НУЦЗ України.
13. Horoshkova L., Menshov O., Maslov D., Horoshkov S. (2025). Environmental assessment of the war impact on the surface waters of the Dnipro River in the Zaporizhzhia city. *Proceedings of the XVIII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment».* European Association of Geoscientists & Engineers.Vol. 2025,1-5. URL: https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2025/04/Mon25-052.pdf
14. Bezsonnyi V., Tretyakov O., Khalmuradov B., Ponomarenko R. (2017). Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. *5*. N (10(89)). P. 32-38. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109477
15. Bezsonnyi, V., & Nekos, A. (2022). Modeling of the oxygen regime of the Chervonooskilsky reservoir. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Monitoring 2022), Kyiv, Ukraine, 15–18 November 2022. https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580216
16. Bezsonnyi, V. (2022). Selection of indicative indicators of ecological condition of surface source of water supply. Municipal Economy of Cities (Technical Science), 3(170), 26–34. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-3-170-26-34.
17. Horoshkova L., Zaitsev V., Ryshykov I., Shovkoplias T. Environmental impacts of dredging operations on the condition of surface waters of the Danube River. European Association of Geoscientists & Engineers. XVIII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». April 2025, Vol. 2025, p.1 – 5. URL: https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2025/04/Mon25-189.pdf
18. Ponomarenko R.V., Pliatsuk L.D., Tretyakov O.V., Kovaliov P.A. (2019). Determination of the ecological state of Ukraine's main water supply source. *Technogenic and Ecological Safety*, 2019, No. 6(2/2019), pp. 69–77. URL: http://jteb.nuczu.edu.ua/en/2-text/122-determination-of-the-ecological-state-of-the-main-source-of-water-supply-of-ukraine
19. Trokhymenko, G., Magas, N., Gomelya, N., Trus, I., & Koliehova, A. (2020). Study of the process of electro evolution of copper ions from waste regeneration solutions. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 21. No 2. P. 29–38. https://doi.org/10.12911/22998993/116351
20. Оперативна інформація щодо забруднення річки Сейм. Державне агентство водних ресурсів України. 2019. https://davr.gov.ua/news/uvaga-operativna-informaciya-tshodo-zabrudnennya-richki-sejm

Отримано: 23.07.2025 / Переглянуто: 28.10.2025 / Прийнято: 21.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-07
УДК(UDC): 504.4.54

С. М. ЮРАСОВ[1], канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри екології та охорони довкілля
e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4312-249X

В. В. ТЕРЗЕМАН[1],
аспірант кафедри екології та охорони довкілля
e-mail: mikkymailz@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-2298-1003
[1]*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова*
вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ВОДНОЇ РАМКОВОЇ ДИРЕКТИВИ ПРИ НОРМУВАННІ СКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ІЗ СТІЧНИМИ ВОДАМИ

Мета. Розробка науково обґрунтованих пропозицій щодо врахування умов Водної рамкової директиви Європейського Союзу і планів управління річковими басейнами при розрахунку гранично допустимих скидів забруднювальних речовин із стічними водами за вітчизняними методиками.

Методи. Статистичні, а також методи математичного моделювання та прогнозування.

Результати. Згідно з положеннями Водної рамкової директиви і на початковому етапі планів управління річковими басейнами якість вод у водному об'єкті за певний минулий період вважається такою, що відповідає вимогам норм ЄС, якщо імовірність перевищення (забезпеченість) нормативів за кожним показником не перевищує заданого обмеження *F*. Виходячи з цього, запропоновано здійснювати нормування, а також пов'язані з ним оцінку та прогнозування якості поверхневих вод за показниками із забезпеченістю *F*. Такий підхід забезпечує узгодження вітчизняних методик згаданих розрахунків з вимогами законодавства ЄС. Запропоновані положення перевірені на прикладі аналізу часової мінливості показників якості вод річок Дунай (за даними спостережень протягом 2015–2024 рр.) і Дністер (за даними ретроспективних спостережень 2001–2017 рр.). Показано, що при використанні середніх значень показників часто не виконуються вимоги Водної рамкової директиви і планів управління річковими басейнами оскільки забезпеченість цих значень може суттєво перевищувати встановлені обмеження по частоті перевищень ГДК. Для поступового досягнення «доброго стану» масивів поверхневих вод при нормуванні скидів забруднювальних речовин із стічними водами в якості розрахункових (фонових) доцільно використовувати значення показників із забезпеченістю 10%, 5% і 2,5%. При цьому за наявністю часових трендів показників необхідно виконувати прогнозування їх значень для забезпечення вимог Водної рамкової директиви особливо при позитивних трендах.

Висновки. За вимогами Водної рамкової директиви і планів управління річковими басейнами для поступового досягнення доброго стану масивів поверхневих вод на початковому етапі значення *F* доцільно приймати рівними 10%, 5% і 2,5%. Нормування скидів забруднювальних речовин доцільно здійснювати з урахуванням часових трендів показників, оскільки ігнорування позитивного тренду призводить до завищення розрахункових значень, що є неприпустимим, тоді як наявність негативного тренду, навпаки, зумовлює їх заниження, що є прийнятним з позицій охорони довкілля.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *оцінка якості вод, гранично допустимий скид, фонова характеристика, директиви ЄС, прогноз якості вод*

Як цитувати: Юрасов С. М., Терземан В. В. Забезпечення вимог Водної рамкової директиви при нормуванні скидів забруднюючих речовин із стічними водами. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 94-107. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-07

In cites: Yurasov, S. M., & Terzeman, V. V. (2025). Ensuring compliance with the Water Framework Directive when regulating pollutant discharges into wastewater. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (44), 94-107. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-07 (in Ukrainian)

Вступ

На даний час актуальним питанням в області охорони довкілля є оцінка якості води. Ця процедура є ключовою при розв'язанні широкого кола екологічних проблем, зокрема під

© Юрасов С. М., Терземан В. В., 2025

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

час регулювання скидів забруднюючих речовин із стічними водами, оскільки в процесі розрахунку гранично допустимих скидів (ГДС) оцінюється не лише якість фонового стану водотоку або водойми, але й якість вод у контрольному створі відповідного скиду. В контексті перевірки дотримання вимог норм Європейського Союзу в перспективному періоді оцінювання якості води тісно пов'язане з її прогнозуванням, що передбачає врахування часової мінливості показників якості води.

Сучасна водна політика ЄС базується на Водній Рамковій Директиві (*Directive* 2000/60/*EC*) [1]. Вона (як й інші директиви) є обов'язковою щодо кінцевого результату: «*добрий екологічний і хімічний стани*» усіх масивів поверхневих вод (МПВ) країн співтовариства. Шляхи (форми та методи) досягнення зазначеного результату країни ЄС обирають самі та впроваджують їх у національне законодавство. Досягнення кінцевого результату поступове і складається з декількох шестирічних етапів (циклів). Країни, що не досягли доброго стану МПВ у 2015 році з природних, технічних та економічних причин, застосовують відстрочку і встановлюють інші цільові строки (стаття 4.4 *Directive* 2000/60/*EC*).

Directive 2000/60/*EC* (ВРД) замінила прийняті раніше директиви 75/440/ЄС [2], 76/160/ЄЕС [3], 78/659/ЄЕС [4], але у п. 1.4 Додатку ІІ ВРД [1] зазначено, що (цитата) «*Member States shall collect and maintain information on the type and magnitude of the significant anthropogenic pressures to which the surface water bodies in each river basin district are liable to be subject, in particular the following*.

... based, inter alia, on information gathered under:*…*

… and for the purposes of the initial river basin management plan:*…*

(*iv*) *Directives* 75/440/*EC*, 76/160/*EEC*, 78/659/*EEC*…» (кінець цитати).

Тобто, згідно п. 1.4 Додатку ІІ ВРД [1] для досягнення доброго екологічного та хімічного станів МПВ країни ЄС повинні збирати та зберігати інформацію про *тип і масштаб* суттєвих антропогенних навантажень на поверхневі водні об'єкти від зосереджених і дифузних джерел впливу на ***початковому етапі* (*циклі*)** управління річковим басейном відповідно деяких директив, прийнятих раніше, у тому числі й *Directives* 75/440/*EC*, 76/160/*EEC*, 78/659/*EEC*.

Згадане положення є логічним, оскільки, на *початковому етапі* досягнення доброго стану МПВ доцільно збирати та використовувати зібрану інформацію про стан МПВ, враховуючи прийняти раніше нормативні документи. Таким чином, відповідно до ВРД й *Directives* 75/440/*EC*, 76/160/*EEC*, 78/659/*EEC* [2–4], серед іншого, існувала та збиралася інформація про оцінювання якості води на основі аналізу частоти перевищень встановлених нормативів за окремими показниками. Ця інформація мала бути врахована також у контрольних створах (КС) під час розрахунку ГДС забруднювальних речовин із стічними водами.

Крім того, при досягненні доброго стану МПВ відповідно з розділом 1.3.4 Додатку V до ВРД для забезпечення приємного рівня достовірності та точності відповідності показників якості води їх нормативам (*MAC-EQS*) країни ЄС *можуть вводити статистичні методи* згідно процедури у статті 9(2) *Directive* 2008/105/*EC* [5]. У директивах пропонується використання процентілів, які по суті рівнозначні таким характеристикам розподілу випадкової величини, як перцентиль та забезпеченість деякого її значення.

Статистичні методи зручні коли йдеться про обмеження кількості перевищень нормативів (*H*) за показниками якості води, а також про умову відсутності таких перевищень. Це жорстке обмеження вимагає ВРД на завершальних етапах досягнення доброго стану МПВ. Оскільки, теоретично завжди існує ймовірність (ризик) перевищення *H*, то в якості обмеження *F* доцільно прийняти верхню (праву) межу 95% довірчого інтервалу (правило «двох сигм»), який широко використовується в практиці інженерних розрахунків, як імовірнісна характеристика діапазону значень випадкової величини. Цією межею є значення випадкової величини забезпеченістю 2,5% (або процентіль 97,5%).

Намір України інтегруватися до Європейського Союзу зумовлює необхідність гармонізації національного законодавства, зокрема у сфері охорони навколишнього природного середовища, із законодавством ЄС.

В Україні вже зроблені кроки впровадження основних положень ВРД: розроблені плани управління річковими басейнами (ПУРБ) на *початковий період* 2025–2030 р.р., зокрема, Дунаю (трьох суббасейнів: Нижнього Дунаю; Пруту та Серету; Тиси), річок Причорномор'я, Дністра та інш. У цих планах «***на першому етапі до* 2030 *року***» прийняти шляхи вживання заходів щодо «*збереження доброго стану МПВ, де він існує сьогодні, та покращення стану до*

доброго для 5% *МПВ*», а також «*досягнення доброго стану всіх МПВ до* 2042 *року*» (на другому і третьому шестирічних етапах). Тобто, закінчення *першого етапу* поступового досягнення доброго стану МПВ для України заплановано на 2030 рік.

Таким чином, використання в Україні деяких директив, прийнятих раніше (у тому числі: *Directives* 75/440/*EC*, 76/160/*EEC*, 78/659/*EE*) до 2030 року не суперечить вимогам ВРД. У такому разі, на першому етапі досягнення доброго стану МПВ зниження антропогенного навантаження (нормування скидів ЗР із стічними водами) повинно бути теж поступовим, починаючи з втілення в життя менш жорстких умов (наприклад, F = 10, 5, 2,5%).

Аналіз наукових публікацій останніх років свідчить про відсутність досліджень з використання статистичних методів, спрямованих на вдосконалення національних методик нормування якості вод відповідно до вимог ВРД і ПУРБ. Зокрема, у працях [6–8] розглянуто питання відповідності українського правового регулювання скидів ЗР європейському, однак не приділено уваги технічним аспектам; у джерелі [9] проаналізовано підходи до оцінювання якості вод із використанням комплексних індексів у країнах ЄС; у роботах [10–12] досліджено вплив скидів ЗР із стічними водами на стан довкілля; у [13] розглянуто питання екологічного нормування якості вод; а у [14] досліджується скид із стічними водами ЗР з ефектом сумарної дії та виконується пошук оптимального рішення на основі цільової функції, що враховує експлуатаційні та капітальні затрати на очищення.

У зв'язку з наведеним, *метою* даного дослідження є розробка науково обґрунтованих пропозицій щодо поступового зниження антропогенного навантаження на МПВ в частині нормування скидів ЗР із стічними водами згідно ВРД і *початкового етапу* вітчизняного ПУРБ.

Завдання дослідження: аналіз часової мінливості показників якості вод, визначення параметрів часових трендів показників і параметрів законів їх розподілу; розрахунок значень показників з заданою забезпеченістю, внесення пропозицій щодо удосконалення вітчизняних методик оцінки якості вод і нормування скидів забруднюючих речовин відповідно вимог норм країн ЄС; виконання прикладів розрахунків.

Наукова новизна дослідження полягає в пропозиції використання значень показників якості води з заданою забезпеченістю як фонових при нормуванні скидів забруднюючих речовин із стічними водами.

Матеріали та методи дослідження

Оцінка якості вод. Оцінювання якості води згідно директив ЄС здійснюється методом детального аналізу. Сутність цього методу полягає у порівнянні фактичних значень кожного показника якості води із відповідним нормативним значенням. Показники якості води можуть бути розмірними або безрозмірними. До розмірних належать, зокрема, концентрації окремих речовин, таких як нітрит-іони (NO_2^-), фосфат-іони (PO_4^{3-}), іони марганцю (Mn^{2+}) тощо, що виражаються у міліграмах на дециметр кубічний (мг/дм³). Безрозмірними є співвідношення концентрацій іонів у еквівалентах, наприклад, натрію (rNa^+) і магнію (rMg^{2+}) з кальцієм (rCa^{2+}), які позначаються коефіцієнтами k_{Na} і k_{Mg} та використовуються для характеристики здатності іригаційних вод спричиняти натрієве чи магнієве осолонцювання ґрунтів [15–17]. Крім того, показник ψ, який визначається як сума відношень значень показників із однаковою лімітуючою ознакою шкідливості (ЛОШ) до їх нормативів, застосовується для кількісної оцінки вмісту речовин, що мають ефект сумарної дії [18].

Умови відповідності вимогам норм мають вигляд [19]:

$$C_i \le \mathrm{H}_i. \qquad (1)$$

$$\psi = \Sigma\,(C_i/H_i) \le 1. \qquad (2)$$

де C_i – значення i-ого показника (концентрація речовини); H_i – норматив i-ого показника.

Згадані іригаційні вимоги наступні:

$$k_{Na} = rNa^+/rCa^{2+} \le 1{,}0; \qquad (3)$$

$$k_{Mg} = rMg^{2+}/(rCa^{2+} + rMg^{2+}) \le 0{,}50 \qquad (4)$$

або

$$k_{Mg} = rMg^{2+}/rCa^{2+} \le 1{,}0. \qquad (5)$$

Вимога (4), запропонована *Szabolch I.* та *Darab K.* [17], набула широкого практичного застосування, однак легко може бути трансформована у вираз (5). На думку авторів даного дослідження, саме формула (5) є більш зручною для використання та інтерпретації, оскільки вона відображає очевидне

співвідношення: у складі іригаційних вод концентрація іонів магнію, виражена в еквівалентах, не повинна перевищувати концентрацію іонів кальцію.

Оцінювання якості води за певний ретроспективний період на *першому етапі* досягнення доброго стану МПВ відповідно до ВРД і директив [2–4] здійснюється шляхом визначення кількості випадків перевищення нормативів (*H*) для кожного показника. При використанні статистичних методів дослідження говорять про імовірність перевищення (забезпеченість) *H*. Якість води вважається такою, що відповідає нормам, якщо забезпеченість *H* не більше встановленого обмеження *F* за аналізований період.

Обмеження *F* може набувати значення 10% (за санітарними нормами) або 5% (за рибогосподарськими) [2–4]. Якщо використовується умова не перевищення *H*, то *F* доцільно прийняти 2,5% (див. вище). Ця умова може бути ще більш жорсткою – 0,15%, орієнтуючись на правило не двох, а «трьох сигм». Оцінювання якості води відповідно до вимог ЄС може бути виконано за умови використання значень показників із забезпеченістю *F* (C_F) [18, 19]: якщо C_F не більше *H*, то ризик його перевищення буде не більше за *F*.

У чинних вітчизняних нормативних документах подібне обмеження відсутнє – найчастіше оцінювання здійснюється за середніми значеннями показників (C_{CEP}). Однак у цьому випадку, навіть за виконання умов (1) і (2), ризик перевищення *H* може досягати 50%, якщо C_{CEP} наближаються до *H* та збігаються з ним.

Часова мінливість показників може проявляти стійку тенденцію (тренд) як у бік зниження, так і у бік підвищення. Внаслідок цього оцінка якості води, виконана на основі даних минулих періодів, не завжди є релевантною для майбутнього стану водного об'єкта. Тому для забезпечення достовірності результатів у майбутньому необхідно здійснювати прогнозування значень показників якості води з урахуванням їх часових трендів.

Прогноз якості вод. Прогнозоване значення показника якості води у момент часу *j* з забезпеченістю *F* при часовому тренді можна визначити за формулою (6) [20, 21]

$$C_{Fij} = a_i \cdot exp(jb_i) \cdot LOGNORMINV(1-F;\ 0;\ \check{G}_{HTi}), \quad (6)$$

де C_{Fij} – значення *i*-го показника якості води забезпеченістю *F* в момент часу *j*;

a_i і b_i – параметри лінії тренду *i*-го показника;

j – момент часу (дата, або порядковий номер місяця при щомісячних спостереженнях);

LOGNORMINV() – оператор в табличному редакторі *Excel*;

F – забезпеченість значення показника;

0 і $\check{G}_{HTi}$ – параметри логнормального закону розподілу показника якості води, при умові, що його значення нормовані по лінії експоненціального тренду [18, 19].

Оператор *LOGNORMINV*() за імовірністю (*P*) і параметрами розподілу (μ, σ) повертає значення *x* випадкової величини *X*, імовірність якого дорівнює *P*. Теоретичну формулу для логнормального розподілу можна записати у наступному вигляді

$$P(X \le x) = \int_0^x \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(lnt-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (7)$$

При слабкому часовому тренді або його відсутності значення показника забезпеченістю *F* у минулому і майбутньому можна вважати постійним (незалежним від часу), воно може бути розраховано за наступною формулою [20, 21]

$$C_{Fi} = LOGNORMINV(1-F;\ \check{C}_i;\ \check{G}_i), \quad (8)$$

де $\check{C}_i$ і $\check{G}_i$ – параметри логнормального розподілу *i*-го показника.

Параметрами логнормального закону розподілу показника якості води $\check{C}_i$ і $\check{G}_i$ є відповідно середнє і середньоквадратичне відхилення його логарифмованих значень.

Інформація про параметри закону розподілу показника якості води дозволяє виконувати оцінку якості води відповідно вимог норм двома способами: за співвідношеннями (1) і (2) з використанням C_F, а також за ймовірністю перевищення (забезпеченістю) нормативу, яку можна назвати ризиком погіршення якості води (R_H) за деяким показником [21]. При часовому тренді показника R_H розраховується за формулою (9), а при відсутності тренду – (10) [21]:

$$R_{Hij} = 1 - LOGNORMDIST(H_i/(a_i * exp\ (j * b_i)); 0; \check{G}_{NTi}), \quad (9)$$

$$R_{Hi} = 1 - LOGNORMDIST(H_i; \check{C}_i; \check{G}_i), \quad (10)$$

де: R_{Hi} – ризик погіршення якості води за *i*-м показником; H_i – норматив *i*-го показника.

При R_H більш F якості води не відповідає вимогам норм, у протилежному випадку – відповідає

$$R_{Hi} \leq F. \qquad (11)$$

Нормування якості вод. У статті 4 *Directive* 2008/105/*EC* зазначається, що (цитата) «1. *Member States may designate mixing zones adjacent to points of discharge. Concentrations of one or more substances listed in Part A of Annex I may exceed the relevant EQS within such mixing zones if they do not affect the compliance of the rest of the body of surface water with those standards»* (кінець цитати). Тобто, країни-члени ЄС можуть самі визначати зони змішування, прилеглі до точок скиду стічних вод. У цих зонах концентрації речовин, перелічених в частині А Додатку I *Directive* 2008/105/*EC*, можуть перевищувати нормативи. Вони повинні бути включеними в плани ПУРБ, розроблені згідно статті 13 ВРД, у подальшому країни ЄС повинні скорочувати ці зони. Таким чином, згідно *Directive* 2008/105/*EC* припускається перевищення нормативів забруднюючих речовин в стічних водах при досягнення доброго стану МПВ. Зменшення антропогенного навантаження виконується поступово.

Під час скидів забруднюючих речовин (ЗР) із стічними водами у водні об'єкти різного призначення якість води у контрольних створах також повинна відповідати вимогам ВРД. Однак існуючі методичні рекомендації [22, 23] щодо розрахунку гранично допустимих скидів (ГДС) ЗР не дозволяють перевірити виконання цих умов через відсутність відомостей про імовірнісні характеристики фонових значень показників якості води. Згідно з [22], за фонове приймається верхня межа 95% довірчого інтервалу імовірних середніх значень показника за найгірші з точки зору якості гідрохімічні або гідрологічні сезони року. Дану проблему можна вирішити, якщо за фонові брати значення показників забезпеченістю F. У цьому випадку розрахунок ГДС ЗР дозволяє визначити таке значення концентрації речовини в стічних водах ($C_{ГДС}$), при якому забезпеченість (ризик перевищення) H за кожним показником якості води у контрольному створі у майбутньому буде не більше F (за умови постійного скиду ЗР у часі), оскільки додавання константи до випадкової величини не змінює її варіації. У разі наявності часових трендів показників якості води значення фонових характеристик можуть бути прогнозовані за формулою (6).

Таким чином, формулу розрахунку гранично допустимої для скиду концентрації консервативної речовини в стічних водах ($C_{iГДС}$) [23] у водні об'єкти можна записати у наступному вигляді (12)

$$C_{iГДС} = n \cdot (H_i - C_{iF}) + C_{iF}, \qquad (12)$$

де n – кратність розбавлення стічних вод у контрольному створі;

C_{iF} – значення показника забезпеченістю F, прийняте як фонове.

Для групи консервативних речовин з ефектом сумарної дії [24] формула розрахунку гранично допустимого для скиду значення показника в стічних водах буде записана так (13)

$$\Psi_{ГДС} = n \cdot (1 - \Psi_F) + \Psi_F, \qquad (13)$$

де $\Psi_{ГДС}$ – гранично допустиме для скиду значення показника Ψ у стічних водах;

1 – норматив показника Ψ;

Ψ_F – значення показника Ψ забезпеченістю F, прийняте як фонове.

Значення показника Ψ за кожен строк спостережень розраховується за формулою (2), потім (як й інших показників) досліджується часова мінливість з визначенням усіх необхідних характеристик.

Формули (12) і (13) дозволяють розрахувати такі значення показників у стічних водах, при яких в КС у майбутньому виконуватиметься вимога (11).

Результати дослідження

У дослідженні використано результати спостережень Басейнового управління водними ресурсами на річках: Дунай (м. Кілія питний водозабір) за період 2015-2025 рр.; Дністер (с. Біляївка) за ретроспективний період 2001–2017 років (на жаль, отримати дані за необхідними показниками після 2017 року не вдалося). Однак, з огляду на мету даного дослідження: пропозиція шляху вдосконалення вітчизняної методики розрахунку

ГДС речовин із стічними водами для забезпечення вимог ВРД і планів ПУРБ при досягненні доброго стану МПВ в КС в майбутньому – цей ряд теж можна використовувати для демонстрації обґрунтованості розроблюваних пропозицій.

Аналіз часової мінливості проведено за гідрохімічними, груповими та іригаційними показниками. У статті наводяться окремі результати досліджень, що підтверджують пропозиції авторів.

Оцінка і прогноз якості вод річок Дунай і Дністер. Результати обробки даних спостережень на Дунаї поміщені в табл. 1. У таблиці наведена інформація про значення показників: середні, забезпеченістю F= 10%, 5%, 2,5% та прогнозні на дату 31.12.2026 р.

Середній вміст фосфат-іонів (PO_4^{3-}) ($C_{СЕР}$=0,22 мг/дм^3) у водах Дунаю протягом періоду спостережень (2015-2023 рр.) не перевищував рибогосподарський норматив (H=1,2 мг/дм^3) (табл. 1). На рис. 1 нормативне значення показника знаходиться поза графіком. Значення PO_4^{3-}забезпеченістю 10%, 5% і 2,5% без врахування тренду (C_F=0,38, 0,46 і 0,54 мг/дм^3) та при його врахуванні (C_F=0,48, 0,57 і 0,66 мг/дм^3), а також прогнозні значення (виділено напівжирним шрифтом в табл. 1) теж не перевищують норматив. Це свідчить про те, що європейські вимоги щодо цього показника в минулому і у майбутньому виконуються. Але, до кінця 2030 року (прогнозна дата 31.12.2030) при збереженні тенденції (параметри тренду поміщені на рис. 1) значення показника $C_{2,5}$ досягне 1,17 мг/дм^3, тобто, практично буде дорівнювати нормативу. Звідси, після 2030 року вимога наступних етапів досягнення доброго стану МПВ згідно ВРД і ПУРБ – «відсутність перевищень нормативу», може бути порушеної. У такому випадку скиди стічних вод, що містять фосфат-іони з концентрацією вище нормативу, необхідно буде заборонити, і прийняти міри по зниженню потрапляння фосфат-іонів від зосереджених і дифузних джерел.

Таблиця 1

Показники якості вод річки Дунай та їх характеристики

Table 1

Water quality indicators for the Danube River and their characteristics

2015–2023 (PO_4^{3-})		$C_{СЕР}$	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	$C_{10ПР}$	$C_{5ПР}$	$C_{2,5ПР}$
$\check{C}$	–1,619	0,224	0,379	0,456	0,535	-	-	-
$\check{G}$	0,5069							
$\check{C}_{НТ}$	0		0,481	0,571	0,662	**0,615**	**0,729**	**0,846**
$\check{G}_{НТ}$	0,4206							
2015–2024 (NO_2^-)		$C_{СЕР}$	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	$C_{10ПР}$	$C_{5ПР}$	$C_{2,5ПР}$
$\check{C}$	–3,169	0,0504	0,098	0,124	0,152	-	-	-
$\check{G}$	0,6571							
2015–2024 (NO_3^-)		$C_{СЕР}$	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	$C_{10ПР}$	$C_{5ПР}$	$C_{2,5ПР}$
$\check{C}$	1,334	4,51	8,10	10,1	12,1	-	-	-
$\check{G}$	0,5922							

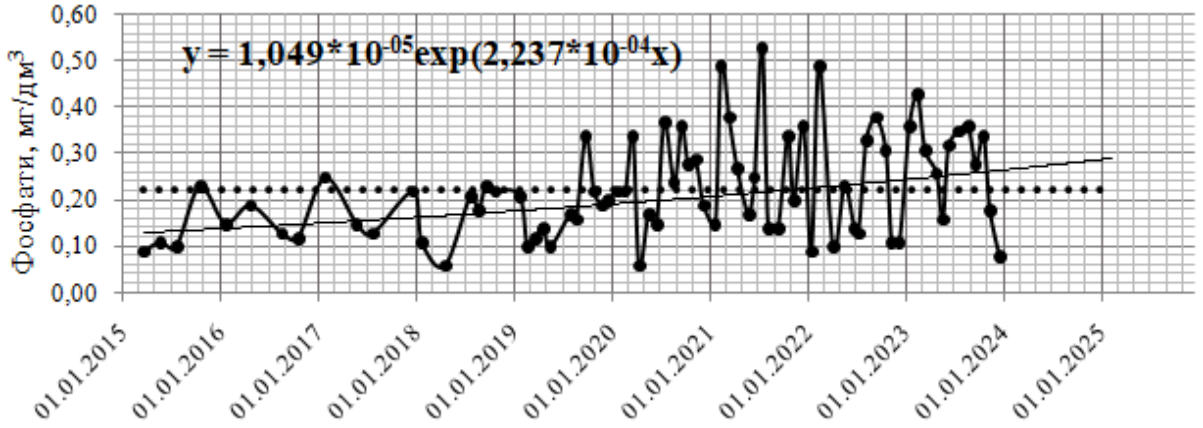


Рис. 1 – Хронологічна мінливість показника PO_4^{3-} (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 1 – Chronological variability of the PO_4^{3-}indicator (Danube River, Kilia)

Вміст нітрит-іонів (NO_2^-) та нітрат-іонів (NO_3^-) у водах Дунаю в середньому не перевищував рибогосподарські нормативи (H=0,08 мг/дм^3 та 40 мг/дм^3). Ці показники не мають часового тренду (рис. 2 і 3). Але, вміст NO_2^- у водах Дунаю не відповідає вимогам ВРД на першому етапі ПУРБ: усі C_F=0,098,0,12 і 0,15 мг/дм^3 більше нормативу.

Стан вод Дунаю за вмістом нітрат-іонів відноситься до «доброго» (табл. 1).

Протягом періоду спостережень концентрація Mn^{2+} у водах Дністра (табл. 2) забезпеченістю 10%, 5% та 2,5% без урахування тренду у часі становила – 0,073, 0,088 та 1,03 мг/дм^3. Це відповідає вимогам ВРД і ПУРБ на першому етапі досягнення доброго стану МПВ: C_{10} і C_5 не більше нормативу (0,1 мг/дм^3). Але на других етапах досягнення доброго стану умови ВРД і ПУРБ не виконуються, оскільки $C_{2,5}$= 1,03 мг/дм^3 більше нормативу.

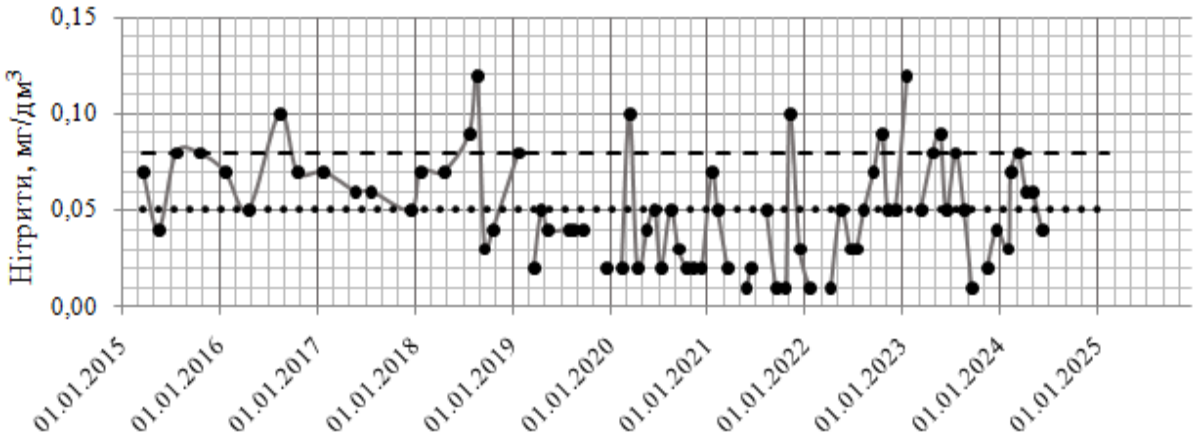


Рис. 2 – Хронологічна мінливість показника NO_2^- (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 2 – Chronological variability of the NO_2^- indicator (Danube River, Kilia)

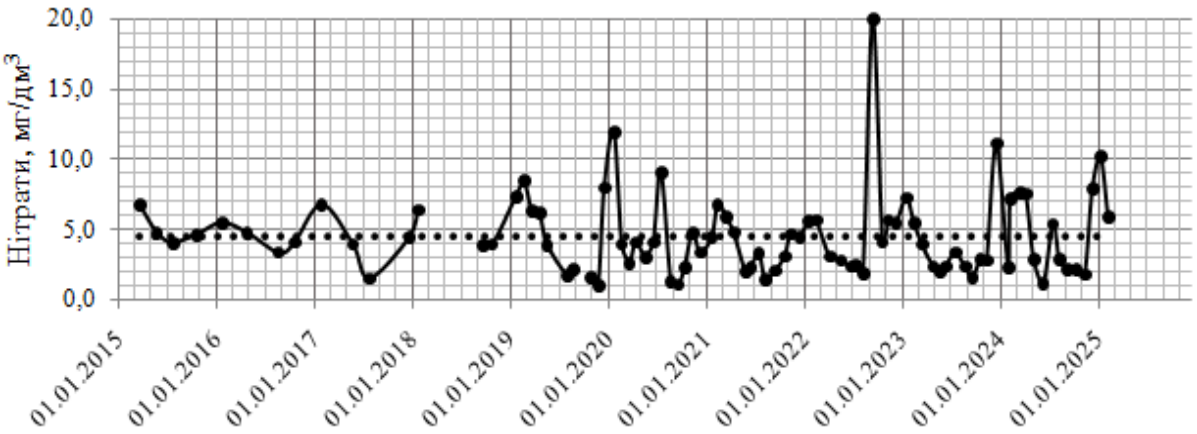


Рис. 3 – Хронологічна мінливість показника NO_3^- (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 3 – ChronologicalvariabilityoftheNO_3^-indicator (DanubeRiver, Kilia)

Концентрація марганцю у водах Дністра має негативний тренд у часі (рис. 4). При його врахуванні прогнозні значення показників $C_{FПР}$ через два роки після завершення спостережень (момент часу 204) становлять 0,047, 0,055 та 0,065 мг/дм³, а прогнозний ризик погіршення якості води ($R_{НПР}$) дорівнює 0,2%. Стан вод за цим показником – «добрий».

У водах Дністра вміст натрію, нітритів, алюмінію, фторидів та молібдену, що відносяться до групи санітарно-токсикологічних речовин із ефектом сумарної дії, відповідав вимогам ВРД і ПУРБ: значення показника їх сумарного впливу Ψ_{CTF} забезпеченістю 10%, 5% та 2,5% становили (табл. 2, рис. 5) 0,76, 0,82 та 0,90, що менше за нормативне значення 1,00.

Таблиця 2

Показники якості вод річки Дністер

Table 2

Waterquality indicators for the Dniester River

2001–2017 (Mn^{2+})		$C_{СЕР}$	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	$C_{10ПР}$	$C_{5ПР}$	$C_{2,5ПР}$
$\check{C}$	–3,273	0,0438	0,0729	0,0877	1,03	-	-	-
$\check{G}$	0,5109							
$\check{C}_{НТ}$	0		0,0521	0,0620	0,0722	**0,0466**	**0,0555**	**0,0652**
$\check{G}_{НТ}$	0,4795							
2001–2017 ($\Psi_{СТ}$)		$C_{СЕР}$	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	$C_{10ПР}$	$C_{5ПР}$	$C_{2,5ПР}$
$\check{C}$	–0,5913	0,570	0,755	0,824	0,899	-	-	-
$\check{G}$	0,2418							
2001–2017 (k_{Mg})		$C_{СЕР}$	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	$C_{10ПР}$	$C_{5ПР}$	$C_{2,5ПР}$
$\check{C}$	–0,5251	0,651	1,05	1,23	1,41	-	-	-
$\check{G}$	0,4447							

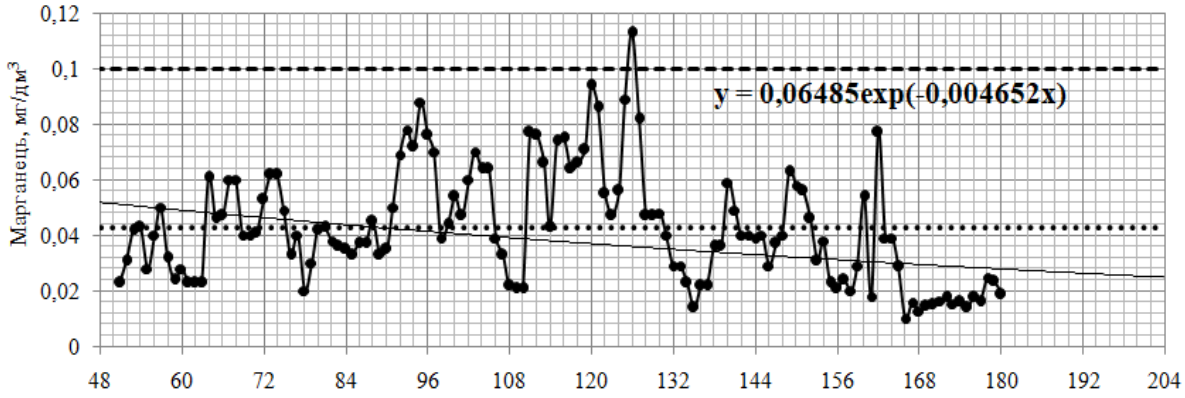


Рис. 4 – Хронологічна мінливість концентрації марганцю (р. Дністер, м. Біляївка)

Fig. 4 – Chronological variability of the manganese concentration (Dniester River, Bilyayivka)

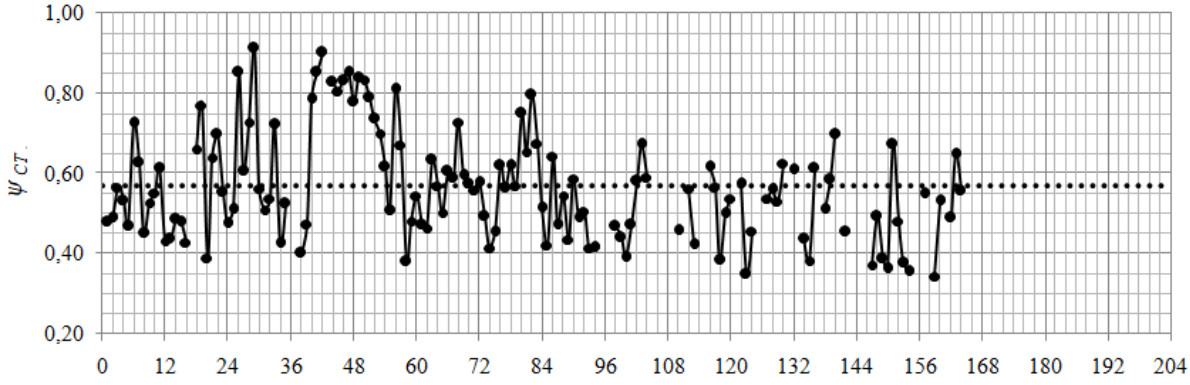


Рис. 5 – Хронологічна мінливість показника $\Psi_{СТ}$ (р. Дністер, м. Біляївка)

Fig. 5 – Chronological variability of the $\Psi_{СТ}$ indicator (Dniester River, Bilyayivka)

За показником магнієвого осолонцювання k_{Mg} (рис. 6) якість вод Дністра не відповідає вимогам ВРД: усі значення показника розглянутої забезпеченості перевищують норматив (1,0).

Нормування якості вод річок Дунай і Дністер за деякими показниками. Приклад розрахунку гранично допустимих для скиду значень розглянутих показників якості води у стічних водах приведений в табл. 3. Значення показників якості води (NO_2^-, NO_3^-, $\Psi_{СТ}$ та k_{Mg}) (табл. 3) забезпеченістю F, прийняті як фонові, розраховані за формулою (7). Цей підхід є допустимим за відсутності або наявності слабко-

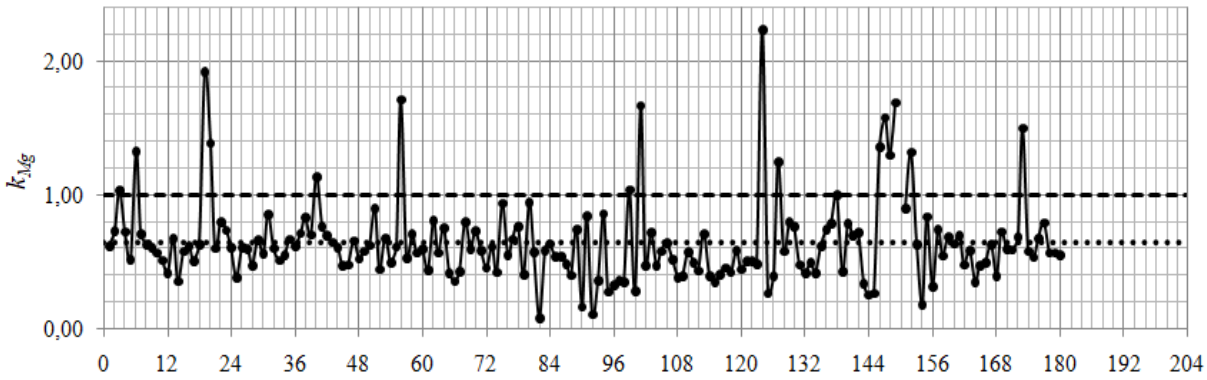


Рис. 6 – Хронологічна мінливість показника k_{Mg} (р. Дністер, м. Біляївка)

Fig. 6 – Chronological variability of the k_{Mg} indicator (Dniester River, Bilyayivka)

Таблиця 3

Розрахунок гранично допустимих для скиду значень показників у стічних водах

Table 3

Calculation of maximum permissible values for wastewater discharge

Показник Indicator	***H***	$C_{СЕР}$	C_{10} (фон)	C_5 (фон)	$C_{2,5}$ (фон)	$C_{ГДС10}$	$C_{ГДС5}$	$C_{ГДС2,5}$	$C_{ГДС}$
р. Дунай, м. Кілія Danube River, Kilia									
PO_4^{3-}	1,20	**0,224**	0,615	0,729	0,846	2,96	2,61	2,26	**4,13**
NO_2^-	0,08	**0,0504**	0,098	0,124	0,152	0,08	0,08	0,08	**0,169**
NO_3^-	40	**4,51**	8,10	10,1	12,1	136	130	124	**146**
р. Дністер, м. Біляївка Dniester River, Bilyayivka									
Mn^{2+}	0,10	**0,0438**	0,0466	0,0555	0,0652	0,260	0,234	0,204	**0,269**
Ψ_{CT}	1,00	**0,570**	0,755	0,824	0,899	1,74	1,53	1,30	**2,29**
k_{Mg}	1,00	**0,651**	1,05	1,23	1,41	1,00	1,00	1,00	**2,05**

го тренду. Він також обґрунтований у разі негативного тренду, оскільки розрахунок ГДС в цьому випадку буде заниженим, проте в короткостроковій перспективі вимоги норм ЄС залишатимуться виконаними. У разі позитивного часового тренду розрахунок значень C_F слід здійснювати за формулою (6).

Для поступового досягнення доброго стану МПВ згідно ВРД та ПУРБ у стічних водах, що скидаються в Дунай: вміст PO_4^{3-} можна прийняти 3,0, 2,6 та 2,3 мг/дм^3 (табл. 3); вміст нітритів – не більше нормативу 0,08 мг/дм^3, оскільки усі C_F перевищують норматив; вміст нітратів – 136, 130 та 124 мг/дм^3.

У стічних водах, що скидаються в нижній частині Дністра: концентрація Mn^{2+} повинна бути не більш – 0,26, 0,23 та 0,20 мг/дм^3; співвідношення магнію з кальцієм не повинно перевищувати іригаційний норматив (1,0), оскільки усі k_{MgF} у фоновому створі перевищують його (табл. 3); значення показника Ψ_{CT} дорівнюватиме – 1,7, 1,5 та 1,3.

На рис. 7 і 8 показано хронологічна мінливість і розподіл значень показника Mn^{2+} за період спостережень у фоновому створі Дністра і очікувана їхня зміна у контрольному створі після скиду стічних вод, що містять марганець з концентрацією $C_{ГДС}$ (0,18 мг/дм^3). Постійне підвищення концентрації Mn^{2+} у КС після скиду стічних вод при розрахованому в них значенні $C_{ГДС}$ буде дорівнювати різниці між нормативом (0,1 мг/дм^3) і C_{10} (0,073 мг/дм^3) (табл. 2) (на рис. 7 і 8 зазначений дрібною пунктирною лінією) тобто 0,027 мг/дм^3. У цьому випадку ризик перевищення нормативу (R_H) в КС дорівнюватиме 8,3%, що відповідає розрахунковій умові (<10%).

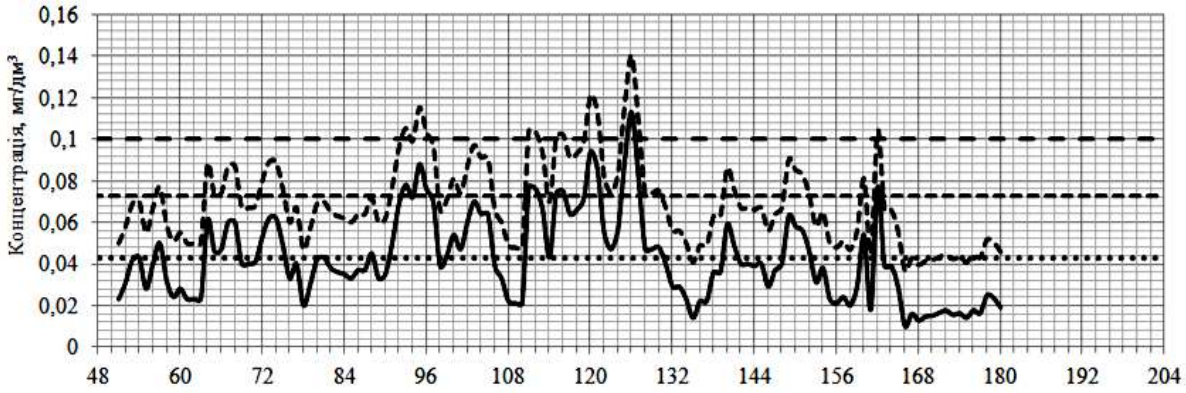


Рис. 7 – Хронологічна мінливість показника Mn^{2+} у фоновому створі і у контрольному після скиду стічних вод (р. Дністер, м. Біляївка)

Fig. 7 – Chronological variability of Mn^{2+} concentration in the background section and in the control section after wastewater discharge (Dniester River, Bilyayivka)

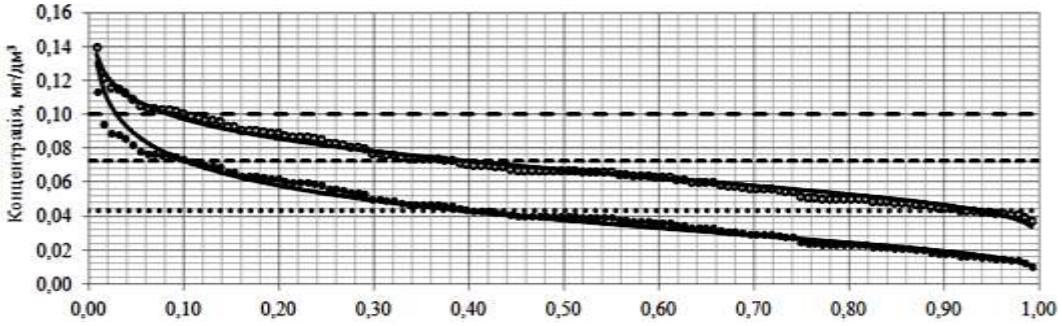


Рис. 8 – Розподіл показника Mn^{2+} у фоновому створі і у контрольному (р. Дністер, м. Біляївка)

Fig. 8 – Distribution of Mn^{2+} in the background section and in the control section (Dniester River, Bilyayivka)

При нормуванні скиду Mn^{2+} у річку Дністер (м. Біляївка) з урахуванням часового тренду значення показника ($C_{10ПР}$) у прогнозний момент часу (204) за формулою (6) становитиме 0,47 мг/дм^3, $C_{ГДС}$ дорівнюватиме 0,26 мг/дм^3, без врахування часового тренду – $C_{ГДС}$ =0,18 мг/дм^3, це на 33% менш ніж 0,26 мг/дм^3.

Висновки

Для поступового досягнення доброго стану МПВ відповідно вимог ВРД на початковому етапі ПУРБ при розрахунках ГДС забруднюючих речовин із стічними водами фоновими доцільно приймати значення показників якості вод C_F забезпеченістю F = 10%, 5% та 2,5%. Значення $C_{2,5}$ приймаються за умови відсутності перевищень нормативів на завершальних етапах досягнення доброго стану МПВ відповідно ВРД і ПУРБ.

Застосування фонових характеристик показників C_F, визначених без урахування часового тренду під час нормування скидів забруднюючих речовин із стічними водами, є допустимим за відсутності або наявності слабкого тренду, при цьому вимоги норм ЄС будуть дотримані.

У разі негативного тренду розрахунок ГДС виявиться заниженим, що є прийнятним з точки зору охорони довкілля, і водночас норми ЄС залишаться виконаними. При позитивному часовому тренді його ігнорування призведе до порушення європейських норм у майбутньому.

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF (дата звернення: 01.11.2025)
2. Council Directive 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0440&from=en (дата звернення: 01.11.2025)
3. Council Directive 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. URL: http://river.bio.auth.gr/wp-content/uploads/2016/09/Directive-76-160-EEC-Bathing-Water.pdf (дата звернення: 01.11.2025)
4. Council Directive 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. URL: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/eu_659-78.pdf (дата звернення: 01.11.2025)
5. Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/105/oj (дата звернення: 01.11.2025)
6. Уберман, В.І., Васьковець Л.А. Адаптація українського правового регулювання скидання забруднювальних речовин до екологічного законодавства ЄС. *Науковий вісник УНУ, Право*. 2022. № *71*. С. 197–202. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.71.33
7. Уберман В. І., Васьковець Л. А. Поетапне наближення українського еколого-правового інституту якості вод та її регулювання до законодавства Європейського Союзу. *Legislation of EU countries: history, shortcomings and prospects for the development*. Frankfurt (Oder), Baltija Publishing. 2019. С. 334–354. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/304678851.pdf (дата звернення: 01.10.2025).
8. Уберман, В.І., Васьковець Л.А. Відповідність регулювання скидання забруднювальних речовин у поверхневі води вимогам українського законодавства. *Науковий вісник УНУ, Право*, 2025.Т. 2. № 87. С. 146–254. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.87.2.37
9. Бреус Д.С., Левченко М.В. Методи оцінювання та нормування якості природних водних ресурсів. *Таврійський науковий вісник*, 2019. № 110. Ч.*2*. С. 126–131. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.20
10. Sun, H., Tian, Yu, Cai, G., Li, L., Meng, Yi., Huang, X., Zhan, W., Zhou, X. Anthropogenic pollution discharges, hotspot pollutants and targeted strategies for urban and rural areas in the context of population migration: Numerical modeling of the Minjiang River basin. *Environment International*. 2022, Vol.160. P. 1–11. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107508
11. Zhang, C., Liu, Y., Lan, L., You Yu., Ye. Yu., Influencing effects and spatiotemporal differentiation of pollutant discharge from industrial wastewater and domestic sewage in China. *Frontiers in Environmental Science.* 2025. Vol.13. P. 1-10. https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1576420
12. Wei, Y., Liu, Q., Zhao, J. Formulation of water pollutant discharge limits for malathion based on nonsensitive aquatic organism protection. *Scientific Reports.* 2023. Vol. *13.* 17253. https://doi.org/10.1038/s41598-023-43494-z
13. Коробкова Г.В. Екологічне нормування якості поверхневих вод на прикладі басейну річки Сіверський Донець (в межах Харківської області): Дисертація на здобуття наукового ступеню к.геогр.н. Харків, 2018. 248 с. URL: http://ekhnuir.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/13892/3/dis_Korobkova.pdf (дата звернення: 01.10.2025).
14. Проскурнін О.А., Божко Т.В., Жук В.М., Комариста Б.М., Бендюг В.І. Доцільність врахування комплексних показників якості природної води при нормуванні скидань забруднюючих речовин із зворотними водами у водні об'єкти. *Науковий вісник будівництва.* 2022. Т. *108. № 2*. С. 79-84. https://doi.org/10.29295/2311-7257-2022-108-2-79-84
15. Yurasov, S.M., Karaulov, V.D., Terzeman, V.V. **(**2025). Improved assessment and forecasting of irrigation water quality. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 33–47. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03
16. Yurasov S., Karaulov V. Improving methods for assessing the quality of water objects as sources of irrigation water (on the example of rivers in the Odesa region). *Advances in Science and Technology*. 2025. Vol. 162. P. 87–98. https://doi.org/10.4028/v-nA4pb0
17. Доценко В.І., Онопрієнко Д.М., Запорожченко В.Ю., Ткачук Т.І. *Оцінка якості води для поливів сільськогосподарських культур*: навчальний посібник. Дніпро. Акцент ПП. 2022. 149 с. URL: https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/7933/1/%D0%94%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D1%8F%D0%BA%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C%20%28%D0%B2%D1%81%D0%B5%29.pdf (дата звернення: 01.10.2025).
18. Yurasov, S., Safranov, T., Chugai, A., Kuryanova, S., Artvykh, Ju. Adapting the Methods for Assessing a

Water Quality when Normalizing the Pollutant Discharges in Ukraine to the Regulatory Requirements of the European Union. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 2022. Vol. *23.* № 3. P. 167–176. https://doi.org/10.12912/27197050/147447

19. Юрасов, С.М., Терземан, В.В. *Якість вод: оцінка, мінливість, прогноз, нормування.* LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. URL: https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/9786206846079 (дата звернення: 01.10.2025).
20. Terzeman, V. V., Yurasov, S. M. (2025). Forecast of organic matter content in the waters of the Danube river (Kilia). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, № 32. С.61–70. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04
21. Юрасов С.М. Прогноз ризику погіршення якості вод за окремими показниками. Матеріали 79-ї звітної наукової конференції проф.-викл. складу і наукових працівників ФГМЕ ОНУ ім. І. І. Мечникова. Одеса. ОНУ ім. І.І. Мечникова. 2024. С. 45–48. URL: https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/13263a08-580f-4be6-bfdc-b4bbe07781e7/content (дата звернення: 05.09.2025)
22. *Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів* (*ГДС*) *речовин у водні об'єкти із зворотними водами*. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища № 116 від 15.12.1994 р., 79 с. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0313-94#Text (дата звернення: 01.10.2025)
23. *Порядок розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти та перелік забруднюючих речовин, скидання яких у водні об'єкти нормується*: Постанова КМУ від 11.09.1996 р. № 1100 із змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ від 13.12.2017 № 1091. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1100-96-%D0%BF#Text (дата звернення: 01.10.2025).
24. Юрасов С.Н., Курьянова С.А. Особливості нормування скидів речовин з ефектом сумарної дії**.** *Молодий вчений*. 2015. *9*(*24*). с. 134-137**.** URL: https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/235/1/1-9_24_2015_%D0%9C%D0%A7_%D0%91%D1%94%D0%BB%D1%8F%D1%94%D0%B2%D0%B0_%D0%9F%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf (дата звернення: 01.10.2025).

Отримано: 08.10.2025 / Переглянуто: 16.11.2025 / Прийнято: 21.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

S. M. YURASOV, PhD (Technic),
Associate Professor of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4312-249X
I.I. Mechnikov Odesa National University
15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine

V. V. TERZEMAN,
PhD student of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: mikkymailz@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-2298-1003
I.I. Mechnikov Odesa National University
15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine

ENSURING COMPLIANCE WITH THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE WHEN REGULATING POLLUTANT DISCHARGES INTO WASTEWATER

Purposes. Development of scientifically based proposals for taking into account the conditions of the Water Framework Directive of the European Union and river basin management plans when calculating maximum permissible discharges of pollutants with wastewater using domestic methods.

Methods. Statistical, as well as methods of mathematical modelling and forecasting.

Results. According to the provisions of the Water Framework Directive and at the initial stage of river basin management plans, the quality of water in a water body for a certain past period is considered to meet the requirements of EU standards if the probability of exceeding (security) of the standards for each indicator does not exceed the specified limit F. Based on this, it is proposed to carry out standardization, as well as the associated assessment and forecasting of surface water quality using indicators with security F. This approach ensures the coordination of domestic methods of the aforementioned calculations with the requirements of EU legislation. The proposed provisions are tested on the example of the analysis of the temporal variability of water quality indicators of the Danube rivers (according to observations during 2015–2024) and the Dniester (according to retrospective observations of 2001–2017). It is shown that when using average values of indicators, the requirements of the Water Framework Directive and river basin management plans are often not met, since the provision of these values can significantly exceed the established restrictions on the frequency of exceedances of the maximum

permissible concentration. To gradually achieve "good status" of surface water bodies when regulating pollutant discharges with wastewater, it is advisable to use the values of indicators with a provision of 10%, 5% and 2.5% as calculated (background). At the same time, in the presence of time trends of indicators, it is necessary to forecast their values to ensure the requirements of the Water Framework Directive, especially with positive trends.

Conclusions. According to the requirements of the Water Framework Directive and river basin management plans, in order to gradually achieve good status of surface water bodies at the initial stage, it is advisable to take the value of F equal to 10%, 5% and 2.5%. It is advisable to standardize pollutant discharges taking into account the time trends of indicators, since ignoring a positive trend leads to an overestimation of the calculated values, which is unacceptable, while the presence of a negative trend, on the contrary, leads to their underestimation, which is acceptable from the point of view of environmental protection.

KEYWORDS: *water quality assessment, maximum permissible discharge, background characteristics, EU directives, water quality forecast*

Conflict of Interest

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

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF
2. *Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC*. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/7/oj/eng
3. *Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption.* Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj
4. *Council Directive 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life*. Retrieved from http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/eu_659-78.pdf
5. *Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council*. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/105/oj
6. Uberman, V.I., & Vaskovets, L.A. (2022). Adaptation of Ukrainian legal regulation of pollutant discharges to the EU environmental legislation. *Scientific Bulletin* of UNU, Law, *71*, 197–202. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.71.33 (in Ukrainian)
7. Uberman, V.I., & Vaskovets, L.A. (2019). Gradual approximation of the Ukrainian eco-legal institute of water quality and its regulation to the legislation of the European Union. Legislation of EU countries: history, shortcomings and prospects for development. Frankfurt (Oder), *Baltija Publishing*, 334–354. Retrieved from https://core.ac.uk/download/pdf/304678851.pdf (in Ukrainian)
8. Uberman, V.I., & Vaskovets, L.A. (2025). Compliance of pollutant discharge regulation into surface waters with the requirements of Ukrainian legislation. *Scientific Bulletin of UNU*, Law, *87*(2), 146-254. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2025.87.2.37 (in Ukrainian)
9. Breus, D.S., & Levchenko, M.V. (2019). Methods for assessment and regulation of the quality of natural water resources. *Tavriyskyi Scientific Bulletin*, *110*(2), 126-131. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.20 (in Ukrainian)
10. Sun, H., Tian, Yu, Cai, G., Li, L., Meng, Yi., Huang, X., Zhan, W., & Zhou, X. (2022). Anthropogenic pollution discharges, hotspot pollutants and targeted strategies for urban and rural areas in the context of population migration: Numerical modeling of the Minjiang River basin. *Environment International*, *160*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107508
11. Zhang, C., Liu, Y., Lan, L., You Yu., & Ye. Yu. (2025). Influencing effects and spatiotemporal differentiation of pollutant discharge from industrial wastewater and domestic sewage in China. *Frontiers in Environmental Science. 13*. 1-10. https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1576420
12. Wei, Y., Liu, Q., & Zhao, J. (2023). Formulation of water pollutant discharge limits for malathion based on nonsensitive aquatic organism protection. *Scientific Reports. 13*, 17253. https://doi.org/10.1038/s41598-023-43494-z
13. Korobkova, H.V. (2018). Environmental regulation of surface water quality: the case of the Siverskyi Donets

River basin (within Kharkiv Oblast). *Doctoral dissertation, PhD in Geography. Kharkiv*. Retrieved from http://ekhnuir.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/13892/3/dis_Korobkova.pdf (in Ukrainian)
14. Proskurnin, O.A., Bozhko, T.V., Zhuk, V.M., Komarista, B.M., &Bendug, V.I. (2022). The expediency of taking into account comprehensive indicators of natural water quality when regulating the discharge of pollutants with return waters into water bodies.*Scientific Bulletin of Construction*. *108*(*2*). 79-84. https://doi.org/10.29295/2311-7257-2022-108-2-79-84 (in Ukrainian)
15. Yurasov, S.M., Karaulov, V.D., & Terzeman, V.V. **(**2025). Improved assessment and forecasting of irrigation water quality. *Man and Environment. Issues of Neoecology*. *43*, 33–47. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03 (in Ukrainian)
16. Yurasov S., & Karaulov V. (2025). Improving methods for assessing the quality of water objects as sources of irrigation water (on the example of rivers in the Odesa region). *Advances in Science and Technology*. *162*. 87–98. https://doi.org/10.4028/v-nA4pb0 (in Ukrainian)
17. Dochenko, V.I., Onopriienko, D.M., Zaporozhchenko, V.Yu., & Tkachuk, T.I. (2022). *Assessment of water quality for irrigation of agricultural crops: a textbook*. Dnipro: Aktsent P. Retrieved from https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/7933/1/%D0%94%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D1%8F%D0%BA%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C%20%28%D0%B2%D1%81%D0%B5%29.pdf (in Ukrainian)
18. Yurasov, S., Safranov, T., Chugai, A., Kuryanova, S., & Artvykh, Ju. (2022). Adapting the Methods for Assessing a Water Quality when Normalizing the Pollutant Discharges in Ukraine to the Regulatory Requirements of the European Union, *Ecological Engineering & Environmental Technology*, *23*(3), 167-176. https://doi.org/10.12912/27197050/147447
19. Yurasov, S.M., & Terzeman, V.V. (2023). *Water Quality: Assessment, Variability, Forecast, Regulation*, LAP LAMBERT Academic Publishing.Retrieved from https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/9786206846079 (in Ukrainian)
20. Terzeman, V. V., & Yurasov, S. M. (2025). Forecast of organic matter content in the waters of the Danube river (Kilia). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 61-70. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04 (in Ukrainian)
21. Yurasov S.M. (2024). Forecasting the risk of water quality deterioration by individual indicators. *Proceedings of the 79th reporting scientific conference of the academic staff and researchers of the FGME of the I. I. Mechnikov ONU*. 45–48. Retrieved from https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/13263a08-580f-4be6-bfdc-b4bbe07781e7/content (in Ukrainian)
22. Instruction on the Procedure for Developing and Approving Maximum Permissible Discharges (MPD) of Substances into Water Bodies with Wastewater. (1994). *Order of the Ministry of Environmental Protection No. 116, dated December 15, 1994.* Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0313-94#Text (in Ukrainian)
23. *Procedure for Developing Standards for Maximum Permissible Discharges of Pollutants into Water Bodies and the List of Pollutants Whose Discharges into Water Bodies Are Regulated: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1100, dated September 11, 1996, as amended by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1091, dated December 13, 2017.* Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1100-96-%D0%BF#Text (Accessed 01 October 2025). (in Ukrainian)
24. Yurasov, S.N., & Kuryanova, S.A. (2015). Features of regulating discharges of substances with cumulative effects. *Young Scientist*, *9*(24), 134–137. Retrieved from https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/235/1/1-9_24_2015_%D0%9C%D0%A7_%D0%91%D1%94%D0%BB%D1%8F%D1%94%D0%B2%D0%B0_%D0%9F%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf (in Ukrainian)

Submission received:08.10.2025 / Revised: 16.11.2025 / Accepted: 21.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-08
УДК 631.4:504:551.583(477.52)

А. О. ПОПСУЙ,
[1]неключовий експерт, [2]аспірант кафедри екології
E-mail: artem.ol.popsui@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-0898-5873
[1]NIRAS Sweden AB
Hantverkargatan 11B, 112 21 Stockholm, Швеція
[2]Поліський національний університет
бульвар Старий, 7, Житомир, 10008, Україна

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДЕГРАДАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ҐРУНТАХ ВОЄННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Мета. Обґрунтувати методологічні основи системного аналізу деградаційних процесів у ґрунтах воєнного походження та сформувати інтегровану модель оцінки їх стану, динаміки й прогнозування відновлення.

Методи. Польові, атомно-абсорбційної спектрофотометрії, дистанційного зондування, математичне моделювання, статистичний аналіз та системи машинного навчання.

Результати. На підставі системно-екологічного та геоінформаційного підходів, а також індексної оцінки деградаційних процесів за допомогою інтегральних показників – індексу екологічної деградації ґрунтів, індексу структурно-біологічної стабільності та коефіцієнта воєнно-техногенного навантаження доведено, що деградація ґрунтів воєнного походження має каскадний характер: первинні механічні пошкодження спричиняють вторинні процеси – ущільнення, ерозію, зниження водопроникності, втрату мікробіологічної активності та структурної стійкості. Встановлено, що у зонах активних бойових дій концентрації токсичних елементів перевищують гранично допустимі значення у 5-12 разів, а мікробіологічна активність зменшується на 35-65 %. Розроблена системна модель дозволяє ідентифікувати території з найвищим рівнем деградації, прогнозувати подальші зміни стану ґрунтів і формувати пріоритети для рекультивації. Поєднання ГІС-картування, біоіндикації та аналітичного моделювання створює наукову основу для еколого-управлінських рішень у сфері постконфліктного відновлення.

Висновки. Запропонована методологічна схема системного аналізу є дієвим інструментом оцінки деградаційних процесів у ґрунтах воєнного походження, забезпечує інтеграцію різнорівневих екологічних даних, сприяє формуванню адаптивних стратегій рекультивації та підвищує ефективність державного екологічного моніторингу. Застосування такої системи дозволить мінімізувати соціально-екологічні ризики, зберегти агроландшафти та підтримати сталий розвиток постраждалих територій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *деградація ґрунтів, воєнне походження, системний аналіз, інтегральний індекс деградації, рекультивація, геоінформаційні системи, мікробіологічна активність*

Як цитувати: Попсуй А. О. Методологічні основи системного аналізу деградаційних процесів у ґрунтах воєнного походження. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 108-119. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-08

In cites: Popsuy, A. O. (2025). Methodological basis for systematic analysis of military soil degradation. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 108-119. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-08 (in Ukrainian)

Вступ

У сучасних умовах воєнних дій територія України зазнає безпрецедентного руйнування природних екосистем, особливо ґрунтового покриву. Масштабне використання вибухових речовин, механічне ушкодження ґрунтів, забруднення важкими металами, нафтопродуктами, залишками вибухових речовин і техногенними уламками призводить до порушення структури ґрунтових профілів та втрати їхніх екологічних функцій

Такий комплексний характер змін визначає новий рівень екологічної небезпеки, що включає не тільки деградацію фізико-хімічних властивостей ґрунту, а й пригнічення мікробіологічної активності, пору-

© Попсуй А. О., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

шення біогеохімічних циклів та зниження продуктивності агроландшафтів.

Деградаційні процеси у ґрунтах воєнного походження мають каскадний характер. Первинні ушкодження, спричинені механічними та хімічними впливами, запускають серію вторинних ефектів, що проявляються у вигляді ерозії, ущільнення, втрати водо- та повітропроникності, зниження біологічної різноманітності та порушення стабільності екосистем. Внаслідок цього погіршується здатність ґрунтів до самовідновлення та підтримки екологічного балансу, що створює ризики для біорізноманіття, родючості земель і довгострокової продуктивності сільськогосподарських угідь.

Особливу складність становить взаємодія різних факторів деградації, які одночасно діють у просторі та часі. Фізичні, хімічні та біологічні зміни взаємопов'язані та взаємо підсилюють одна одну, утворюючи складні динамічні системи, що потребують інтегрованого підходу для їх оцінки. Традиційні методи моніторингу і класичні підходи до аналізу ґрунтів виявляються недостатніми для комплексного обліку всіх факторів впливу та прогнозування розвитку деградаційних процесів.

В умовах воєнного впливу особливо важливим стає використання системного підходу, що дозволяє інтегрувати дані геохімічного, фізико-механічного, мікробіологічного та ландшафтного моніторингу. Такий підхід забезпечує не тільки кількісну оцінку поточного стану ґрунтів, а й можливість прогнозування розвитку деградації, визначення пріоритетних територій для відновлення та розробки ефективних стратегій рекультивації.

Проблема набуває соціально-економічного виміру, оскільки деградація ґрунтів знижує продуктивність земель, збільшує витрати на відновлення територій і негативно впливає на продовольчу безпеку. В умовах постійної загрози воєнних дій відновлення та збереження ґрунтових ресурсів стає пріоритетним завданням для екологічної політики і управління природними ресурсами.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю розробки науково обґрунтованих методологічних основ системного аналізу деградаційних процесів у ґрунтах воєнного походження. Зазначене передбачає створення інтегрованих моделей, здатних враховувати комплексний характер ушкоджень, взаємозв'язки між фізико-хімічними, біологічними та соціально-економічними параметрами, а також формувати прогностичні оцінки, які стануть підґрунтям для прийняття управлінських рішень та планування відновлювальних заходів на постраждалих територіях.

Проблематика деградації ґрунтів у зонах воєнного ураження в Україні останніми роками активно досліджується українськими та зарубіжними науковцями. Вивчаються комплексні наслідки механічних, фізико-хімічних і біологічних факторів, а також соціально-економічні ефекти деградації, що впливають на родючість ґрунтів та екосистемну стійкість.

Серед провідних науковців, які внесли вагомий внесок у розвиток методології та практичних підходів, можна виділити: Бережняка Є. М., Наумовську О. І. та Бережняка М. Ф. [1], які підкреслюють системно-екологічний підхід до оцінки деградаційних процесів; Зайцева Ю. О., Собка В. І., Кожевнікову В. Л., Лобанову О. П. та Кирильчук А. М. [2] що описують каскадний ефект деградацій і біосферно-регуляторні механізми; Сакуна А. О. та Куткового Д. О. [3], які займається токсикологічною паспортизацією ґрунтів; Кучера А. В. [4], що розробляє геоінформаційні моделі для прогнозування динаміки деградації; Юхна В. [5], який досліджує зміни мікробіологічної активності та структури ґрунту; Гончарову А. Є. [6], що оцінює вплив вибухових навантажень на ущільнення ґрунтів та ерозійні процеси.

Попри значну кількість наукових розвідок, управлінська складова агроекологічної безпеки в умовах воєнних дій залишається недостатньо розробленою. Зазначене підкреслює потребу в координації між державними органами, місцевим самоврядуванням та науковою спільнотою для відновлення постраждалих ґрунтових екосистем та забезпечення стійкого відновлення агроландшафтів.

Метою є комплексне дослідження деградаційних процесів у ґрунтах воєнного походження на території України та розробка системного підходу до їх оцінки і прогнозування.

Методи дослідження

Об'єктом дослідження є деградаційні процеси у ґрунтах воєнного походження на територіях України, які зазнали безпосереднього або опосередкованого впливу бойових

дій у 2022-2024 роках. Для забезпечення репрезентативності результатів до аналізу включено ґрунти різних типів – чорноземи звичайні, сірі лісові та дерново-підзолисті. Дослідження проводилися у п'яти адміністративних областях – Донецькій, Харківській, Миколаївській, Чернігівській та Херсонській, що репрезентують різні рівні воєнно-техногенного навантаження на земельні ресурси.

Польові експерименти здійснювалися на основі репрезентативних вибірок із ділянок площею від 0,5 до 2 гектарів із урахуванням градієнта забруднення та характеру механічних пошкоджень. Відбір проб ґрунту проводився на глибинах 0-20 см і 20-40 см у весняно-літній період. Для контролю використовувалися фонові ділянки, розташовані за межами зон бойових дій. Умови проведення експериментів фіксувалися з урахуванням погодних параметрів – середньодобової температури, вологості повітря та швидкості вітру, що дозволяло враховувати вплив метеорологічних чинників на формування показників стану ґрунтів.

Аналітичні дослідження проводилися у лабораторних умовах із використанням сучасних методів контролю. Визначення вмісту важких металів (цинк, свинець, мідь, кадмій, нікель) здійснювалося методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії із застосуванням приладу Perkin Elmer Analyst 400. Вміст залишків вибухових речовин (тринітротолуол, циклотриметилентринітрамін, гексоген) аналізувався методом високоефективної рідинної хроматографії відповідно до стандарту ISO 11916-1:2013. Показники кислотності (pH), вміст гумусу, вологоємність і щільність ґрунту визначалися згідно з вимогами ДСТУ ISO 10390:2021 та ДСТУ 4289:2004.

Мікробіологічний аналіз передбачав визначення активності ферментів (уреаза, каталаза, дегідрогеназа) колориметричним методом. Кількість колонієутворювальних одиниць (КУО) встановлювалася шляхом посіву зразків на живильні середовища – nutrient agar та potato glucose agar.

Для оцінювання мікробної біомаси використовувався метод Сіріної–Андерсона, що дає можливість оцінити ступінь біологічної активності ґрунтів різного ступеня деградації.

Дистанційний та геоінформаційний аналіз здійснювався з використанням програмного забезпечення ArcGIS 10.8 і QGIS 3.22 для просторового картування та виявлення просторових закономірностей поширення забруднення.

Для оцінки кореляційних зв'язків між фізико-хімічними та біологічними показниками застосовувався пакет статистичних програм Statistica 12.0. Усі експерименти виконувалися у триразовій повторності з дотриманням вимог метрологічного контролю, що забезпечило достовірність і відтворюваність результатів.

Результати дослідження

У сучасних умовах воєнних дій, що розгортаються на території України, спостерігається безпрецедентне погіршення екологічного стану ґрунтового покриву, спричинене вибуховими навантаженнями, забрудненням важкими металами, вуглеводнями, залишками вибухових речовин і руйнуванням структури ґрунтових профілів. Методологічні основи аналізу таких процесів вимагають системного, міждисциплінарного підходу, який поєднує ґрунтознавство, екотоксикологію, геоінформаційні технології та екологічну аналітику [1].

Підходи до системного аналізу екодеградацій розроблялися багатьма українськими та зарубіжними науковцями. Так, Зайцев Ю. О., Собко В. І., Кожевнікова В. Л., Лобанова О. П. та Кирильчук А. М. підкреслюють, що екологічні наслідки антропогенного тиску мають оцінюватися через призму системного підходу – як мережі взаємопов'язаних процесів у біогеосфері, що реагують на зовнішні імпульси [2]. Сакун А. О. та Кутковий Д. О. зазначають, що під час воєнних дій активізується «каскадний ефект» деградації, коли механічні, хімічні та біологічні фактори взаємно підсилюють руйнування ґрунтової структури [3].

Системний аналіз у контексті військової екології базується на таких принципах:

– ієрархічність (врахування вертикальних зв'язків між компонентами екосистеми (від мікробіоти до ландшафтного рівня));

– мультифакторність (інтеграція фізичних, хімічних і біологічних параметрів деградації);

– кібернетичність (виявлення зворотних зв'язків між забрудненням, самовідновленням і регенерацією ґрунтів);

– прогностичність (моделювання майбутніх станів з використанням ГІС і систем машинного навчання [4]).

У табл. 1, надано наукові підходи до системного аналізу деградації ґрунтів.

Таким чином, теоретичний фундамент системного аналізу деградації ґрунтів воєн-

Таблиця 1

Основні методологічні підходи до системного аналізу деградаційних процесів у ґрунтах воєнного походження

Table 1

Main methodological approaches to the systematic analysis of degradation processes in soils of military origin

Автори/ Authors	Ключовий підхід/ Key approach	Об'єкт аналізу/ Object of analysis	Методологічна особливість/ Methodological feature	Потенціал Застосування Application potential
Зайцев Ю. О., Собко В. І., Кожевнікова В. Л., Лобанова О. П., Кирильчук А. М. [2]	Системно-екологічний System-ecological	Біогеоценоз / Biogeocenosis	Врахування енергетичних потоків і флуктуацій / Energy Flow and Fluctuation Consideration	Комплексна оцінка екосистемного збалансування / Comprehensive assessment of ecosystem balance
Сакун А. О., Кутковий Д. О. [3]	Геоекологічний / Geoecological	Ландшафтно-ґрунтові комплекси / Landscape-soil complexes	Аналіз каскадних змін / Cascading Change Analysis	Моделювання просторової деструкції / Spatial destruction modeling
Кучер А. В. [4]	Токсикологічний / Toxicological	Військові Полігони / Military training grounds	Визначення рівнів забруднення ВМ і ВР / Determining HM and RB Pollution Levels	Екотоксикологічна паспортизація / Ecotoxicological certification
Юхно В. [5]	Геоінформаційний / Geoinformation	Зони воєнного ураження / War-affected areas	Просторове моделювання та машинне навчання / Spatial Modeling and Machine Learning	Прогнозування динаміки деградації / Prediction of degradation dynamics
Гончарова А. Є. [6]	Біосферно-регуляторний / Biosphere-regulatory	Біологічні ланцюги ґрунтів / Biological chains of soils	Виявлення біотичних зворотних зв'язків / Identifying Biotic Feedbacks	Розробка стратегій біоремедіації / Development of bioremediation strategies

ного походження базується на інтеграції еколого-ґрунтових, біогеохімічних та інформаційно-аналітичних підходів. Зазначене дозволяє формувати цілісну модель процесів, що враховує не лише наслідки, а й потенціал самовідновлення природних систем.

Подальше надано практичну апробацію та розробку авторських пропозицій для державного екологічного моніторингу.

Сучасна воєнна діяльність на території України, особливо у східних і південних областях, призвела до масштабного забруднення ґрунтів важкими металами, залишками вибухових речовин, нафтопродуктами та уламковими матеріалами. Згідно з дослідженнями Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського НАН України, у регіонах бойових дій спостерігається підвищення концентрацій цинку, свинцю, міді, нікелю та кадмію в середньому у 5-12 разів відносно гранично допустимих концентрацій (ГДК) [7].

Практичний системний аналіз деградації ґрунтів воєнного походження вимагає поєднання декількох напрямів моніторингу: геохімічного, фізико-механічного, мікробіологічного та ландшафтного.

Юхно В. [5] підкреслює, що для реальної оцінки деградацій необхідно не лише визначати концентрації токсикантів, а й аналізувати зміни структурно-агрегатного стану

ґрунтів, показників вологоємності, активності ферментів.

Методологічно доцільним є використання інтегральних індексів деградації, що дозволяють узагальнювати результати спостережень за допомогою геоінформаційних систем. Такий підхід апробований у дослідженнях [3], де створили картографічні моделі забруднення Донбасу, інтегруючи спектральні супутникові дані з польовими вимірюваннями

Узагальнені результати системного аналізу стану ґрунтів у різних типах воєнно-уражених територій (табл. 2), підготовлені на основі офіційних даних Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України (2024), а також досліджень Інституту екології Карпат НАН України (2023).

Аналіз даних (табл. 2) визначає, що найвищий рівень забруднення зафіксовано у зонах активних бойових дій, де не лише зростає вміст токсикантів, але й різко падає мікробіологічна активність ґрунтів, що свідчить про пригнічення біоценотичних зв'язків. Мікробіота ґрунтів реагує на токсикологічне навантаження втратою функціональної різноманітності, особливо ферментативної активності каталази, уреази та дегідрогенази [5]. Додатково спостерігається різке зниження коефіцієнта структурної стійкості ґрунту, що означає посилення процесів водної та вітрової ерозії. Білик О. І. звертає увагу, що у зонах вибухів порушується не лише поверхневий горизонт (А), а й формується вторинний ущільнений шар, який перешкоджає аерації й водопроникності [9].

Практична реалізація системного аналізу деградаційних процесів у воєнно ураже-

Таблиця 2

Показники деградації ґрунтів у воєнно уражених регіонах України (2023-2024 рр.)

Table 2.

Soil degradation indicators in war-affected regions of Ukraine (2023-2024)

Тип території / Territory type	**Середній вміст важких металів (мг/кг) / Average heavy metal content (mg/kg)**	**Залишки вибухових речовин (RDX, TNT, HMX, мг/кг) / Explosive residues (RDX, TNT, HMX, mg/kg)**	**Зміна мікробіологічної активності (%) / Change in microbiological activity (%)**	**Коефіцієнт структурної деструкції ґрунту / Soil structural destruction coefficient**
Зона бойових дій (Донецька обл.) / Combat zone (Donetsk region)	Zn – 480, Pb – 320, Cu – 290	2,5-6,0	-65	0,82
Територія військових складів (Миколаївська обл.) / Territory of military depots (Mykolaiv region)	Zn – 210, Pb – 150, Cu – 180	1,1-3,4	-40	0,91
Полігонна зона (Чернігівська обл.) / Proving ground zone (Chernihiv region)	Zn – 180, Pb – 90, Cu – 160	0,7-1,9	-35	0,95
Прифронтова зона (Харківська обл.) / Frontline zone (Kharkiv region)	Zn – 350, Pb – 240, Cu – 230	1,8-4,5	-58	0,87
Агроландшафти з техногенними уламками (Херсонська обл.) / Agrolandscapes with man-made debris (Kherson region)	Zn – 270, Pb – 180, Cu – 200	1,5-3,8	-47	0,89

них ґрунтах передбачає використання інтегрованих показників, таких як:

– індекс екологічної деградації ґрунтів (IEDS);

– індекс структурно-біологічної стабільності (ISBS);

– коефіцієнт воєнно-техногенного навантаження (WTC) (новий параметр, запропонований українськими дослідниками у 2024 році) [9].

Отримані результати свідчать про те, що системна оцінка деградаційних процесів може бути ефективним інструментом для визначення пріоритетів рекультивації територій та оцінки еколого-економічних збитків.

На міжнародному рівні було підтверджено, що зона бойових дій не лише зазнає прямого руйнування ґрунтової структури внаслідок руху важкої військової техніки, вибухів та пожеж, але й формується комплекс забруднень з важкими металами (зокрема Pb, Zn, Cd), залишками вибухових речовин і паливно-мастильних матеріалів. У дослідженні Солохі М. та співавторів зазначено, що в зонах безпосереднього ураження концентрації таких металів перевищували гранично допустимі значення у кілька разів, при цьому супроводжувались значними змінами гранулометричного складу ґрунтів – збільшенням піщаної фракції на 20-80 % та зменшенням глинистої на 10-20 % [10]. Додатково відзначено суттєве пригнічення мікробіологічної активності – біомаса мікроорганізмів зменшилась у 2,1 рази, а кількість мікроміцетів зросла у 20,5 рази, що свідчить про глибокі порушення мікробіоти ґрунту [11].

Відповідно до оглядового звіту Ecoaction, початок повномасштабної агресії в лютому 2022 р. суттєво погіршив ситуацію: безпосередні механічні впливи – виривання траншей, вибухи, рух важкої техніки, руйнування інфраструктури – призвели до ущільнення ґрунтів, втрати гумусового горизонту та порушення водно-повітряного режиму [12]. Автори виділяють, що такі первинні впливи змінюють властивості ґрунтів таким чином, що вже вторинні процеси – ерозія, вимивання, транспортування вакансій, перевантаження й перенасичення важкими металами – мають прискорений характер.

Міжнародні дослідження підкреслюють важливість просторово-часового моніторингу із застосуванням ГІС, дистанційного зондування та обробки великих даних. У статті Бончаровського О. показано, що крім безпосередніх вибухів утворюються вторинні геоморфічні структури (наприклад, кратери, заповнені уламками), які стають фокусами посиленого вимивання та пересування ґрунту, що створює нову дестабілізацію ландшафту [13]. Зазначене означає, що моделювання майбутніх станів повинно враховувати не лише хімічну і біологічну шкоду, а й морфодинаміку ґрунтового профілю, зміни топографії, гідрологічні маршрути й ландшафтну стійкість.

З огляду на це, до вже запропонованих вами принципів і методологічних підходів доречно додати ще кілька ключових елементів. По-перше, діагностика змін гранулометрії, пористості та ущільнення як фізичного вектору деградації, оскільки велика кількість міжнародних досліджень підтверджує, що саме зміни структури ґрунту (зростання піщаної фракції, зменшення глинистої, ущільнення) є раннім маркером втрати ґрунтових функцій [14]. По-друге, інтеграція екотоксикологічних індикаторів, таких як індикатори біомаси мікробіоти, активності ферментів, токсичності ґрунтових сумішей – це дозволяє оцінити не просто перевищення концентрації металів, а й реальне функціональне пригнічення ґрунтової екосистеми [15]. По-третє, розрахунок економічно-екологічних збитків із прив’язкою до втрати екосистемних послуг ґрунтів дозволяє формувати основу для компенсаційних механізмів [16].

У контексті державного моніторингу та управління доцільно рекомендувати впровадження багаторівневої системи: оперативне картування зон ураження з використанням супутникових знімків і дронів [17], створення системи проб ґрунтів із стандартизованими показниками (хімічні, фізичні, біологічні) [18], інтеграцію даних у ГІС-систему з моделями прогнозу на 5–10-річний горизонт [13] та розробку індексів, що відображають ступінь деградації (індекс механічної трансформації профілю, індекс біологічної активності, інтегральний екотоксикологічний індекс) [19; 20].

Таким чином, впровадження методології, що базується на синтезі ґрунтознавства, екотоксикології, геоінформаційних технологій та економіки екосистем, стає критично необхідним, особливо в умовах, коли масштаби

та глибина деградацій ґрунтового покриву в зонах воєнного ураження набувають безпрецедентних значень.

Деградація ґрунтів у зоні воєнних дій є багаторівневою і включає механічні, фізико-хімічні, біологічні та соціально-економічні аспекти. Порушення структури ґрунту та пригнічення мікробіоти спричиняють каскадну деградацію, яка охоплює водну і вітрову ерозію, зниження родючості та втрату екосистемних послуг. Зазначене підтверджує необхідність системного підходу для повноцінної оцінки стану ґрунтів та розробки стратегій їх відновлення.

Системний аналіз дозволяє об'єднати дані геохімічного, фізико-механічного та біологічного моніторингу, що забезпечує більш точну оцінку стану ґрунтів та їх потенційних втрат. Використання геоінформаційних систем і дистанційного зондування дозволяє прогнозувати просторову динаміку деградації ґрунтів і визначати пріоритетні території для відновлення.

Практичні результати свідчать про необхідність пріоритетного відновлення зон із найбільшим коефіцієнтом структурної деструкції ґрунту, а також територій, де спостерігається максимальне пригнічення мікро-біоти та високий рівень забруднення важкими металами і залишками вибухових речовин. Такий підхід дозволяє ефективно планувати рекультивацію та зменшувати екологічні та соціально-економічні втрати.

Ідентифікацію територій та категоризацію впливів слід проводити шляхом системного обстеження (рис. 1). До категорій належать механічні пошкодження ґрунтів, забруднення хімічними речовинами, пригнічення біологічної активності та соціально-економічні наслідки. Така класифікація дозволяє визначити пріоритетні ділянки для моніторингу та відновлювальних заходів.

Моніторинг і збір даних мають проводитися комплексно. Необхідно використовувати польові заміри фізико-хімічних показників ґрунту, геоінформаційне картування, дистанційне зондування, а також мікробіологіч- ний і біотичний аналіз. Зазначене забезпечує отримання інтегрованої інформації про стан ґрунтів і виявлення ключових факторів деградації.

Системний аналіз і моделювання передбачають розрахунок інтегрального індексу деградації ґрунтів, визначення взаємозв'язків між впливами та процесами деградації, а також побудову сценаріїв відновлення для кожного типу території. Зазначене дозволяє прогнозувати подальші зміни та оцінювати ефективність планованих заходів.

Пріоритетизація заходів відновлення повинна включати меліорацію та відновлення структури ґрунту, біоремедіацію та відновлення мікробіоти, ландшафтну рекультивацію та контроль ерозійних процесів. Регулярний моніторинг ефективності відновлювальних заходів забезпечує адаптивність управлінських рішень та коригування стратегії за потреби

Реалізація запропонованої системної моделі (рис.) дозволяє не лише оцінювати поточний стан ґрунтів воєнного походження, а й прогнозувати їхню динаміку деградаційних процесів у майбутньому. Зазначене створює основу для науково обґрунтованого прийняття рішень щодо пріоритетів рекультивації та визначення ефективних методів відновлення.

Впровадження системного підходу забезпечує інтеграцію різнорівневих даних: фізико-хімічних, біологічних, геопросторових і соціально-економічних, що дозволяє враховувати комплексний вплив воєнної діяльності на ґрунтові екосистеми. Такий підхід дає змогу оцінювати не тільки поточні втрати родючості та продуктивності, а й прогнозувати потенційні зміни біогеохімічних процесів та відновлювальні можливості ґрунтів.

Системна оцінка деградаційних процесів також сприяє ефективному плануванню адаптивних і превентивних заходів, включаючи меліорацію, біоремедіацію, рекультивацію ландшафтів і контроль ерозійних процесів. Регулярний моніторинг та оновлення даних дозволяють коригувати стратегії відновлення відповідно до реальної динаміки змін ґрунтового покриву.

Таким чином, запропонована методологічна схема є надійним інструментом для комплексного управління станом ґрунтів воєнного походження та забезпечення стійкого відновлення екосистем, що постраждали внаслідок воєнних дій.

Вона поєднує наукові підходи, практичні дані і стратегічне планування, створюючи ефективний механізм для прийняття управлінських рішень у постконфліктному відновленні територій.

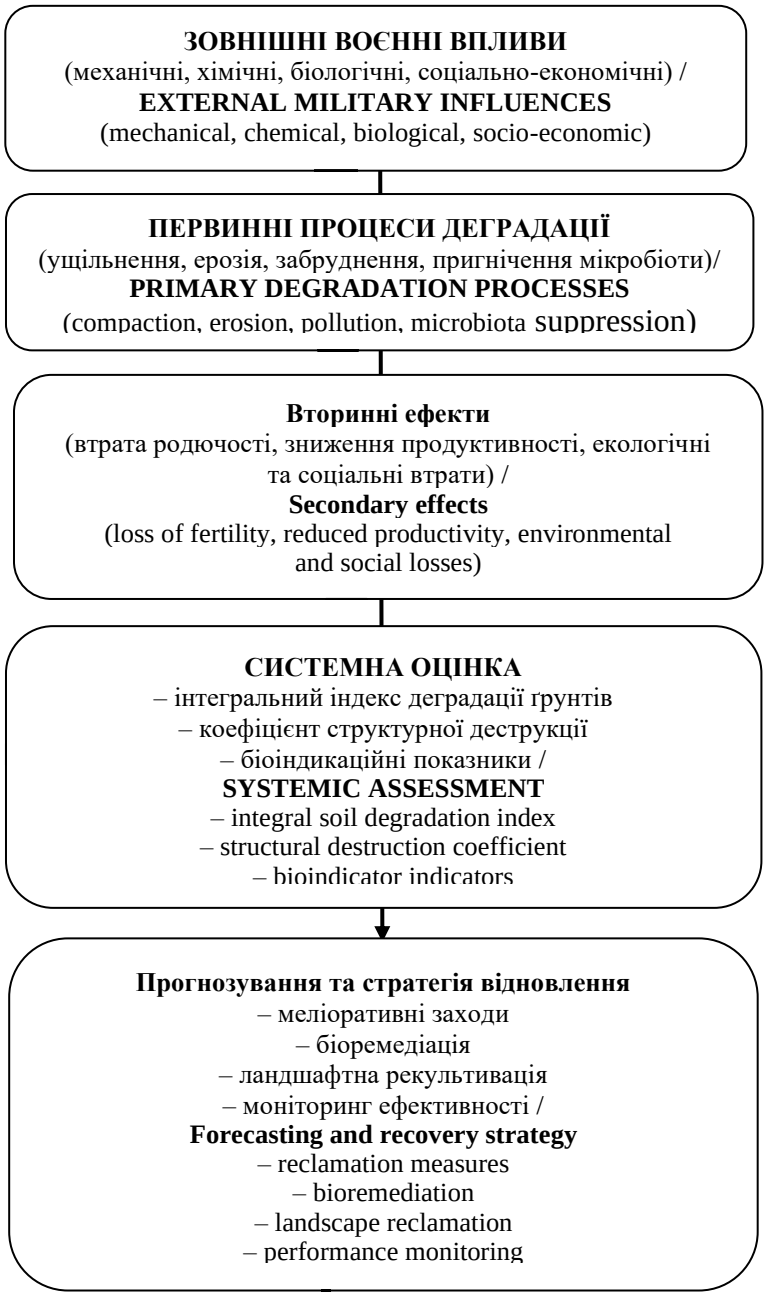


Рис. 1– Авторська схема системного аналізу деградації ґрунтів воєнного походження

Fig. 1– Author's scheme of systematic analysis of soil degradation of military origin

Висновки

У сучасних умовах воєнних дій на території України ґрунтовий покрив зазнає безпрецедентного погіршення, що проявляється через механічні руйнування, забруднення важкими металами, залишками вибухових речовин та вуглеводнями, а також руйнування структури ґрунтових профілів. Аналіз цих процесів потребує системного та міждисциплінарного підходу, який поєднує методи ґрунтознавства, екотоксикології, геоінформаційних технологій та екологічної аналітики.

Теоретичний аналіз показав, що деградаційні процеси у ґрунтах воєнного походження мають комплексний характер і проявляються як каскадні ефекти, коли механічні, хімічні та біологічні фактори взаємно посилюють руйнування структури ґрунтів. Для їх системного оцінювання необхідно враховувати ієрархічні зв’язки між компо-

нентами екосистеми, інтегрувати фізичні, хімічні та біологічні показники деградації, виявляти зворотні зв'язки між забрудненням і природним самовідновленням ґрунтів, а також прогнозувати подальший розвиток процесів із застосуванням ГІС та моделей машинного навчання.

Практичний аналіз стану ґрунтів у воєнно уражених регіонах демонструє, що найвищий рівень забруднення та деградації спостерігається у зонах активних бойових дій. У цих територіях концентрації важких металів перевищують гранично допустимі значення у 5-12 разів, мікробіологічна активність падає на 35-65 %, а коефіцієнт структурної деструкції ґрунту суттєво зростає. Такі зміни свідчать про пригнічення біоценотичних зв'язків, втрату родючості та підвищену вразливість до ерозійних процесів.

Системний підхід до оцінки деградації ґрунтів передбачає комплексний моніторинг: геохімічний, фізико-механічний, мікробіологічний та ландшафтний. Використання інтегральних показників деградації, таких як індекс екологічної деградації, індекс структурно-біологічної стабільності та коефіцієнт воєнно-техногенного навантаження, дозволяє узагальнювати результати спостережень і створювати прогностичні моделі стану ґрунтів.

Реалізація системної моделі дозволяє не лише оцінювати поточний стан ґрунтів, а й прогнозувати динаміку деградаційних процесів у майбутньому. Вона забезпечує основу для науково обґрунтованого прийняття рішень щодо пріоритетів рекультивації та визначення ефективних методів відновлення. Інтеграція фізико-хімічних, біологічних, геопросторових та соціально-економічних даних дозволяє враховувати комплексний вплив воєнної діяльності на екосистеми та прогнозувати потенційні зміни біогеохімічних процесів.

Системна оцінка деградації ґрунтів сприяє плануванню адаптивних та превентивних заходів, включаючи меліорацію, біоремедіацію, рекультивацію ландшафтів і контроль ерозійних процесів. Регулярний моніторинг та оновлення даних дозволяють коригувати стратегії відновлення відповідно до реальної динаміки змін ґрунтового покриву.

Отже, запропонована методологічна схема системного аналізу є надійним інструментом для комплексного управління станом ґрунтів воєнного походження, забезпе-чення стійкого відновлення екосистем та мінімізації соціально-екологічних збитків. Вона поєднує наукові підходи, практичні дані та стратегічне планування, створюючи ефективний механізм прийняття управлінських рішень у постконфліктному відновленні територій.

Конфлікт інтересів

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

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Бережняк Є. М., Наумовська О. І., Бережняк М. Ф. Деградаційні процеси в ґрунтах України та їх негативні наслідки для довкілля. *Біологічні системи: теорія та інновації.* 2022. Т. 13. № 3-4. С. 96-109. https://doi.org/10.31548/biologiya13(3-4).2022.014
2. Зайцев Ю. О., Собко В. І., Кожевнікова В. Л., Лобанова О. П., Кирильчук А. М. Класифікація процесів, що спричиняють деградацію земельних угідь. *Агроекономічний журнал.* 2022. № 3. С. 150-159. https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266420
3. Сакун А. О., Кутковий Д. О. Оцінка впливу наслідків військових дій на ґрунти. *Екологічні науки.* 2025. № 1 (58). С. 350-353. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.56
4. Кучер А. В. Методологічні засади оцінювання впливу бойових дій на ґрунти в контексті продовольчої безпеки. *Актуальні проблеми економіки.* 2024. № 9 (279). С. 245-262. URL: https://eco-science.net/wp-content/uploads/2024/09/9.24._topic_Anatolii-Kucher-245-262.pdf (дата звернення: 21.10.2025).
5. Юхно В. Моніторинг земель забруднених внаслідок воєнних дій. BUILD MASTER CLASS 2024: Conference Proceedings of the International Scientific-Practical Conference of Young Scientists. С. 121-122. https://doi.org/10.59647/978-617-520-936-3/1
6. Гончарова А. Є. Вплив війни на ґрунт і сільськогосподарські землі: бібліометричний аналіз та вдосконалення методів оцінки збитку. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 4. С. 87-97. https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2024.319356
7. Оцінка стану ґрунтового покриву України у 2023–2024 рр. Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського НАН України. URL: https://www.iogu.gov.ua/link/press_center/magazines/magazine_2024.html (дата звернення: 21.10.2025).

8. Звіт про стан виконання у 2024 році Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2021 р. № 443. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2025/03/Zvit-po-vykonannyu-NPD-za-2024.pdf (дата звернення: 21.10.2025).
9. Білик О. І. Перспективи розвитку земельних відносин в умовах воєнного стану в Україні. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: право, публічне управління та адміністрування*, 2025. № 16. https://doi.org/10.54929/2786-5746-2025-16-01-07
10. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Mazur S., Vynokurova N., Sementsova K., Mariychuk R. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land.* 2024. № 10. https://doi.org/10.3390/land13101614
11. Eslami E., Seyed Joodat S.H. Bioremediation of Oil and Heavy Metal Contaminated Soil – Case Study. ArXiv. 2018. https://doi.org/10.48550/arXiv.1806.03717
12. Splodytel A., Holubtsov O., Chumachenko S., Sorokina L. The impact of Russia's war against Ukraine on the state of the country's soil Analysis results. *Ecoaction Centre for Environmental Initiatives*.2023. Report. URL: https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/Impact-of-war-on-soil-Ecoaction.pdf (дата звернення: 21.10.2025).
13. Bonchkovskyi O. War-induced Soil Disturbances in North-Eastern Ukraine and Secondary Geomorphic Processes. *Science of the Total Environment.* 2025. Vol. 964. 178594. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594
14. Altoff P.S., Thien S.J. Impact of M1A1 Main Battle Tank Disturbance on Soil Quality, Invertebrates, and Vegetation Characteristics. *Journal of Terramechanics.* 2005. № 42. P. 159-176. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2004.10.014
15. Perez-Reche F.J., Taraskin S.N., Otten W., et al. Prominent Effect of Soil Network Heterogeneity on Microbial Invasion. ArXiv. 2012. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.109.098102
16. Kucher, A. Ukrainian black soils in war: assessing the impact of hostilities on violations of the guidelines for sustainable soil management. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2025. Vol.11. N 2. P. 341–369. https://doi.org/10.51599/are.2025.11.02.12
17. Leal Filho W., et al. The Impacts of the War on the Preservation Areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management.* 2024. Vol. 364. 121399. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399
18. Didenko N.O. Soil Damage and Recovery in Ukraine: Lessons from Global Post-War Experiences. *Land Reclamation and Water Management.* 2024. № 2. P. 79-90. https://doi.org/10.31073/mivg202402-391
19. Lal R. Деградация и загрязнение почвы как глобальная чрезвычайная ситуация в области общественного здравоохранения. *Архив медицинских исследований*, 2025. 13(5). https://doi.org/10.18103/mra.v13i5.6474
20. Handelsman J., Cohen K. A World Without Soil: The Past, Present, and Precarious Future of the Earth Beneath Our Feet. Yale University Press, 2021. 320 p. https://doi.org/10.12987/9780300263107

Отримано: 25.10.2025 / Переглянуто: 26.11.2025 / Прийнято: 29.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

A. O. POPSUY,
[1]Non-Key Expert, [2]Phd Student of the Department of Ecology,
E-mail: artem.ol.popsui@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-0898-5873
[1]NIRAS Sweden AB
Hantverkargatan 11B, 112 21 Stockholm, Sweden
[2]Polish National University
Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, 10008. Ukraina

METHODOLOGICAL BASIS FOR SYSTEMATIC ANALYSIS OF MILITARY SOIL DEGRADATION

Purpose. To substantiate the methodological foundations of the systematic analysis of degradation processes in soils of military origin and to form an integrated model for assessing their condition, dynamics and forecasting restoration. The scientific need for the creation of an interdisciplinary monitoring system combining geochemical, physical-mechanical, microbiological and landscape-analytical approaches is identified.

Methods. Mathematical modeling, statistical analysis and machine learning systems were used to process and generalize data, which provided a comprehensive assessment of the impact of military factors on the condition of soils.

Results. The study used system-ecological and geoinformation approaches, methods of toxicological analysis, remote sensing, as well as index assessment of degradation processes using integral indicators - the index of ecological soil degradation (IEDS), the index of structural-biological stability (ISBS) and the coefficient of military-technogenic load (WTC). It has been proven that the degradation of soils of military origin has a cascading nature: primary mechanical damage causes secondary processes - compaction, erosion, reduced water permeability, loss of microbiological activity and structural stability. According to the results of the analysis, it was established that in areas of active hostilities, the concentrations of toxic elements exceed the maximum permissible values by 5–12 times, and microbiological activity decreases by 35–65%. The developed system model allows identifying territories with the highest level of degradation, predicting further changes in the state of soils and forming priorities for reclamation. The combination of GIS mapping, bioindication and analytical modeling creates a scientific basis for ecological and management decisions in the field of post-conflict recovery.

Conclusions. The proposed methodological scheme of system analysis is an effective tool for assessing degradation processes in soils of military origin. It provides integration of multi-level environmental data, contributes to the formation of adaptive reclamation strategies and increases the efficiency of state environmental monitoring. The use of such a system will minimize social and environmental risks, preserve agricultural landscapes and support sustainable development of affected areas.

KEYWORDS: *soil degradation, military origin, system analysis, integral degradation index, reclamation, geographic information systems, microbiological activity*

Conflict of Interest

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

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Berezhniak, Ye. M. Naumovska, O. I. & Berezhniak, M. F. (2022). Degradation processes in the soils of Ukraine and their negative consequences for the environment. *Biological Systems: Theory and Innovation*, *13*(3-4), 96-109. https://doi.org/10.31548/biologiya13(3-4).2022.014 (in Ukrainian).
2. Zaitsev, Yu. O. Sobko, V. I. Kozhevnikova, V. L. Lobanova, O. P. & Kyrylchuk, A. M. (2022). Classification of processes causing land degradation. *Agro-Economic Journal*, (3), 150-159. https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266420 (in Ukrainian).
3. Sakun, A. O. & Kutkovyi, D. O. (2025). Assessment of the impact of military actions on soils. Ecological Sciences, (58), 350-353. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.56 (In Ukrainian).
4. Kucher, A. V. (2024). Methodological principles of assessing the impact of hostilities on soils in the context of food security. *Actual Problems of Economics*, (9(279)), 245-262. Retrieved from https://eco-science.net/wp-content/uploads/2024/09/9.24._topic_Anatolii-Kucher-245-262.pdf (In Ukrainian).
5. Yukhno, V. (2024). Monitoring of lands contaminated as a result of hostilities. *International Scientific-Practical Conference of Young Scientists «Build-Master-Class-2024»,* 121-122. https://doi.org/10.59647/978-617-520-936-3/1 (In Ukrainian).
6. Honcharova, A. Ye. (2024). The impact of war on soil and agricultural land: bibliometric analysis and improvement of damage assessment methods. *Balanced Nature Management*, (4), 87-97. https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2024.319356 (In Ukrainian).
7. Assessment of the state of Ukraine's soil cover in 2023-2024. *Institute of Soil Science and Agrochemistry Named after O. N. Sokolovskyi of NAS of Ukraine.* Retrieved from https://www.iogu.gov.ua/link/press_center/magazines/magazine_2024.html (In Ukrainian).
8. Report on the implementation in 2024 of the National Action Plan for Environmenta. *Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine*. Retrieved from https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2025/03/Zvit-po-vykonannyu-NPD-za-2024.pdf (In Ukrainian).
9. Bilyk, O. I. (2025). Prospects for the development of land relations under martial law in Ukraine. *Problems of Modern Transformations*, (16). https://doi.org/10.54929/2786-5746-2025-16-01-07 (In Ukrainian).
10. Solokha, M. Demyanyuk, O. Symochko, L. Mazur, S. Vynokurova, N. Sementsova, K. & Mariychuk, R. (2024). *Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. Land*, (10). https://www.mdpi.com/2073-445X/13/10/1614
11. Eslami, E. & Seyed Joodat S.H. (2018). *Bioremediation of Oil and Heavy Metal Contaminated Soil – Case Study. ArXiv*, https://doi.org/10.48550/arXiv.1806.03717
12. Splodytel A., Holubtsov O., Chumachenko S., Sorokina L. (2023). The impact of Russia's war against Ukraine on the state of the country's soil Analysis results. *Ecoaction Centre for Environmental Initiatives*. Retrieved from https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/Impact-of-war-on-soil-Ecoaction.pdf

13. Bonchkovskyi, O. (2025). *War-induced Soil Disturbances in North-Eastern Ukraine and Secondary Geomorphic Processes. Science of the Total Environment, 964.* https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594
14. Altoff, P.S. & Thien, S.J. (2005). Impact of M1A1 Main Battle Tank Disturbance on Soil Quality, Invertebrates, and Vegetation Characteristics. *Journal of Terramechanics.* (42), 159-176. https://doi.org/10.1016/j.jterra.2004.10.014
15. Perez-Reche, F.J. Taraskin, S.N. Otten, W. et al. (2012). *Prominent Effect of Soil Network Heterogeneity on Microbial Invasion. ArXiv.* https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.109.098102
16. Kucher, A. (2025). Ukrainian black soils in war: assessing the impact of hostilities on violations of the guidelines for sustainable soil management. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, *11*(2), 341–369. https://doi.org/10.51599/are.2025.11.02.12
17. Filho, W. L., Fedoruk M., Pires Eustachio J-H. P., Splodytel A.,Smaliychuk A., Szynkowska-Jóźwik M.I. (2024). The Impacts of the War on the Preservation Areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management, 364.* https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399
18. Didenko, N.O. (2024). Soil Damage and Recovery in Ukraine: Lessons from Global Post-War Experiences. *Land Reclamation and Water Management.* (2), 79-90. https://doi.org/10.31073/mivg202402-391
19. Lal R. (2025). Soil Degradation: A Public Health Emergency. *EMedical & Science Perspectives, 13(5).* https://doi.org/10.18103/mra.v13i5.6474
20. Handelsman, J. & Cohen, K. A (2021). World Without Soil: The Past, Present, and Precarious Future of the Earth Beneath Our Feet. *Yale University Press, 2021*, 320. Retrieved from https://dokumen.pub/a-world-without-soil-the-past-present-and-precarious-future-of-the-earth-beneath-our-feet-9780300263107.html

Submission received: 25.10.2025 / Revised: 26.11.2025 / Accepted: 29.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-09
UDC 556. 532 (477-924-52)

O. M. KRAYNYUKOV[1], DSc(Geography), Prof.,
Professor of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: kraynukov@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5264-3118

B. Y. MATISKO[1],
PhD Student of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: matisko1998@gmail.com ORSID ID: https://orcid.org/0009-0001-2672-1813
[1]*V. N. Karazin Kharkiv National University,*
4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

TOWARDS THE IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR ASSESSING DAMAGE FROM SOIL CONTAMINATION CAUSED BY EMERGENCIES AND ARMED AGGRESSION

Purposes. Analyze research on improving the methodology for determining the amount of damage from soil contamination due to emergencies and armed aggression.

Results. Based on a analysis of the current regulatory framework, domestic and foreign scientific reserths, significant shortcomings of the current Methodology are outlined, in particular, limited consideration of soil degradation types, insufficient scientific validity of coefficients, and the absence of a comprehensive cost approach.Taking into account the potential impacts of hostilities on land resources and soil degradation, an attempt made to substantiate key proposals for improving the current methods for determining damage and losses caused to soil as a result of armed aggression.

Conclusions. The need to include the costs of research, monitoring and analysis of pollution in the total amount of damage is argued. The proposed clarifications are aimed at increasing the accuracy of environmental accounting and forming sustainable principles of public management in the field of environmental restoration.

KEYWORDS: *damage assessment methodology, soil degradation, armed aggression, environmental damage, soil restoration, martial law*

Як цитувати: Krainiukov O. M., Matisko B. Y. Towards the improvement of the methodology for assessing damage from soil contamination caused by emergencies and armed aggression. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 120-131. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-09

In sites: Krainiukov, O. M., & Matisko, B.Y. (2025). Towards the improvement of the methodology for assessing damage from soil contamination caused by emergencies and armed aggression *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (44), 120-131. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-09

Introduction

The armed aggression against Ukraine has led to large-scale soil contamination with explosives, heavy metals, petroleum products and other toxicants. This poses a threat to environmental safety, food security and public health. Accordingly, there is a need to improve damage assessment methods, which will allow for effective response, recovery and international legal protection.

Today, one of the key and extremely urgent tasks is the economic assessment of the environmental consequences of the war for the territory of Ukraine, which requires an appropriate methodology. If the Ukrainian government began to deal with the recording and assessment of direct economic losses caused by the full-scale invasion of the Russian Federation almost immediately, then the situation with the assessment of environmental losses was initially somewhat more complicated, which is associated with certain problems of both a methodological nature and other reasons.

To solve these problems, an Operational Headquarters was created under the State Ecological Inspectorate of Ukraine, the main task of which is to form a list of all violations in the field

© Krainiukov O. M., Matisko B. Y., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

of environmental protection and to hold Russia accountable.

In addition, the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (hereinafter referred to as the Ministry of Environment) is using various tools to record environmental crimes and damage caused by the occupiers to the Ukrainian environment [1]. In connection with the full-scale Russian armed aggression, the issues of assessing the damage and losses caused to the land and soils of Ukraine as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law have become extremely urgent, which has led to an urgent need to develop a methodology for determining these losses. The problem of assessing the damage caused to soil resources as a component of the natural resource potential and a component of land capital as a result of armed aggression is new and significant for both science and practice.

In this study, an analysis of existing national and international methodologies for determining the extent of damage caused by soil contamination resulting from emergencies and armed aggression was conducted.

Results and discussion

The relevance of the topic is evidenced by a significant number of publications. The problematic issues of determining the amount of damage due to pollution of land resources [2], modern legal problems of land restoration [3], foreign experience of legal regulation of public administration in conditions of emergency situations and martial law [4], legal issues of determining damage caused to land as a result of armed aggression and hostilities [5], global approaches to assessment, monitoring, mapping and elimination of soil pollution [6] and assessment of soil pollution and sustainable restoration strategies are studied. The imperfection of the methodology for determining the amount of damage caused by pollution and contamination of land resources due to violations of environmental legislation is also noted, namely, the insufficient validity of the criteria by which the levels of land pollution are established.

At the global level, these issues are addressed by such authoritative institutions as the World Economic Forum (WEF) [7; 8], the Royal Institute of Defense Studies (RUSI) [9; 10], the European Bank for Reconstruction and Develop-ment (EBRD) [11], the Organization for Econo-mic Cooperation and Development (OECD) [12], etc. In their analytical materials, they focus on the deep challenges that arise in crisis conditions: ensuring national security and defense, main-taining economic stability, adapting to rapid technological changes, countering hybrid threats, etc. Researchers emphasize the need to develop flexible and adaptive management models capable of quickly responding to dynamic changes in the security environment.

The main impacts of military operations are soil resources. According to DSTU 7874:2015 "Soil protection. Soil degradation. Basic provisions", soil degradation is a natural and anthropogenic process of deterioration of natural properties and soil regimes, which cause persistent negative changes in their functions, reduce stability and reduce fertility. This DSTU identifies the following types (a group of types of soil degradation, united by the similarity of the causes and mechanisms of the development of negative phenomena) of soil degradation [13]:

- mechanical degradation – deformation and/or destruction of genetic horizons or the entire soil profile, associated with mechanical movement and spatial redistribution of soil mass;
- physical degradation – persistent deterioration of physical and water-physical properties of soil, granulometric and aggregate composition, negative changes in water and temperature regimes;
- chemical degradation – deterioration of the chemical properties of the soil, negative changes in the content of macro-, meso- and microelements, contamination with toxicants;
- physicochemical degradation – deterioration of the physicochemical properties of the soil (acid-base, colloidal and buffer), negative changes in the ratio of components of the absorption complex;
- biological degradation – a persistent deterioration of the biological properties of the soil, which leads to a decrease in the productivity of the soil biocenosis;
- radiation degradation – deterioration of the radiation state of soils due to contami-nation with radioactive elements.

Each of these types includes a set of specific types of soil degradation (deterioration of soil properties and/or regimes, which can be described by one or more degradation assessment indicators that have related mechanisms of impact on soils and similar forms of degradation manifestation).

Due to the full-scale aggression of the Russian Federation, soil resources of Ukraine

are undergoing large-scale destruction, deterioration of quality, and intensification of degradation processes. Scientists of the NSC "IGA named after O. N. Sokolovsky" introduce a new type of soil degradation – degradation caused by armed aggression.

It should be noted the importance of developing a unified classification of types of soil degradation as a result of military actions. This is a new area of research and it is included in the plans of scientific research and work programs of the specified institute. At the current stage of scientific research, based on the specified standard [13] and research by scientists of the NSC "IGA named after O. N. Sokolovsky", the following are included in the main areas of negative impact of armed aggression on soils:

- mechanical degradation – disruption of the morphological structure of the soil profile; mixing of genetic horizons; increased soil heterogeneity; appearance of unusual inclusions in the soil – foreign bodies (fragments, shells, mines, rockets, cartridges, etc.), disruption of the soil cover due to the rupture of mines, ammunition and the formation of craters, ditches, pits, trenches, trenches; provoking the development of erosion, landslides, destruction of the soil cover, flooding, etc.);
- physical degradation – intensive soil compaction due to the movement of heavy military equipment; destructuring due to a decrease in the content of agronomically valuable fractions, etc.;
- chemical degradation – accumulation of heavy metals, petroleum products and other hazardous pollutants due to munitions explosions, destruction of heavy equipment or its movement from the zone of radioactive contamination; loss of organic carbon, change in its quality, loss of nutrients, movement to the surface of soil horizons in which water-soluble salts accumu-lated – soil salinization, etc.;
- physicochemical degradation – acidification, alkalization of the soil, loss of buffer functions, etc.;
- biological degradation – changes in the structure or loss of soil biota of agronomically useful communities, a decrease in soil biological activity, a decrease in biodiversity, etc.;
- other areas of impact on soils and land plots – loss of ecosystem services; land contamination (presence of foreign objects, materials, waste and/or other substances on the land plot without appropriate permits); burning of fields, burning of vegetation and/or its remains, etc.

The above types of negative impact of armed aggression on soils are closely interrelated. All aspects of soil degradation must be taken into account in the methods of determining damage and losses caused to lands and soils as a result of armed aggression of the Russian Federation.

Regulatory and legal framework for assessing damage and losses caused to lands and soils. The current main regulatory and legal framework for assessing damage and losses caused to lands and soils of Ukraine as a result of Russian aggression includes the following key documents:

- Procedure for determining damage and losses caused to Ukraine as a result of the armed aggression of the Russian Federation (approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 20, 2022 No. 326) [14];
- Methodology for determining the amount of damage caused to land and soils as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law (approved by order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine dated April 4, 2022 No. 167) [15];
- Methodology for determining damage and losses caused to the land fund of Ukraine as a result of the armed aggression of the Russian Federation (approved by order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine dated May 18, 2022 No. 295) [16].

The main weaknesses of the current Methodology for determining the amount of damage caused to land and soil as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law:

- Insufficient consideration of international experience in assessing damages as an evidentiary basis in the context of holding the aggressor accountable and limited opportunities to do so due to the lack of such generally recognized methods in the world.
- Failure to take into account the impact of hostilities on the mechanical degradation of soil resources.
- Failure to take into account the impact of hostilities on the physical degradation of soil resources.
- Incomplete consideration of the impact of hostilities on the chemical degradation of soil resources, in particular, the loss of organic carbon, changes in its quality, and the loss of nutrients are ignored.
- Failure to take into account the impact of hostilities on the physicochemical degradation of soil resources.

− Failure to take into account the impact of hostilities on the biological degradation of soil resources.

− Failure to take into account the impact of hostilities on other types of soil resource degrada-tion, in particular, the loss or reduction in the value and value of soil ecosystem services, field burning, and burning of vegetation and/or its remains.

− Insufficient justification of individual coefficients. For example, when determining the amount of damage from soil contamination, the specific costs for eliminating the consequences of soil contamination of the relevant land plot (A) were taken at 1.5, that is, they were actually equated to one and a half times the normative monetary value of the land plot whose soils were contaminated. Experts from the Professional Association of Ecologists of Ukraine propose to apply a value of 10 for indicator A, taking into account the special status of land as a major national asset, the danger of pollutants (heavy metals), the duration and significant cost of soil restoration measures. When determining the amount of damage due to land contamination, the specific costs for eliminating the consequences of land contamina-tion, including cleaning (A), are taken at 1, that is, they are actually equated to the regulatory monetary valuation of the land that has been contaminated. The conversion factor for contami-nation of a land plot with foreign objects, materials, waste and/or other substances without appropriate permits (B) is 15, and for hazardous waste and/or other hazardous substances – 300. Experts from the Professional Association of Ecologists of Ukraine propose to apply a value of 10 for indicator A, and 300 for indicator B. The arguments regarding the latter indicator are related, in particular, to the fact that in accordance with Article 34 of the Law of Ukraine "On Waste", all hazardous waste is divided into four classes according to the degree of their harmful impact on the environment and on human life and health and is subject to accounting. That is, all waste is hazardous. In addition, there is currently no valid regulatory document in the field of waste management, approved in the established manner, which regulates the procedure for determining the class, category of waste hazard. There is every reason to agree with the proposals regarding the advisability of applying one coefficient for all waste, however, determining the value of the considered coefficients requires additional scien-tific justification.

− Insufficient consideration of the cost-effective methodological approach to restoring soils affected by armed aggression and hostilities, i.e. by determining the cost of restoring soil quality. The latter, in turn, is determined by the cost of measures that must be applied to restore soil parameters to their initial (pre-war) level.

− Failure to take into account the costs of assessing the extent of damage and losses (conducting research, sampling, analyses, remote sensing, collecting economic data and performing calculations, etc.).

Main proposals for improving the current Methodology for determining the amount of damage caused to land and soils as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law.

Given the weaknesses outlined, the following main additions and/or suggestions are proposed to improve the specified Methodology:

1. Determining the amount of damage due to mechanical soil degradation (MSD). The amount of damage due to mechanical soil degradation is determined based on the amount of costs for measures to recultivate soils disturbed as a result of hostilities.

2. Determining the amount of damage due to physical soil degradation (PSD). The amount of damage due to physical soil degradation is determined based on the amount of costs for measures to decongest soils disturbed as a result of hostilities.

3. Determining the amount of damage due to chemical soil degradation (SCD). In this case, it is proposed to supplement the calculation of damage due to soil contamination with damage from the loss of organic carbon and loss of nutrients.

4. Determination of the extent of damage caused by physical and chemical degradation of soils (PCD). The extent of damage caused by physical and chemical degradation of soils is determined based on the total cost of measures to neutralize the acidity of soils affected by hostilities.

5. Determination of the amount of damage due to biological degradation of soils (RBD). The amount of damage due to biological degradation of soils is determined based on the amount of costs for measures to restore soil biota and biodiversity of the soil affected by hostilities. If these costs are included in other items (for example, costs for eliminating the consequences of soil contamination - remediation measures - may

include the cost of phyto-amelioration and soil remediation using biological products that allow restoring the state of microbial coenoses in soils), then they are not determined separately. When determining the amount of damage due to physical, chemical and physico-chemical degradation of soils, it is worth relying on the methodological developments of the NSC "IGA named after O. N. Sokolovsky" [17].

6. Determination of the amount of damage due to other types of soil degradation (RSHD). In this case, it is proposed to supplement the calculation of damage due to land contamination with damage from the loss or reduction of soil ecosystem services, field burning, burning of vegetation and/or its residues [18]. For the economic assessment of damage from burning of plant residues, it is worth taking as a basis the methodology developed under the leadership of S. Yu. Bulygin [19], according to which all damage caused to the environment is grouped into five categories:

(1) damage from the destruction and/or transformation of soil organic matter under the influence of high temperatures during burning of residues;

(2) losses from increased erosion and deflationary risks;

(3) losses from the destruction of plant residues as an organic fertilizer and a source of soil organic matter renewal;

(4) damage from the destruction of natural soil fauna and soil microbiological fauna; (5) damage from air pollution by products of burning plant residues and oxygen consumption.

The first three items are direct (internal) damages, which are calculated according to the relevant formulas and standards, the last two items are indirect (external) damages, which are equal to the sum of the first three (since it is very difficult, and sometimes impossible, to quantify them, it is assumed that external environmental damages are no less in size than direct ones).

The amount of damage resulting from other types of soil degradation caused by armed aggression and hostilities is determined based on the amount of costs for measures to restore soil quality to its initial (pre-war) level.

7. Determination of costs for assessing the extent of damage and losses (D&L). The amount of costs for assessing the extent of damage and losses caused to land and soil as a result of emergencies and/or armed aggression and hostilities during martial law is determined based on the costs of conducting research, sampling, analysis, remote sensing, collecting economic data and performing calculations, etc.

8. Determination of the total amount of damage for the simultaneous manifestation of all types of soil degradation (TED). The total amount of compensation for the simultaneous manifestation of all types of soil degradation as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law is determined by the formula:

$$TED = MSD + PSD + SCD + PCD + RBD + RSHD$$

9. It is recommended to expand the range of entities that establish the facts of soil degradation caused by armed aggression, as well as their scale. In particular, the number of specified entities should include all entities that exercise state control over the use and protection of lands of all categories and forms of ownership in accordance with the Law of Ukraine "On State Control over the Use and Protection of Lands" (central executive body that implements state policy in the field of land relations; central executive body on agrarian policy; central executive body that ensures the implementation of state policy on state supervision (control) in the field of environmental protection, rational use, reproduction and protection of natural resources; executive bodies of village, settlement, city councils within the powers defined by law), as well as scientific institutions of NASU, NAAS, land owners and land users, enterprises, institutions and organizations whose land plots were damaged and lost as a result of armed aggression.

Technologies for monitoring and assessing the condition of land resources.

Also, one of the most important state problems today is the monitoring and protection of lands for the post-war restoration and development of the economy of Ukraine, the solution of which is largely associated with a comprehensive system of observations, assessment and forecasting of the state of changes in land resources and the restoration of soil fertility under the influence of natural and anthropogenic factors. It should be noted that monitoring refers to the functions of state administration, where the content, features and procedure for conducting land monitoring are regulated by the Land Code of Ukraine, the laws of Ukraine "On Land Protection", "On Environmental Protection", "On Land Management", "On State Control over the Use and Protection of

Lands", "Regulations on Land Monitoring" and other subordinate legislation.

The definition of land monitoring is given and legally enshrined in Art. 191 of the Land Code of Ukraine [20], according to which land monitoring is a system of observations of the state of land, which aims to timely detect changes in the state of land, assess them, prevent and eliminate the consequences of negative processes. The Land Code of Ukraine and the Regulations on Land Monitoring establish the structure, tasks and content of monitoring. The task of land monitoring is to collect information necessary for maintaining the state land cadastre, organizing land use and land management, exercising state control over the use and protection of land in order to prevent negative processes. Thus, monitoring becomes particularly relevant, allows you to clearly determine the quantitative and qualitative characteristics of land resources and, if necessary, take timely measures adequate to the background state of the land. It is also designed to initiate an environmentally friendly, resource-saving and regenerative, that is, rational, nature of their use, providing for the preservation of soils and limiting the negative impact on them [21].

Land monitoring is carried out at the local (on the territory of individual land tenures, land uses, landscape areas), regional (within administrative-territorial units, on the territories of economic and natural regions), national (covers the entire territory of Ukraine) and global levels (connected with international scientific and technical 16 programs). At each level, it is advisable to determine the impact of anthropogenic load. This requires various integral indicators of the action of anthropogenic load of all subspecies and the use of integral assessment indices. This encourages rational planning of territories and placement of national economic objects on them, taking into account the rules and norms of environmental protection [22].

Land monitoring is regulated by Law of Ukraine "On Environmental Protection: Art. 22 In order to ensure the collection, processing, preservation and analysis of information on the state of the environment, forecasting its changes and developing scientifically based recommendations for making effective management decisions in Ukraine, a system of state environmental monitoring is being created. Monitoring of the state of the environment and the level of its pollution is carried out by the central executive body that implements state policy in the field of environmental protection, other specially authorized state bodies, as well as enterprises, institutions and organizations whose activities lead or may lead to a deterioration in the state of the environment. The specified enterprises, institutions and organizations are obliged to transfer analytical materials of their observations to the relevant state bodies free of charge.

The procedure for conducting state environmental monitoring is determined by the Cabinet of Ministers of Ukraine.

State bodies, together with relevant scientific institutions, ensure the organization of short-term and long-term forecasting of environmental changes, which must be taken into account when developing and implementing programs and measures for the economic and social development of Ukraine, including environmental protection, use and reproduction of natural resources, and ensuring ecological safety [23];

Land monitoring is also regulated by Law of Ukraine "On State Control over the Use and Protection of Lands" (regarding monitoring of agricultural land soils). Art. 5: Bodies exercising state control over the use and protection of lands, compliance with the requirements of the legislation of Ukraine on land protection, monitoring of soil fertility.

State control over the use and protection of land of all categories and forms of ownership is carried out by the central executive body that implements state policy in the field of land relations. State control over the use and protection of land is also carried out by executive bodies of village, settlement, and city councils within the limits of their powers determined by law, if the relevant council adopts a decision to exercise such control.

State control over compliance with the requirements of the legislation of Ukraine on and protection is carried out by the central exeecutive body, which ensures the implementation of state policy on state supervision (control) in the field of environmental protection, rational use, reproduction and protection of natural resources.

Monitoring of soil fertility of agricultural lands and agrochemical certification of agricultural lands is carried out by the central executive body for agrarian policy.

Article 8: Powers of the central executive body implementing state policy in the field of land relations when monitoring soil fertility

Article 9: Organization and implementation of state control over the use and protection of lands, compliance with the requirements of the legislation of Ukraine on land protection and soil monitoring.

State control over the use and protection of lands, compliance with the requirements of the legislation of Ukraine on land protection and soil monitoring is carried out by:

- conducting inspections;
- consideration of applications from legal entities and individuals;
- participation in the commissioning of land reclamation systems and reclaimed lands, protec-tive forest plantations, anti-erosion hydraulic structures and other facilities that are being constructed to increase soil fertility and ensure land protection;
- review of land management documentation related to land use and protection;
- conducting soil monitoring and agrochemical certification of agricultural lands [24];
– Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On Approval of the Regulation on Land Monitoring” [25];
–"Regulations on the State Environmental Monitoring System" dated March 30, 1998, No. 391 [26].

Land monitoring should be understood not as separate one-time measures, but as a holistic, dynamic and continuous observation system that combines large-scale technical activities and in-depth information and analytical work. Its main task is to form a complete, objective and timely picture of the state of the country's land resources. This complex system is implemented through the active use of specialized technical means of control and careful, systematic tracking of the qualitative characteristics of the land. The monitoring process is multi-stage and includes a number of key operations, including:

Field surveys and sampling: Conducting route surveys, establishing test sites, taking soil and groundwater samples for further laboratory analysis to identify anthropogenic pollution, soil fatigue, or natural anomalies.

Comprehensive studies: Organization and conduct of soil-geobotanical, agrochemical, land reclamation, ecological-toxicological and other necessary surveys that allow for a comprehensive assessment of land, taking into account all interrelationships in the natural environment.

Laboratory and analytical work: Performing accurate laboratory analyses, measurements and tests to determine the chemical composition (content of heavy metals, pesticides, radionuclides, pH), biological properties (microbiological activity, humus content) and physical condition (density, structure, moisture) of soils.

However, the functions of land monitoring are not limited to the collection of empirical data. The next, no less important stage is their in-depth analysis, interpretation and systematization. Based on the mass of information received, specialists conduct a comprehensive assessment of the state of the land, develop scientifically based forecasts for the development of the main negative processes. Such processes include, in particular, water and wind erosion, man-made pollution, secondary salinization, drainage, flooding, acidification, loss of the fertile humus layer, as well as land degradation due to improper management. Based on these forecasts, specific preventive and restoration measures are developed aimed at preventing, localizing and completely eliminating negative phenomena.

Another critically important aspect of monitoring is the systematic observation of actual and targeted land use. This process involves identifying, recording, and documenting cases of inappropriate use of land plots, unauthorized land grabbing, and violations of good agricultural practices, which often lead to irreversible deterioration of soil quality, a decrease in soil fertility, and a general deterioration of the environmental situation in the region [27].

Land monitoring rightfully occupies a central, basic place in the general system of all other types of monitoring and state cadastres of natural resources. The information accumulated, systematized and updated as a result of its implementation serves as the main information foundation and a single geospatial framework for:

Conducting industry monitoring: Effective monitoring of the natural environment, water, forest, mineral and raw materials, and other resources is impossible without accurate and up-to-date information about land, since all natural objects are located on the land surface and are closely interconnected.

Formation and maintenance of state cadastres: Land monitoring data is the primary source for the formation and maintenance of the State Land Cadastre (SLC), and is also actively used in the State Cadastre of Natural Resources, the Cadastre of Flora and Fauna, which ensures the unity and consistency of the entire cadastral system of the country.

Land monitoring in Ukraine is organizationally and functionally assigned to the State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography and Cadastre (State Geocadastre). However, due to the complex and interdisciplinary nature of the tasks, this work is not carried out in isolation, but with the mandatory participation and

close interaction with other specialized central executive bodies and scientific institutions, among which the following play a key role:

- Ministry of Environmental Protection: Responsible for general environmental policy, environmental quality regulation, and pollution monitoring.
- Ministry of Agrarian Policy and Food: Ensures the connection of monitoring with the needs of agricultural production, develops recommendations for increasing soil fertility.
- Ukrainian Academy of Agrarian Sciences: Provides scientific support, conducts fundamental and applied research in the field of soil science, agrochemistry, and agriculture.

An important stage in the development and consolidation of the state control system was the adoption of the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 30.11.2016 No. 910-r "Issues of the State Service for Geodesy, Cartography and Cadastre". With this strategic document, the Government centralized and assigned to the State Geocadastre the full range of functions and powers for state supervision (control) in the agro-industrial complex. This concerns strict compliance with land legislation, rational use and protection of lands of all categories and forms of ownership, as well as ensuring the preservation and restoration of soil fertility. It is important to note that these critically important powers previously belonged to the State Inspectorate of Agriculture, which was liquidated as part of the administrative reform [28, 29].

Information on the condition of lands collected during field, laboratory and remote observations is subject to careful systematization and spatial generalization at various levels:

- By administrative-territorial units: (districts, cities, regions) for the needs of local self-government.
- By individual natural complexes and watersheds: (e.g., forest-steppe zone, Dnipro River basin) for ecological planning.
- By land categories and types of land: (agricultural land, forest land, etc.).

Further processing, storage, and analysis of these large data sets (Big Data) takes place in modern automated information systems (AIS) of regional land resources departments and the central office of the State Geocadastre.

The final product of analytical work is the preparation of detailed annual and periodic reports, scientifically based forecasts for the medium and long term, as well as packages of specific practical recommendations. These documents are sent in accordance with the established procedure to local executive authorities, local governments and the central office of the State Geocadastre for further implementation of operational, tactical and strategic measures. These measures are aimed at timely prevention, localization and complete elimination of the consequences of negative processes, as well as at stimulating rational land use.

Modern challenges and high requirements for land resource management in the context of global changes necessitate the widespread use of advanced, innovative approaches to collecting, storing, analyzing, modeling, and predicting the state of the environment. Solving these complex tasks is ensured solely through the implementation of a comprehensive geoinformation approach that integrates various data sources into a single digital space. The key technologies that dramatically increase the efficiency of land use and the quality of management decisions today are:

Modern geographic information systems (GIS): They are the core of the entire monitoring system. They provide a powerful platform for operational processing, deep spatial analysis, visual visualization in the form of maps and diagrams, secure storage and rapid transmission of information about the state of the land. It is GIS technologies that transform raw data into knowledge, which is critically important for making informed public management decisions at different levels [30].

Global positioning satellite systems (GPS, GLONASS, Galileo): Revolutionary opportunities have been opened for fast, accurate and cost-effective geodetic surveys and inventories of large areas. When conducting surveying work using GNSS equipment, the difficulties inherent in traditional methods (the need for direct visibility between points, the influence of weather conditions, low speed) largely disappear.

Remote sensing of the Earth (RS): It is a set of the most modern methods for studying the Earth's surface, lithosphere and atmosphere with subsequent decoding and interpretation of the obtained images. Aerospace means, in particular observations from artificial satellites of high and ultra-high spatial resolution (satellites of the Sentinel, Landsat, SPOT, Planet series), allow obtaining high-quality, objective, multispectral information in a mode close to real time. This provides a unique opportunity to quickly and with high accuracy assess the state of land resources and crops, monitor the dynamics of the state of forest lands, control unauthorized changes in the purpose of land, as well as promptly detect the occurrence and develop-

ment of dangerous natural phenomena (fires, floods) and man-made emergencies.

Thus, the information support of the land monitoring system is based on the integration of data from various sources:

Remote sensing data (space-based imaging and observation; Aerial photography and research from unmanned aerial vehicles (UAVs);Ground survey and observation: Includes route patrols, use of mobile laboratories, installation of stationary sensors and gauges; Stock (archival) data: Cartographic materials, materials of previous surveys, data from state cadastres, allowing analysis of the dynamics of changes.

The large-scale implementation of geoinformation technologies, global positioning systems, and advanced remote sensing methods of the Earth transforms them from simple tools into key drivers and infrastructure factors for increasing the efficiency of land resource management, thereby ensuring a new qualitative level of land monitoring in Ukraine and its integration into the European and global data space.

Conclusions

As a result of the research, an analysis of the potential opportunities for the development of methodological principles for determining the amount of damage caused to land and soil as a result of the armed aggression of the Russian Federation and the conduct of active hostilities during martial law was carried out. Taking into account the significant potential impacts of military operations on the state of land resources and the intensification of soil degradation processes, a comprehensive review of scientific publications was conducted and key proposals were substantiated for improving the current methods for determining the amount of damage and losses caused to soil cover as a result of armed aggression.

Based on the identified key weaknesses of the current Methodology for determining the amount of damage caused to land and soils as a result of emergencies and/or armed aggression and hostilities during martial law, a number of main additions and/or proposals have been proposed to significantly improve this Methodology, in particular: the introduction of a mechanism for determining the amount of damage due to mechanical, physical, chemical, physico-chemical, biological and other types of soil degradation based on a cost-based methodological approach, according to which the amount of damage due to soil degradation is determined based on the sum of all necessary costs for a set of measures to fully restore soil quality. As for clarifying the determination of the amount of damage due to other types of soil degradation, it is proposed to significantly supplement the calculation of damage due to land contamination by also including an assessment of damage from the loss or significant reduction of soil ecosystem services, damage from large-scale field burning, burning of vegetation and/or its remains. It is also proposed that the total amount of damage and losses caused to land and soil as a result of emergencies and/or armed aggression and hostilities during martial law must necessarily take into account the full amount of costs for assessing their value, based on the calculation of costs for conducting compre-hensive field research, sampling, laboratory analysis, remote sensing, collecting economic data and performing calculations, etc.

The practical value of this study lies in the fact that its results can be used by the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, the State Ecological Inspectorate of Ukraine and other interested parties to consistently improve the Methodology for determining the amount of damage caused to land and soils as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law, as well as for practical assessment of the amount of these losses during the restoration of affected territories.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification, and double publication.

***Authors Contribution*:** all authors have contributed equally to this work.

The work did not use an artificial intelligence resource.

References

1. Kucher, A. V., & Kucher, L. Yu. (2022). Economic assessment of the environmental consequences of war for the territory of Ukraine. Scientific youth - the potential for the restoration of Ukraine: In *Scientific youth – potential for Ukraine's recovery: Proc. All-Ukrainian Sci. Seminar* (pp. 41–43). SI “IGNP NAS of Ukraine”. Retrieved from

https://www.igns.gov.ua/wp-content/uploads/2022/06/zbirnyk_naukova_molod_potentsial_vid-novlennya_ukrainy.pdf (in Ukrainian)
2. Matsievych, T., & Mykhailiuk, A. (2024). Problematic issues of determining the amount of damage due to pollution of land resources. *Economic Bulletin of the Black Sea Region*. *5*. https://doi.org/10.37000/ebbsl.2024.05.07 (in Ukrainian)
3. Bukhova, D.M. (2024). Modern legal problems of restoration of lands damaged as a result of military actions. *Legal Bulletin of UzhNU*, *86*(3), 14. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2024.86.3.14
4. Goncharenko, G.A. (2024). Foreign experience of legal regulation of public administration in conditions of emergency situations and martial law: lessons for Ukraine. *Current problems of public administration*, *2*(65), 284–301. https://doi.org/10.26565/1684-8489-2024-2-15 (in Ukrainian)
5. Novak, T.S., & Shovkun, V.V. (2024). Determination of damage caused to land as a result of armed aggression and hostilities: legal issues. *Agrarian and Legal Journal*, *4*. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2024.04.43 (in Ukrainian)
6. Alvarenga, P. (2022). Soil Pollution Assessment and Sustainable. *Environments. 9*(4), 46. https://doi.org/10.3390/environments9040046
7. WEF (2024). *Global Risks Report. 17.* Retrieved from https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2022/
8. Eugenio, N.R., Naidu, R. & Colombo, C.M. (2020). Global approaches to assessing, monitoring, mapping, and remedying soil pollution. *Environmental Monitoring and Assessment, 192,* 601. https://doi.org/10.1007/s10661-020-08537-2
9. The UK Integrated Review Implications for UK Defense and Security. (2021). *Royal United Services Institute*. Retrieved from https://static.rusi.org/rusi_pub_281_chalmers_final_web_version_0_0.pdf
10. Wassenaar, M., Borghetto, M. (2022) Learning from international experience in 'smart adaptation' for national security. Occasional Paper. *Royal United Services Institute*. Retrieved from https://rusi.org/explore-our-research/publications/occasional-papers/learning-international-experience-smart-adaptation-national-security
11. Herbst, J. E., Khakova, O., & Lichfield, C. (2024). Reconstructing Ukraine at war: The journey to prosperity starts now. *EBRD*. London. Retrieved from https://reliefweb.int/report/ukraine/reconstructing-ukraine-war-journey-prosperity-starts-now
12. The COVID-19 Crisis as a "Critical Juncture": Government Responses, Trust, and the Social Contract. (2021). (OECD. *Policy Responses to the Coronavirus (COVID-19)*. Retrieved from https://www.oecd.org/en/publications/oecd-policy-responses-to-coronavirus-covid-19_5b0fd8cd-en.html
13. DSTU 7874 (2015) "Soil protection. Soil degradation. Basic provisions". [Valid from 2016-07-01]. Official edition. Kyiv: State Enterprise "UkrNDNTs". Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=62756 (in Ukrainian)
14. Procedure for determining damage and losses caused to Ukraine as a result of the armed aggression of the Russian Federation. (2022). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 326. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022- %D0%BF#Text (in Ukrainian)
15. Methodology for determining the amount of damage caused to land and soil as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law. (2022). Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine No. 167. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text (in Ukrainian)
16. Methodology for determining damage and losses caused to the land fund of Ukraine as a result of the armed aggression of the Russian Federation (2022). Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine No. 295. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0586-22#Text (in Ukrainian)
17. Miroshnychenko, M. M., Smirnova, K. B., Khrystenko, A. O., Skrylnyk, E. V., Tsapko, Yu. L., & Kucher, A. V. (2015). Methodological principles for determining losses from soil fertility deterioration. In S. A. Balyuk, & A. V. Kucher (Eds.) *Rational use of soil resources and restoration of soil fertility: organizational, economic, environmental and regulatory aspects*. Kharkiv: Smugasta typografiya, 235–245 (in Ukrainian)
18. Kucher, A. V. (2019). Damages from burning plant residues and legal liability. *Proc. of the XXII International Scientific and Practical Conference: Ecology, Environmental Protection and Balanced Nature Management: Education, Science, Production*. (pp.67–70). Kharkiv. (in Ukrainian)
19. Bulygin, S. Yu.(Ed.). (2011). Methodology for calculating losses from burning stubble and straw. Kyiv: State Scientific and Technical Center for Soil Fertility Protection. (in Ukrainian)
20. Land Code of Ukraine (2002). The Official Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, (34). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text (in Ukrainian)
21. Zatserkovny, V.I. (2014). Geographic information systems and remote sensing systems for land use in the tasks of effective land use. *Mathematical modeling in economics*, *1*. 40-48 (in Ukrainian).
22. Voznyak, R.P., Stupen, M.G., & Padlyak, M.I. (2006). Land legal process. "New World-2000", 224 (in Ukrainian)
23. On Environmental Protection: Law of Ukraine (1991). *Verkhovna Rada of Ukraine* No. 1264-XII. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text (in Ukrainian)
24. On state control over the use and protection of lands: Law of Ukraine (2003). Verkhovna Rada of Ukraine, No. 963-IV. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15#Text (in Ukrainian)
25. On approval of the Regulation on land monitoring (1993). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August No. 661. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-93-%D0%BF#Text (in Ukrainian)

26. Regulations on the state environmental monitoring system (1998). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 391. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text (in Ukrainian)
27. Doroguntsov, S.I. (Ed.). (2002). *Some institutional aspects of land relations in Ukraine: status and directions of improvement*. Kyiv. (in Ukrainian)
28. Issues of the State Service for Geodesy, Cartography and Cadastre (2016). Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated November No. 910-r Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/910-2016-%D1%80#Text (in Ukrainian)
29. On state control over the use and protection of lands: Law of Ukraine dated February (2003) No. 963-IV/ Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15#Text
30. Vasilyuk, O., Norenko, K. Kravchenko, O. (Eds.) (2019). *The impact of military activity on the nature of Ukraine*. Lviv: Manuscript, 134. (in Ukrainian)

Submission received: 03.09.2025 / Revised: 28.10.2025 / Accepted: 20.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

О. М. КРАЙНЮКОВ [1], д-р геогр. наук, проф.,
професор кафедри екології та менеджменту довкілля
e-mail: kraynukov@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5264-3118

Б. Ю. МАТІСЬКО [1],
аспірант кафедри екології та менеджменту довкілля
e-mail: matisko1998@gmail.com ORSID ID:: https://orcid.org/0009-0001-2672-1813
[1]*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*
майдан Свободи, 4, м. Харків, Україна, 61022

ДО ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ ШКОДИ ЗА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТА ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ

Мета. Проаналізувати дослідження щодо удосконалення методики визначення розміру шкоди за забруднення ґрунтів внаслідок надзвичайних ситуацій та збройної агресії.

Результати. На основі аналізу сучасної нормативно-правової бази, вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень окреслено суттєві недоліки чинної Методики, зокрема обмежене врахування типів деградації ґрунтів, недостатню наукову обґрунтованість коефіцієнтів та відсутність комплексного витратного підходу. Ураховуючи потенційні впливи воєнних дій на земельні ресурси та деградацію ґрунтів здійснено спробу обґрунтувати ключові пропозиції щодо вдосконалення чинних методик визначення шкоди та збитків, завданих ґрунтам внаслідок збройної агресії.

Висновки. Аргументовано необхідність включення витрат на дослідження, моніторинг і аналіз забруднень до загального обсягу збитків. Запропоновані уточнення спрямовані на підвищення точності екологічного обліку та формування сталих засад публічного управління у сфері відновлення природного середовища.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *методика оцінки шкоди, деградація ґрунту, збройна агресія, екологічні збитки, відновлення ґрунту, воєнний стан*

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Кучер А. В., Кучер Л. Ю. Економічна оцінка екологічних наслідків війни для території України. Наукова молодь – потенціал відновлення України: зб. матер. всеукр. наук. семінару (м. Івано-Франківськ, 25 травня 2022 р.). Київ: ДУ «ІГНС НАН України», 2022. С. 41–43. URL: https://www.igns.gov.ua/wp-content/uploads/2022/06/zbirnyk_naukova_molod_potentsial_vidnovlennya_ukrainy.pdf
2. Мацієвич, Т., & Михайлюк, А. (2024). Проблемні питання визначення розміру шкоди внаслідок забруднення земельних ресурсів. *Економічний вісник Причорномор'я*, №5. https://doi.org/10.37000/ebbsl.2024.05.07.
3. Бухова, Д.М. (2024). Сучасні правові проблеми відновлення земель, пошкоджених внаслідок військових дій. *Юридичний вісник УжНУ*, №86(3), С. 14. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2024.86.3.14.
4. Гончаренко Г.А. (2024). Зарубіжний досвід правового регулювання публічного управління в умовах надзвичайних ситуацій і воєнного стану: уроки для України. *Актуальні проблеми державного управління*, №2(65), С. 284–301. https://doi.org/10.26565/1684-8489-2024-2-15

5. Новак Т.С., Шовкун В.В. (2024). Визначення шкоди, завданої землі, внаслідок збройної агресії та бойових дій: правові питання. *Аграрно-правовий журнал*, №4. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2024.04.43.
6. Alvarenga P. Soil Pollution Assessment and Sustainable *Environments.* 2022, 9(4), 46. https://doi.org/10.3390/environments9040046
7. WEF. Global Risks Report 2024. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf
8. Eugenio, N.R., Naidu, R., & Colombo, C.M. (2020). Global approaches to assessing, monitoring, mapping, and remedying soil pollution. Environmental Monitoring and Assessment, 192(601). https://doi.org/10.1007/s10661-020-08537-2
9. The UK Integrated Review Implications for UK Defense and Security. *Royal United Services Institute*. 2021. URL:https://static.rusi.org/rusi_pub_281_chalmers_final_web_version_0_0.pdf
10. Wassenaar, M., Borghetto, M. Learning from international experience in 'smart adaptation' for national security. Occasional Paper. *Royal United Services Institute*. 2022. URL: https://rusi.org/explore-our-research/publications/occasional-papers/learning-international-experience-smart-adaptation-national-security
11. Herbst J. E., Khakova O., Lichfield C. Reconstructing Ukraine at war: The journey to prosperity starts now. EBRD. London, 2024. URL: https://reliefweb.int/report/ukraine/reconstructing-ukraine-war-journey-prosperity-starts-now
12. OECD. The COVID-19 Crisis as a «Critical Juncture»: Government Responses, Trust, and the Social Contract. OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19). 2021. https://doi.org/10.1787/c711d2d5
13. ДСТУ 7874:2015 «Охорона ґрунтів. Деградація ґрунтів. Основні положення». [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП ««УкрНДНЦ», 2015. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=62756
14. Порядок визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії російської федерації: Постанова Кабінету Міністрів України від 20 березня 2022 р. № 326. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022- %D0%BF#Text
15. Методика визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 4 квітня 2022 р. № 167. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text.
16. Методика визначення шкоди та збитків завданих земельному фонду України внаслідок збройної агресії російської федерації: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 18 травня 2022 р. № 295. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0586-22#Text
17. Мірошниченко М. М., Смірнова К. Б., Христенко А. О., Скрильник Є. В., Цапко Ю. Л., Кучер А. В. Методологічні засади визначення збитків від погіршення родючості ґрунтів. Раціональне використання ґрунтових ресурсів і відтворення родючості ґрунтів: організаційно-економічні, екологічні й нормативно-правові аспекти: кол. моногр.; за ред. акад. НААН С. А. Балюка, чл.-кор. АЕНУ А. В. Кучера. Харків: Смугаста типографія, 2015. С. 235–245..
18. Кучер А. В. Збитки від спалювання рослинних решток і юридична відповідальність. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2019: зб. тез доп. XXII міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 17–18 квітня 2019 р.). Харків: ХНУ, 2019. С. 67–70.
19. Демидов О. А., Булигін С. Ю., Дацько Л. В., Панасенко В. М., Тімченко Д. О. Методика підрахунків збитків від спалювання стерні та соломи; за заг. ред. чл.-кор. НААН С. Ю. Булигіна. Київ: Держ. наук.-техн. центр охорони родючості ґрунтів, 2011. 16 с.
20. Земельний кодекс України: Закон України від 25 жовтня 2001 р. № 2768 III / Верховна Рада України Відомості Верховної Ради України. 2002. № 3-4. Ст. 191.
21. Зацерковний В.І. Геоінформаційні системи і системи дистанційного зондування землі в задачах ефективного землекористування. *Математичне моделювання в економіці.* 2014. Вип. 1. С. 40-48.
22. Возняк Р.П., Ступень М.Г., Падляк М.І. Земельно-правовий процес. Львів: «Новий Світ-2000», 2006.224 с.
23. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 26 червня 1991 р. № 1264-XII. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text .
24. Про державний контроль за використання та охороною земель : Закон України від 19 червня 2003 № 963-IV / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15#Text
25. Про затвердження положення про моніторинг земель: Постанова Кабінету Міністрів України від 20 серпня 1993 р. №661. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-93-%D0%BF#Text
26. Положення про державну систему моніторингу довкілля : Постанова Кабінету Міністрів України 30 березня 1998 р. N 391. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text
27. Деякі інституціональні аспекти земельних відносин в Україні: стан та напрямки вдосконалення. За ред. С.І. Дорогунцова. Київ, 2002. 134 с.
28. Питання Державної служби з питань геодезії, картографії та кадастру: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2016 р. № 910-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/910-2016-%D1%80#Text
29. Про державний контроль за використанням та охороною земель: Закон України від 19.02.2003 № 963-IV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15#Text
30. Василюк О., Норенко К. Вплив військової діяльності на природу України. За заг. ред. О. Кравченко. Львів: Манускрипт, 2019.

Отримано: 03.09.2025 / Переглянуто: 28.10.2025 / Прийнято: 20.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-10
УДК (UDC): 911.5+504

І. Д. ЗЕЛЕНЧУК[1,2],
[1]заступник директора, [2]аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності
e-mail: zelenchuk.id@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009-0008-8517-6617
[1]ТОВ "ЛЛЕНТАБ УКРАЇНА"
вул. Соборна, 114, с. Софіївська Борщагівка, Києво-Святошинський р-н,
Київська обл., 08131, Україна
[2]Уманський національний університет,
вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська область, 20305, Україна

ЕКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГІЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ІНЕРТНИХ КОМПОНЕНТІВ ЛАНДШАФТУ ІНДУСТРІАЛЬНИХ ЗОН

Мета. Комплексна оцінка екогеоморфологічних змін інертних компонентів ландшафту, зумовлених інтенсивною будівельною діяльністю у нових індустріальних зонах України, створених з використанням сучасної технології будівництва швидкомонтованих будівель (ШМБ).

Методи. Польові дослідження, системний аналіз, порівняльно-географічний аналіз, статистичний, морфометричний, метод співставлення.

Результати. Результати польових та аналітичних досліджень засвідчили, що будівельна діяльність є визначальним фактором формування зон інтенсивного техногенного навантаження на ґрунтовий покрив. Максимальні рівні забруднення важкими металами зафіксовано в межах активних будівельних майданчиків та прилеглих до них зон складування будівельних матеріалів. Зокрема, вміст цинку у цих локаціях відповідає категорії надвисокого забруднення згідно з класифікаційними критеріями екологічної оцінки стану ґрунтів. Регресійний аналіз виявив статистично значущий зворотний зв'язок між відстанню до осередку будівельної активності та рівнем накопичення важких металів у ґрунтовому профілі. В межах фацій, які піддавалися тривалому інженерному втручанню, зафіксовано істотну трансформацію структури рослинного покриву. Ділянки, що зазнали механічної трансформації ґрунту, характеризуються зменшенням площі природного рослинного покриву, редукцією видового різноманіття та домінуванням адаптивних, переважно інвазивних, видів. Зміщення біоценотичної рівноваги сприяє витісненню автохтонних представників флори, характерних для (природних) урочищ, охоплених дослідженням, що призводить до формування монодомінантних угруповань із низькою екологічною резистентністю та порушеною здатністю до природного відновлення.

Висновки. Розбудова індустріальних зон на територіях з переважно сільськогосподарським і лісогосподарським використанням спричиняє істотні екологічно-геоморфологічні трансформації інертних компонентів ландшафту. Застосування інтегрованого методологічного підходу дозволило кількісно оцінити зміни морфоструктури, ґрунтового покриву та гідрологічного режиму, а також зафіксувати підвищення рівня забруднення ґрунтів важкими металами на ділянках будівництва. Встановлено порушення взаємодії між інертними та біотичними компонентами геосистем, що знижує їх екологічну стійкість. Отримані результати можуть бути використані як наукове підґрунтя для оптимізації просторового планування, впровадження заходів моніторингу та екологічного управління розвитком промислової інфраструктури в агроландшафтах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *природний територіальний комплекс, ПТК, геосистема, антропогенний вплив, ґрунт*

Як цитувати: Зеленчук І. Д. Еколого-геоморфологічні трансформації інертних компонентів ландшафту індустріальних зон. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.*2025. Вип. 44. С.132-146. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-10

In cites: Zelenchuk, I. D. (2025). Ecological-geomorphological transformations of inert landscape components in industrial zones. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 132-146. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-10 (in Ukrainian)

Вступ

Сьогоднішнє вимушене переміщення промисловості в більш безпечні регіони України супроводжується активною розбудовою нових індустріальних зон і промислових кластерів, що має суттєвий вплив на природні ландшафти. Реалізація програм

© Зеленчук І. Д., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

релокування підприємств та формування індустріальних парків, що підтримуються державними стимулами та грантовими ініціативами, спричиняє трансформації ландшафтів, зокрема в агропромислових регіонах західних областей України. Масштабне освоєння земель сільськогосподарського та лісогосподарського призначення супроводжується поступовою урбанізацією територій, порушенням природних структур ландшафтів, дисбалансом геокомпонентів і розвитком екогеоморфологічних змін [1]. Враховуючи кількість індустріальних та промислових територій, опублікованих у Державному земельному кадастрі, виникає гостра необхідність комплексної оцінки впливу будівельної діяльності на природно-територіальні комплекси (ПТК). Особливу увагу слід приділяти дослідженню порушень взаємодії між інертними (рельєф, ґрунти) та живими (рослинність, ґрунтова біота) компонентами ландшафту, що визначають структурно-функціональну цілісність та екологічну стабільність геосистем.

У контексті сучасних викликів, спричинених військовим конфліктом та пов'язаною з ним активізацією розосередженої індустріальної урбанізації, посилюється трансформація ландшафтів, що супроводжується формуванням природно-техногенних ландшафтів із зниженою екологічною стійкістю. Незважаючи на поширеність індустріалізації та урбанізації, питання екологічних наслідків для природних ландшафтів залишається актуальним і недостатньо дослідженим у сучасній українській науковій літературі. Відомо, що інтенсивне будівництво та експлуатація індустріальних зон викликають порушення балансу між інертними та живими компонентами ландшафтів, що призводить до деградації екосистемних функцій, зниження екологічної стійкості та погіршення якості навколишнього середовища.

Особливої уваги заслуговують геоморфологічні аспекти цих змін, оскільки рельєф і ґрунти є фундаментальними інертними компонентами природних систем, які визначають гідрологічні, біогеохімічні та інші функціональні процеси. Будівельна діяльність, включно з земляними роботами, зміною гідрологічного режиму та локальним забрудненням, призводить до змін морфоструктури рельєфу, активізації ерозійних процесів, ущільнення ґрунтів і порушення їх природних властивостей. Це зумовлює як локальні, так і каскадні екогеоморфологічні трансформації, що порушують цілісність природно-територіальних комплексів і погіршують їхню здатність до саморегуляції.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розробки науково обґрунтованих методик оцінки і прогнозування екогеоморфологічних змін у контексті будівельної діяльності в індустріальних зонах. Такий підхід є важливим для забезпечення сталого просторового розвитку, збереження ландшафтної структури та оптимізації природокористування. Особливо це стосується територій із високим потенціалом аграрного використання та зразків природної екосистемної різноманітності, які зазнають антропогенного тиску.

Враховуючи це, метою дослідження є комплексна оцінка екогеоморфологічних змін інертних компонентів ландшафту, зумовлених індустріальною забудовою, а також виявлення особливостей трансформації рельєфу і ґрунтового покриву на різних ґрунтово-геоморфологічних основах.

Науковий аналіз базується на результатах польових, лабораторних та камеральних досліджень у вибраних індустріальних зонах, що дозволяє отримати інтегровану картину антропогенних впливів і їх наслідків.

Таким чином, результати роботи сприятимуть поглибленню розуміння механізмів екогеоморфологічних трансформацій у контексті індустріалізації, а також стануть теоретичною і практичною базою для розробки заходів із пом'якшення негативного впливу будівельної діяльності на природні ландшафти України.

Об'єкти дослідження – інертні компоненти ландшафту на територіях новостворених індустріальних зон та їх трансформації в результаті будівельної діяльності.

Предмет дослідження – екогеоморфологічні трансформації рельєфу та ґрунтового покриву, викликані антропогенним впливом будівельної діяльності.

Методологія та методи дослідження

Інтенсивне розширення індустріальних зон у поєднанні з розвитком відповідної інфраструктури, що зумовлене вимушеним переміщенням промислових потужностей із зон бойових дій, призводить до суттєвого посилення антропогенного навантаження на структури геосистем.

Активний розвиток індустріальних парків, що реалізується за підтримки державних стимулів та грантових програм, сприяє

переміщенню виробничих потужностей у безпечніші регіони й супроводжується трансформацією ландшафтних компонентів, зокрема в агропромислових регіонах західної та центральної частини України [1].

Програми з релокування підприємств і створення індустріальних парків у таких регіонах, як Львівська, Тернопільська, Закарпатська, Рівненська, Черкаська та Київська області, призводять до інтенсивного освоєння нових територій, переважно сільськогосподарського та лісогосподарського призначення. Це спричиняє їхню поступову індустріалізацію та незворотні антропогенні зміни, які порушують структурно-функціональні зв'язки між компонентами ландшафту, а це, своєю чергою, зумовлює екогеоморфологічні зміни [2].

Геоморфологічні трансформації в межах фації на якій розміщений сучасний будівельний майданчик проявляються через екзогенні процеси, які зазвичай проходять три послідовні фази: руйнування мінеральних мас, їхнє переміщення та подальше нагромадження. Ці процеси формують характерні мікроформи рельєфу, типові для відповідного типу антропогенного генезису. Таким чином, відбувається істотний вплив на інертні компоненти ландшафту, що призводить до зміни їхньої просторової структури та порушення внутрішніх взаємозв'язків. Саме тому оцінка трансформацій геоморфологічної структури ландшафту протягом усього будівельного циклу є необхідним інструментом для виявлення потенційних загроз, визначення кількісних характеристик рівня та наслідків впливу шкідливих чинників на компоненти ландшафту.

Аналіз повного циклу розбудови промислових територій засвідчує, що екогеоморфологічні зміни, спричинені будівельною діяльністю, мають високий ризик негативного впливу, що потребує комплексного підходу до врахування просторових, природних та техногенних чинників. Зокрема, важливо ідентифікувати потенційні загрози на кожному етапі будівельної діяльності, оцінити рівень впливу на різні компоненти природно-територіальних комплексів (ПТК) та здійснювати попереднє прогнозування ймовірності виникнення деструктивних процесів у взаємозв'язках між інертними та живими компонентами.

Станом на сьогодні в Україні зареєстровано понад 120 новостворених індустріальних та промислових територій з різним господарсько-правовим статусом [3], до складу яких входять промислові майданчики, індустріальні парки, виробничо-наукові кластери, логістичні хаби тощо. Ландшафти та їх компоненти, включно з рельєфом зазнають значних трансформацій, навіть на обмежених за площею ділянках земної поверхні. З позицій ландшафтознавців та географів промислова територія – це, насамперед, частина земної поверхні, яка функціонує як урочище з відповідними фізико-географічними характеристиками, кліматичними умовами, геологічною будовою та морфогенезом. Промислові зони відзначаються високим ступенем господарського освоєння, тому у їхній структурі на різних етапах формувалися як природні, так і антропогенні складові.

Останніми десятиліттями в країнах Центральної Європи, включно з Україною, зокрема її західними регіонами, інтенсивно розвиваються новітні прикладні напрями географічної науки. Спостерігається певне зміщення акцентів у ландшафтознавстві: географи та ландшафтознавці ввели в науковий дискус новий об'єкт дослідження, а саме впливу індустріалізації на інертні компоненти ландшафту.

Останніми роками активно досліджується стійкість компоненнтів ландшафту до наслідків будівельної діяльності. Упродовж декількох минулих років було вдосконалено класифікацію компонентів ландшафту з урахування впливу будівельної галузі, і сьогодні ландшафт розглядається як системне утворення, що складається з взаємопов'язаних компонентів. Ці компоненти класифікуються за функціональними ознаками та поділяються на інертні, мобільні й активні. До інертних компонентів належать ґрунти та рельєф, які формують стійку геоморфологічну структуру. З огляду на зазначене – дослідження екогеоморфологічних змін є важливим аспектом у вивченні порушених взаємозв'язків між інертними та живими компонентами ландшафту.

Активізація процесів індустріальної урбанізації та техногенного освоєння природних ландшафтів України зумовлює необхідність комплексного аналізу змін компонентів природного середовища, зокрема – дослідження порушень взаємодії між інертними та живими компонентами ландшафту. У межах цього наукового напряму особливої уваги потребує вивчення екогеоморфологічних трансформацій, які охоплюють зміни морфологічної структури ландшафтів у поєднанні з оцінкою їх екологічного стану. Наукове осмислення цих змін здійснюється в межах екологічної геоморфології (екогеоморфології) – міждисциплінарної

галузі, що сформувалася на стику прикладних дисциплін геоморфології та екологічного ландшафтознавства [2]. Поняття «екологічна геоморфологія» було введене у наукову термінологію на початку 1980-х років минулого століття [5]. Екологічна геоморфологія – напрям геоморфології, що вивчає рельєф земної поверхні як складову екосистем різних рівнів, що виконує функцію регулятора взаємозв'язків речовини й енергії, функціонування природно-господарських систем, а також екологічні наслідки порушення взаємодії геоморфосфери з біотою та людиною [6].

Сучасна геоморфологія трактується як комплексна наука, що вивчає не лише морфологічні особливості рельєфу та його генезис, а й літогенну основу — її будову, вік, та динаміку рельєфу. Особливу увагу приділяють процесам рельєфоутворення, чинникам і умовам їхнього розвитку, а також взаємозв'язкам рельєфу з компонентами ландшафту, техногенними об'єктами та господарською діяльністю людини [7]. Наукова парадигма сучасної геоморфології охоплює розроблення геоінформаційних, прогностичних і моніторингових моделей рельєфу та геоморфологічних процесів, а також методологічні, прикладні та інтерпретаційні підходи до їхнього аналізу. Рельєф розглядається як система різнорангових тривимірних форм земної поверхні, що функціонує як просторове поле висот і виступає базовим об'єктом геоморфологічного дослідження [7]. Він визначає просторову організацію ґрунтів як частини земельних ресурсів, що мають різні генетичні типи, що впливають на їхню господарську придатність. У класифікації ґрунтів України виокремлюють ґрунти, сформовані не лише на відкладах, що супроводжують формування різногенетичних форм рельєфу, але й такі, що адаптовані до певних морфологічних структур рельєфу та приурочені до відповідних топографічних елементів. Рельєф відіграє ключову роль у формуванні умов життєзабезпечення, впливаючи на стан і динаміку ґрунтового покриву, зокрема на процеси ґрунтоутворення та деградації, рівень родючості й вологонакопичення, що відображає стан взаємозв'язків між компонентами ландшафту. Він визначає розподіл поверхневих вод, формує гідрогеологічні умови, а також обумовлює структуру й поширення рослинного покриву. Сукупна дія ендогенного, екзогенного та антропогенного морфогенезу розглядається як чинник сучасного рельєфоутворення та трансформації геосистем.

За роки повномасштабного вторгнення темпи індустріальної урбанізації, зокрема активного відновлення індустріальних об'єктів та комплексів, в окремих регіонах України істотно зросли, що призвело до формування природно-індустріальних, індустріально-природних та техногенних ландшафтів. Рельєф, як один із ключових інертних компонентів ландшафтів, що визначає їх екологічний стан, функціонування та динаміку, зазнав суттєвих трансформацій.

У межах екогеоморфології рельєф розглядається як геоморфосистема, що має складну морфологічну структуру, динамічні властивості та перебуває у взаємозв'язку з іншими компонентами ландшафту. Такий підхід дозволяє трактувати рельєф як інтегральний елемент екосистем, що впливає на екологічну стійкість та функціонування ПТК [5].

Екоморфологічні властивості рельєфу формуються під впливом рельєфоутворювальних процесів, які взаємодіють у часі й просторі та визначають ступінь стійкості як природних, так і антропогенно змінених геоморфосистем. Діагностичні критерії оцінки еколого-геоморфологічної, рельєфно-ресурсної стійкості ландшафтів, надано в табл. 1 [4].

Комплексне застосування вищенаведених критеріїв забезпечує ґрунтовну оцінку еколого-геоморфологічного статусу території та дозволяє виявити потенційні загрози функціонуванню взаємозв'язків між компонентами ландшафту.

У національних та зарубіжних дослідженнях наголошується на зростанні масштабів деструкції морфоструктур під впливом промислового будівництва, що супроводжується локальним переформатуванням рельєфу, активізацією геодинамічних процесів і зниженням стійкості ландшафтів [8]. Відповідно, теоретичне обґрунтування методів оцінки екогеоморфологічних змін є актуальним завданням для забезпечення науково-обґрунтованого управління просторовим розвитком та збереження екосистемних послуг. Саме тому межах дослідження запропоновано ландшафтознавче визначення поняття «*Екогеоморфологічні зміни компонентів ландшафту*» – це просторово-часові трансформації рельєфу та пов'язані з ними порушення взаємодії між інертними і живими компонентами, зумовлені природними та антропогенними процесами на фаціальному рівні, які впливають на екологічний стан і функціональну стійкість ландшафтної системи. Рельєф будь-якої ділянки земної поверхні ландшафту представлений сукупністю окремих форм, що багаторазово

Таблиця 1

Критерії еколого-геоморфологічної оцінки ландшафту

Table 1

Criteria for ecological and geomorphological assessment of the landscape

Група оцінюваних показників / Group of evaluated indicators	**Основні діагностичні ознаки / The main diagnostic signs**
Геоморфологічні показники / Geomorphological indicators	Морфогенез, тип рельєфу, ступінь розчленованості, кути нахилу поверхні, наявність потенційно небезпечних геодинамічних процесів / Morphogenesis, type of relief, degree of fragmentation, surface angles, presence of potentially dangerous geodynamic processes
Геологічні характеристики / Geological characteristics	Літологічна будова, тектонічні умови, геохімічний фон, рівень сейсмічної активності, стійкість геологічного середовища до навантажень / Lithological structure, tectonic conditions, geochemical background, level of seismic activity, resistance of the geological environment to loads
Гідрологічні чинники / Hydrological factors	Ймовірність паводків, прояви ерозійних і абразійних процесів, ризики підтоплення, якість поверхневих вод / The likelihood of floods, erosion and abrasion processes, flood risks, surface water quality
Гідрогеологічні умови / Hydrogeological conditions	Глибина залягання, агресивність і забрудненість підземних вод, інтенсивність фільтраційних процесів / Depth of occurrence, aggressiveness and contamination of groundwater, intensity of filtration processes
Техногенні параметри / Technogenic parameters	Ступінь і характер антропогенної трансформації ґрунтів, щільність забудови, конфігурація транспортної інфраструктури, електромагнітне навантаження / The degree and nature of anthropogenic soil transformation, building density, configuration of transport infrastructure, electromagnetic load

повторюються та чергуються між собою. Кожна форма рельєфу складається з окремих морфологічних елементів, які в геометричному аналізі розглядаються як грані (поверхні), ребра та двогранні кути. Залежно від величини нахилу поверхні її поділяють на субгоризонтальні (кут нахилу до 2°) та схилові (кут нахилу понад 2°). Усі типи поверхонь, у свою чергу, можуть мати увігнуту, випуклу або плоску форму. У ландшафтознавстві рельєф трактується як сукупність нерівностей земної поверхні різного масштабу, що формуються під впливом природних і антропогенних геоморфогенетичних процесів [9].

Сучасні трансформаційні процеси в структурі використання ландшафтів, в тому числі суттєво пов'язані з інтенсивною розбудовою індустріальних зон, спричиняють масштабні зміни у геоморфологічній будові ландшафтів та їх екологічному функціонуванні. В даному дослідженні ці зміни розглядаються крізь призму екогеоморфології – напряму, що поєднує методологію геоморфологічного аналізу з принципами екологічної оцінки [10].

Згідно з сучасними теоретико-методологічними підходами ландшафтознавства, компоненти ландшафту прийнято класифікувати на три основні групи з урахуванням їх функціональних ролей у межах природно-територіальних комплексів (ПТК) або геосистем [1]. В таблиці таблиця 2 представлена класифікація компонентів ландшафту за функціональними ознаками [12].

Теоретичним підґрунтям цієї статті слугували фундаментальні праці вітчизняних географів і екогеоморфологів [10, 21], визначення сутності геохімічного аспекту у ландшафтно-екологічному контексті [13], а також приклані дослідження [14] присвячені екогеоморфологічному аналізу показників і критеріїв рельєфу.

Вагомою науковою базою дослідження є доробок одного із фундаторів української наукової школи екологічної морфології – професора, видатного дослідника-екогеолога О. М. Адаменка, зокрема в галузі конструктивної екології і ландшафтознавства. А саме, його концепція геоекологічного структурування природно-антропогенних ландшафтів із побудовою поелементної та покомпонентної еколого-техногеохімічної карти, яка характеризує взаємодію компонентів ландшафту [15].

Особливо важливими для теоретичного обґрунтування положень дослідження є методологічні засади геоморфологічного аналізу рельєфу та оцінку впливу геоморфологічних умов на ґрунтовий покрив, як окремого компоненту ландшафту [16 – 17]. Застосовано

Таблиця 2

Класифікація компонентів ландшафту за функціональними ознаками

Table 2

Classification of landscape components by functional features

Вид компонентів ландшафту / Type of landscape components	Основні складові / The main components	Функції / Functions
Інертні компоненти / Inert components	Ґрунти, рельєф / Soils and relief	Формують сталу структурну основу ландшафту / Form a sustainable structural basis for the landscape
Мобільні компоненти / Mobile components	Повітряні та водні маси / Air and water masses	Забезпечують циркуляцію та транзит речовин і енергії, виконують регуляторно-транспортну функцію / Ensure the circulation and transit of substances and energy, perform a regulatory and transport function
Активні компоненти / Active ingredients	Живі організми (біота) / Living organisms (biota)	Відповідають за біологічну продуктивність, підтримку та відновлення взаємозв'язків, здатність геосистеми до саморегуляції і самовідновлення / They are responsible for biological productivity, maintaining and restoring interconnections, and the geosystem's ability to self-regulate and self-heal

методи та методики дослідження антропогеннозмінених ландшафтів [18].

Крім того, у відповідності до головної мети статті, вагоме значення мають сучасні публікації зарубіжних авторів, присвячені побудові інтегрованих екогеоморфологічний моделей дослідження компонентів ландшафту [19 – 20].

Актуальні дослідження вітчизняних ландшафтознавців свідчать, що промислове будівництво в межах чутливих геоморфологічних систем України – зокрема в долинах річок, на схилах, лесових плато та інших формах рельєфу, сформованих на чорноземних ґрунтах з високим вмістом гумусу – сприяє активізації негативних геодинамічних і геоморфологічних процесів, що, у свою чергу, призводить до деградації інертних компонентів ландшафту.

У цьому контексті актуальним є застосування системного підходу до аналізу змін у морфологічній структурі ландшафту з використанням геоінформаційних технологій, дистанційного зондування територіального комплексу та інтегральної оцінки трансформацій рельєфу в межах окремо взятої фації або урочища [21].

Методологічною основою дослідження є загальнонаукові методи оцінювання екогеоморфологічних трансформацій ландшафтів: камеральний аналіз рельєфу, інтерпретація даних польових та інженерних досліджень, синтез лабораторних досліджень, порівняльно-географічний метод, узагальнення, статистичний метод тощо.

Інформаційну базу цієї роботи становили звіти з дослідження інженерно-екологічних, інженерно-геодезичних та інженерно-геологічних умов будівельних майданчиків, генеральні плани та плани розвитку територій, що розташовані в східній частині зони широколистих лісів та південно-західній частині Чернігівського Полісся, а також матеріали наукових публікацій і періодичних видань.

Результати дослідження та обговорення

Будівництво, навіть за умови дотримання сучасних екологічних стандартів і використання новітніх технологій, зокрема у промисловому секторі через застосування швидко-монтованих будівель (ШМБ), все ж таки супроводжується певними змінами природних компонентів ландшафту – літогенної основи, морфологічної структури рельєфу, повітряного середовища, гідрологічного режиму, ґрунтового покриву та біоти. Саме тому будь-яка будівельна діяльність супроводжується порушеннями рельєфу або ґрунтового покриву внаслідок земляних робіт та влаштування фундаментів, викидами в атмосферу, спричиненими роботою будівельної техніки та механізмів, а також впливом на водне середовище та гідрологічний режим. У сукупності ці фактори зумовлюють стійке порушення взаємозв'язків між компонентами ландшафту, що, у свою

чергу, призводить до змін у структурі природно-територіальних комплексів, окремих урочищ або фацій [1].

Антропогенні ландшафти, які формуються в умовах інтенсивної промислової урбанізації та індустріалізації, зазвичай характеризуються значним рівнем геоморфологічної деструкції, що проявляється у порушенні природних процесів рельєфоутворення, прискоренні ерозійних та акумулятивних явищ, зміні гідрологічних режимів і зниженні екологічної стійкості територій, що призводить до деградації природно-територіальних комплексів і погіршення їхніх екосистемних функцій.

Структурована схема видів еколого-геоморфологічних впливів на природних ландшафтів в процесі ведення будівельної діяльності представлена в таблиці 3.

Еколого-геоморфологічні зміни, спричинені будівельною діяльністю, являють собою комплекс антропогенно індукованих трансформацій морфоструктур земної пове-

Таблиця 3

Еколого-геоморфологічні типи антропогенного впливу та відповідні форми трансформації ландшафтної структури, проаналізовані у межах даного дослідження

Table 3

Ecological and geomorphological types of anthropogenic impact and corresponding forms of landscape structure transformation analyzed in this study

Тип еколого-геоморфологічного впливу / Type of ecological and geomorphic impact	**Прояви антропогенно зумовлених геоморфологічних змін/ Manifestations of anthropogenic geomorphic changes**	**Форма геоморфологічної трансформації ландшафтної структури / The form of geomorphological transformation of the landscape structure**
Порушення рельєфу / Disturbance of the relief	Зняття ґрунтового покриву, вирівнювання територій, насипи, виїмки / Removal of soil cover, leveling of territories, embankments, excavations	Зміна морфоструктури ділянки, поява нових форм рельєфу техногенного походження / Changes in the morphostructure of the site, the emergence of new forms of relief of man-made origin
Порушення гідрологічного режиму / Violation of the hydrological regime	Зниження рівня ґрунтових вод, зміна русел, порушення дренажу/ Decrease in groundwater level, change of channels, drainage disruption	Формування техногенних заболочувань, ерозійних форм, зміна морфогідрологічної мережі / Formation of anthropogenic wetlands, erosion forms, changes in the morphohydrological network
Ерозійні процеси / Erosion processes	Посилення лінійної і площинної ерозії після зняття рослинності та ґрунтів / Increased linear and planar erosion after vegetation and soil removal	Поглиблення ярів, утворення ерозійних борозен, активація денудаційних процесів / Deepening of ravines, formation of erosion furrows, activation of denudation processes
Акумулятивні процеси / Accumulative processes	Накопичення будівельного сміття, техногенних відкладів / Accumulation of construction waste and man-made sediments	Формування насипних морфогенетичних форм, зміна мікрорельєфу / Formation of bulk morphogenetic forms, change of microrelief
Зміна геохімічного складу поверхні / Changes in the geochemical composition of the surface	Потрапляння у ґрунт бітуму, цементу, мастил, важких металів/ Bitumen, cement, oils, lubricants, and heavy metals entering the soil	Формування техногенно змінених геохімічних аномалій, забруднення літогенного шару / Formation of technologically altered geochemical anomalies, contamination of the lithogenic layer
Ущільнення ґрунтів / Soil compaction	Ущільнення ґрунту від роботи важкої будівельної техніки та механізмів, зменшення пористості і проникності ґрунту / Compaction of soil from heavy construction equipment and mechanisms, reduction of soil porosity and permeability	Зниження інфільтраційної здатності, активізація поверхневого стоку / Reduced infiltration capacity, increased surface runoff

рхні, таких як фізико-хімічне вивітрювання, поверхнева та ґрунтова ерозія. Вказані в таблиці 3 трансформації призводять до суттєвих порушень геоморфологічної конструкції ландшафтів, що, в свою чергу, впливає на взаємозв'язки між компонентами ландшафту і, як наслідок, на функціональні властивості природних екосистем, порушуючи їхню структурну цілісність та динамічну стійкість.

Як зазначено в таблиці 2 компоненти ландшафту поділяють на три групи відповідно до їх функцій в геосистемі. У рамках даного дослідження розглядаються інертні компоненти ландшафту, зокрема рельєф і ґрунти, а також їх еколого-геоморфологічні трансформації, зумовлені будівельною діяльністю. Оцінювання екогеоморфологічних впливів будівельної діяльності здійснювалося на двох дослідних майданчиках, де проводяться БМР, що розташовані відповідно в східній частині зони широколистяних лісів (Майданчик №1) та у південно-західній частині Чернігівського Полісся (Майданчик 2). Згідно з даними інтерактивної карти ґрунтів України [23], у межах східної частини зони широколистяних лісів переважають чорноземи глибокі малогумусні з наявністю кротовин в їх профілі. Ділянка, що знаходиться у межах південно-західної частини ігівського Полісся, охоплює територію поширення ясно-сірих опідзолених ґрунтів, сформованих на лесових відкладах. Чорноземи глибокі характеризуються незадовільними фізико-механіч-ними властивостями, а ясно-сірі лесові ґрунти також не забезпечують необхідну стійку основу для облаштування фундаментів. У зв'язку з цим, під час виконання земляних робіт потребується видалення шару ґрунту з недостатніми механічними властивостями глибокого чорнозему на глибину 1,5–1,8 м з метою створення основи, здатної сприймати інженерно-будівельні навантаження. Це, своєю чергою, спричиняє посилення процесів дегресуючої деструкції інертних компонентів ландшафту [24]. В таблиці 4 представлені техніко-економічні показники за генеральним планом майданчиків промислового будівництва №1 та №2.

Згідно з порівняльними показниками, наведеними в таблиці 4, інертні компоненти ландшафту зазнають істотно інтенсивніших екогеоморфологічних трансформацій на будівельних майданчиках, розташованих у зоні поширення чорноземних ґрунтів, порівняно з майданчиками, що знаходяться в межах піщаних лесовидних суглинків. Зокрема, на майданчику №1, розташованому на чорноземному ґрунтовому покриві, площа забудови становить 2,2 га при щільності забудови 32,0 %, тоді як на майданчику №2 ці показники не перевищують 0,9 га та 23,0 % відповідно. Через недостатні механіко-пружні властивості чорноземів, площа ділянок із твердим покриттям та внутрішньо-майданчиковими дорогами і під'їздами на майданчику №1 становить 3,6 га, що суттєво перевищує відповідний показник на майданчику №2 (1,4 га), демонструючи зростання ступеня техногенної трансформації еколого-геомор-фологічних умов. Рельєф досліджуваних майданчиків відзначається незначною амплітудою висотних коливань (до 1 м), що не потребувало суттєвого об'єму робіт з переміщення ґрунтових мас при підготовці ділянок забудови. Морфометричні показники рельєфу майданчиків промислового будівництва №1 та №2 представлено в таблиці 5.

У комплексі ці чинники свідчать про підвищений рівень деструктивного впливу будівельної діяльності на літогенну основу та рельєф в зоні з чорноземними ґрунтами природно-територіальні комплекси зазнають більш інтенсивного деструктивного впливу, ніж у зоні з лесовидними суглинками. А рівень техногенного навантаження, спричиненого будівельною діяльністю на інертні компоненти ландшафту безпосередньо залежить від типу ґрунтово-геоморфологічної основи фації на якій розташовані будівельні майданчики промислових зон.

З метою забезпечення комплексного підходу до оцінювання екогеоморфологічного навантаження на інертні компоненти ландшафту у процесі будівельної діяльності здійснено відбір ґрунтових зразків з території будівельних майданчиків №1 та №2 (рис. 1 і рис. 2) для проведення відповідних досліджень геохімічних показників. Відбір досліджуваних зразків здійснювали на глибині 5÷20 см (для оцінювання змін поверхні ґрунту, пов'язаних із безпосереднім впливом будівельного майданчика) та на глибині 10÷40 см (для виявлення змін у глибших горизонтах ґрунтових відвалів).

Польові роботи проводили у весняно-літній період 2025 р. Відбори зразків і подальший аналіз виконувались відповідно до нормативних документів та стандартів.

Чорноземи глибокі малогумусні в зоні яких розташований будівельний майданчик №1, відносяться до зональних типів ґрунтів, сформованих у лісостепових умовах на лесовидних суглинках. Вони характеризуються добре диференційованим профілем із потуж-

Таблиця 4

Порівняльна таблиця техніко-економічних показників за генеральним планом

Table 4

Comparative table of technical and economic indicators for the master plan

№	Найменування / Name	Майданчик №1 / Site №1		Майданчик №2 / Site №2	
		Значення / Meaning	Одиниця виміру / Unit of measurement	Значення / Meaning	Одиниця виміру / Unit of measurement
1	Площа відведеної ділянки / Area of the allocated plot	6,8	га/ ha	3,9	га/ ha
2	Площа забудови / Building area	2,2	га/ ha	0,9	га/ ha
3	Відсоток забудови / Percentage of development	32,0	%	23,0	%
4	Площа озеленення / Landscaping area	1,0	га/ ha	0,4	га/ ha
5	Площа твердого покриття з урахуванням внутрішньо- майданчикових доріг/ Paved area including intra-site roads	3,6	га/ ha	1,4	га/ ha
6	Площа перспективної забудови / Area of prospective development	-	га/ ha	1,2	га/ ha
7	Тип ґрунтів ділянки забудови / Soil type of the construction site	Чорнозем опідзолений / Podzolized black soil		Пилуваті і піщані лесовидні суглинки / Dusty and sandy loess loam	
8	Глибина виїмки ґрунту на ділянках забудови / Depth of excavation at construction sites	1,0÷2,2	м/ m	0,6÷1,5	м/ m
9	Тип фундаментів / Type of foundations	Залізобетонний, стрічковий з оголовками під колони не глибокого залягання / Reinforced concrete, strip with heads for shallow columns		Залізобетонний, стрічковий з оголовками під колони не глибокого залягання / Reinforced concrete, strip with heads for shallow columns	
10	Тип основи фундаментів / Type of foundation base	Гравійно-піщана суміш, утрамбована / Compacted gravel-sand mixture		Гравійно-піщана суміш, утрамбована / Compacted gravel-sand mixture	
11	Площа зняття родючого шару ґрунту / Area of fertile soil removal	6,09	га/ ha	2,30	га/ ha
12	Відстань вивезення ґрунту на відвали/ Distance of soil removal to dumps	14	км/ km	6	км/ km
13	Об'єм вивезеного ґрунту / Volume of soil removed	39 000	м³	10 800	м³

Таблиця 5

Морфометричні показники рельєфу досліджуваних будівельних майданчиків №1 та №2

Table 5

Morphometric indicators of the relief of the studied construction sites №1 and №2

Характер рельєфу / The nature of the relief	Амплітуда висотних коливань/ Amplitude of altitude fluctuations	Морфологічна характеристика / Morphological characteristics
Будівельний майданчик №1/ Construction site №1		
Плоско-рівнинний із слабко вираженим схилом у бік західного горизонту / Flat-plain with a slightly pronounced slope towards the western horizon	0-1,2 м/ 0-1,2 m	Хвилястий, слабко розчленований / Wavy, weakly divided
Будівельний майданчик №2/ Construction site №2		
Плоско-рівнинний / Plain and flat	0-1,0 м/ 0-1,0 м	Хвилястий, слабко розчленований / Wavy, weakly divided

Рис. 1 – Місця відбору проб ґрунту, майданчик №1 (растр кадастрової карти)
Fig. 1 – Soil sampling locations, site №1 (kadastrova-karta.com)

Рис. 2 – Місця відбору проб ґрунту, майданчик №2 (растр кадастрової карти)
Fig. 2 – Soil sampling locations, site №2 (kadastrova-karta.com)

ним гумусовим горизонтом (до 100 см), проте помірним вмістом гумусу (3-4 %), що зумовлює їх класифікацію як малогумусних. Структура переважно зернисто-грудкувата. Наявність кротовин у профілі свідчить про активну біогенну діяльність. Ці ґрунти вирізняються сприятливими фізико-хімічними властивостями, однак мають недостатні фізико-механічні характеристики. Високий рівень біологічної активності визначає їх значну агровиробничу цінність [25].

Ясно-сірі опідзолені ґрунти в зоні яких розташований будівельний майданчик №2, сформовані на лесових відкладах, належать до групи підзональних ґрунтів лісостепової зони України. Для них характерний розвиток процесу опідзолення, що зумовлює утворення елювіального горизонту з низьким вмістом гумусу та поживних речовин, що підтверджується світлим забарвленням верхнього шару. Гумусовий горизонт має обмежену потужність і характеризується невисоким вмістом органічної речовини. Біологічна активність залишається на середньому рівні, що зумовлює помірні темпи розкладу органіки. У цілому ці ґрунти мають невисоку природну родючість і потребують проведення меліоративних та агрохімічних заходів для підтримання сільськогосподарської продуктивності [25-26].

У дослідних зразках визначали: рівень кислотності ґрунту (pH), вміст важких металів (рухомі форми цинку (Zn), міді (Cu), марганцю (Mn) та вміст металлоїду бору (B)), електропровідність ґрунтового розчину, а також вміст органічних речовин. Під час відбору проб враховували вологість ґрунту та характер землекористування.

У зразках із зони будівельних майданчиків №1 та №2 було виявлено значне перевищення допустимих рівнів вмісту важких металів, зокрема бору, міді, марганцю та цинку, про що свідчать результати лабораторних геохімічних досліджень зразків ґрунту, що відображені в таблиці 6. Це може вказувати на ймовірне проникнення техногенних забруднюючих речовин із будівельних матеріалів та машин.

Найвищий рівень забруднення ґрунтів важкими металами зафіксовано в межах ділянки активного будівництва та навколо майданчиків складування будівельних матеріалів. Рівень вмісту цинку (Zn) для таких зон сягав 8,1-9,3 мг/кг, що відповідає категорії надвисокого забруднення. За результатами регресійного аналізу встановлено чіткий зв'язок між відстанню до будівельного майданчика та ступенем забруднення ґрунту важкими металами ($r = -0,71$, $p < 0,01$). Для оцінки цього зв'язку використано лінійні, степеневі та логарифмічні моделі. Найбільш надійною була лінійна модель ($R^2 = 0,72$), що вказує на поступове зниження рівнів B, Cu, Mn та Zn зі збільшенням відстані від будівельного майданчика.

Ділянки, які зазнали тривалого інженерно-будівельного впливу, до початку антропогенного перетворення функціонували як агроценози. На цих ділянках відзначено істотне скорочення площі та різноманіття рослинного покриву, що виявляється у зменшенні видової різноманітності та домінуванні нечисленних адаптованих фітоценозів.

Таблиця 6

Порівняльні показники забруднення ґрунтів в зоні будівельних майданчиків №1 та №2

Table 6

Comparative indicators of soil contamination in the area of construction sites No. 1 and No. 2

№ T/B S/P	Тип ділянки/ Type of plot	Відстань до центру забудови, м/ Distance to the building center, m	Zn, мг/кг Zn, mg/kg	Cu, мг/кг Cu, mg/kg	B, мг/кг B, mg/kg	Mn, мг/кг Mn, mg/kg	ГДК (Zn / Cu / B / Mn), мг/кг MPC (Zn / Cu / B / Mn), mg/kg
Будівельний майданчик №1/ Construction site №1							
1	Прилегла до краю майданчика зона / Peripheral zone adjacent to the site boundary	40	9,3	2,3	0,53	52,7	Zn: 23 / Cu: 3 / B: 0.5 / Mn: 1500
	Рівень забруднення/ Level of pollution		*Надвисокий/ Extra high*	*Середній/ Average*	*Середній/ Average*	*Середній/ Average*	
2	Зона середнього впливу/ Zone of medium influence	70	8,2	3,1	0,5	31,3	Як вище / As above
	Рівень забруднення/ Level of pollution		*Високий/ High*	*Середній/ Average*	*Середній/ Average*	*Середній/ Average*	
3	Контрольна природна ділянка/ Control natural area	90	8,0	3,0	0,45	28,5	Як вище / As above
	Рівень забруднення/ Level of pollution		*Високий/ High*	*Середній/ Average*	*Середній/ Average*	*Середній/ Average*	
Будівельний майданчик №2/ Construction site №2							
1	Прилегла до краю майданчика зона / Peripheral zone adjacent to the site boundary	45	8,35	1,3	1,1	72,5	Як вище / As above
	Рівень забруднення / Level of pollution		*Високий/ High*	*Низький/ Low*	*Високий/ High*	*Високий/ High*	
2	Зона середнього впливу/ Zone of medium influence	50	8,13	0,71	1,03	60,5	Як вище / As above
	Рівень забруднення/ Level of pollution		*Високий/ High*	*Низький/ Low*	*Високий/ High*	*Високий/ High*	
3	Контрольна природна ділянка/ Control natural area	110	8,01	0,6	0,8	48,1	Як вище / As above
	Рівень забруднення/ Level of pollution		*Високий/ High*	*Низький/ Low*	*Високий/ High*	*Середній/ Average*	

Тривала техногенна трансформація призводить до витіснення автохтонних видів, притаманних локальним урочищам, серед яких основними є Festuca vaginata (костриця піхвова) і Stipa capillata (ковила волосиста). Їхнє місце займають інвазивні види – Solidago canadensis (золотушник канадський) і Heracleum sosnowskyi (борщівник Сосновського), а також синантропні рослини, такі, як Artemisia vulgaris (полин звичайний), здатні ефективно адаптуватися до змінених ґрунтово-екологічних умов, що дозволяє їм швидко захоплювати домінантне положення в трансформованих екосистемах, витісняючи ендемічну флору.

У результаті формується спрощений, часто монодомінантний рослинний покрив або екосистеми з обмеженим біорізноманіттям і зниженою екологічною резистентністю до екологічних навантажень.

Висновки

Результати дослідження свідчать, що активна будівельна діяльність, пов'язана з розбудовою нових індустріальних зон і промислових кластерів, спричинює комплексні еколого-геоморфологічні трансформації інертних компонентів ландшафту – рельєфу та ґрунтового покриву, що негативно впливає на структурно-функціональну цілісність природно-територіальних комплексів і знижує екологічну стійкість ландшафтів.

Встановлено, що тип ґрунтово-геоморфологічної основи істотно впливає на інтенсивність екогеоморфологічних змін. Зокрема, ділянки з чорноземними ґрунтами виявляють вищу уразливість до трансформацій порівняно з територіями, складеними лесовидними суглинками. Це зумовлено відмінностями у фізико-механічних властивостях ґрунтів та специфікою використовуваних будівельних технологій.

За результатами геохімічного аналізу встановлено значне забруднення ґрунтів важкими металами та металоїдами у зонах безпосереднього впливу будівельної діяльності, що свідчить про високий рівень техногенного навантаження та потенційну екологічну загрозу для функціонування природних екосистем. Виявлено чітку закономірність зниження рівня забруднення ґрунтів зі збільшенням відстані від будівельного майданчика, що підкреслює локалізований характер антропогенного впливу та обґрунтовує необхідність впровадження систем моніторингу забруднення у зонах навколо об'єктів будівництва.

Порушення морфоструктури земної поверхні та деградація ґрунтового покриву зумовлюють негативні зміни у біотичній складовій ландшафтної структури. Зафіксовано зменшення видового різноманіття рослинного покриву, витіснення автохтонних фітоценозів і поширення адвентивних та інвазивних видів, що свідчить про деструкцію механізмів екосистемної саморегуляції. Встановлено, що трансформація абіотичних компонентів ландшафту ініціює комплексні порушення, які проявляються на рівні біотичних і функціональних зв'язків, що в цілому знижує екологічну стабільність досліджуваних територій.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що будівельна діяльність є чинником формування ланцюгових деградаційних процесів, що розпочинаються з трансформації абіотичного середовища та зумовлюють загальне порушення ландшафтної цілісності.

Для ефективного управління проектами з розбудови індустріальних зон і збереження екосистемних послуг необхідне впровадження комплексних методів оцінки екогеоморфологічних трансформацій із застосуванням геоінформаційних технологій та систем моніторингу.

Отримані результати засвідчують доцільність застосування системного підходу до аналізу і прогнозування антропогенного впливу на інертні компоненти ландшафту як одного з ключових аспектів екологічно обґрунтованого управління у процесі планування та реалізації будівельних проектів у межах нових індустріальних територій.

Конфлікт інтересів

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

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Сонько С. П., Зеленчук І. Д. Вплив будівництва на ландшафти лісостепової зони України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2024. Вип. 42. С. 24-34. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-02

2. Стецюк В.В. Рудько Г.І., Ткаченко Т.І. Екологічна геоморфологія України. К.: Видавничий дім «Слово», 2010. 368 с. URL: https://www.studmed.ru/stecyuk-v-v-i-dr-ekolog-chna-geomorfolog-ya-ukrani_2992266fe74.html
3. Про схвалення Стратегії розвитку індустріальних парків на 2023-2030 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України №176-р від 24 лютого 2023р. Верховна Рада України URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-2023-%D1%80#Text
4. Байрак Г. Методи геоморфологічних досліджень. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 292 с.
5. Палієнко В. П., Спиця Р. О. Дослідження умов формування небезпек і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій у контексті еколого-геоморфологічної оцінки території. *Український географічний журнал*. 2015. № 4. С. 3-9. https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.003
6. Ковальчук І. П. Екологічна геоморфологія . Енциклопедія Сучасної України / редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2009. URL: https://esu.com.ua/article-18674
7. Ковальчук І. П., Дубіс Л. Ф. Сучасна українська геоморфологія: здобутки, проблеми, перспективи (до 70-річчя кафедри геоморфології і палеогеографії ЛНУ імені Івана Франка). *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій*. 2021. Вип. 1. С. 179-196. http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2021.1.3463
8. Сонько С. П., Заленчук І. Д. Використання новітніх технологій у будівництві для зменшення шкідливого впливу на інертні компоненти ландшафту. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. 2022. №35. С. 32–38. https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-04
9. Мащенко О. М. Геоморфологія. Ч.1. Рельєфоутворення. Полтава: ПНПУ імені В.Г.Короленка, 2015. 53 с
10. . Суматохіна І. Наукові засади еколого-геоморфологічного дослідження для сталого розвитку промислових міст. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Сер. Географія.* Тернопіль : Тайп. 2010. №1 (27). С. 15-21. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/21156
11. Мащенко О. М. Геоморфологія. Ч.2. Зональні типи морфоскульптур суходолу. Полтава: ПНПУ імені В.Г.Короленка, 2016. 32 с.
12. П'яткова А. В. Ландшафтознавство: прикладні аспекти. Одеса: ОНУ імені І. І. Мечникова, 2020. 122 с.
13. Mustapha L. S., Obayomi O. V., Obayomi K. S. A comprehensive review on potential heavy metals in the environment: Persistence, bioaccumulation, ecotoxicology, and agricultural mpacts. Ecotoxicology and Environmental Safety. October 2025. https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2025.10.009
14. Булгаков В., Баштова М. Екологічно спрямовані дослідження геоморфологічних об'єктів у процесі навчання географії в основній школі. *Український Педагогічний журнал.* 2018. №3. С. 136-143. https://doi.org/10.32405/2411-1317-2018-3-136-143
15. Адаменко О. М. Теоретичні основи конструктивної екології – нового наукового напрямку у Науках про Землю. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування.* 2016. № 1. С. 5-17. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2016_1_3
16. Xiong L., Li S., Tang G., Strobl J. Geomorphometry and terrain analysis: data, methods, platforms and applications *Earth-Science Reviews.* 2022. Vol. 233. Article 104191. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104191
17. Widyatmantı W., Rossiter D. G., Cahyana D. The definition of soil science from a geographical perspective. *Soil Security.* 2025. Vol. 20. Article 100199. https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100199
18. Денисик Г. І.. Чиж О. П. Методи і методика дослідження антропогенних ландшафтів студентами географами закладів вищої освіти. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія : Теорія та методика навчання природничих наук*. 2022. № 3. С. 20-29. https://doi.org/10.31652/2786-5754-2022-3-20-29
19. Gregory, K., Lewin, J., Making concepts more explicit for geomorphology. *Progress in Physical Geography* 2015. P.1–17 https://doi.org/10.1177/0309133315571208
20. Aalto, J., Luoto, M., Integrating climate and local factors for geomorphological distribution models. *Earth Surface Processes and Landforms* Vol.39. No 13. 2014. P.1729–1740. https://doi.org/10.1002/esp.3554
21. Адаменко О., Рудько Г., Ковальчук І. Екологічна геоморфологія. Ів.-Фр.: Факел, 2000 411 с.
22. Turner, B.L., Lambin, E.F. and Reenberg, A. The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* December 26, 2007, 104(52), 20666-20671. https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104
23. Інтерактивна карта ґрунтів України URL: https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy
24. Сонько, С. П., Зеленчук, І. Д., Новікова, Т. П. Промислове будівництво, як чинник деструкції природних ландшафтів і втрати потенціалу екосистемних послуг. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2025. Вип. 43. С. 63-77. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-05
25. Bouma J. The increasing relevance of soil science and soil security in a changing agricultural policy environment. Soil Security. 2025. Vol. 19. Article 100192. https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100192
26. Іванюк Г. Сірі лісові ґрунти у різних класифікаційних системах. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2017. Вип. 51. С. 120-134. http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2017.51.8851

27. Сержантова Ю. Ю., Марченко О. І., Зеленчук І. Д. Використання новітніх технологій для моніторингу та збереження довкілля: роль дронів, супутників та штучного інтелекту. *Екологічні науки.* 2024. № 5(56). С. 182–188 https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.27

Отримано: 23.07.2025 / Переглянуто: 28.09.2025 / Прийнято: 20.10. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

I. D. ZELENCHUK,
Deputy Director[1], PhD Student of the Department of Ecology and Life Safety[2]
e-mail: zelenchuk.id@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-8517-6617
[1]*LLENTAB UKRAINE LLC*
114, Soborna str., Sofiivska Borshchahivka village, Kyiv-Svyatoshynskyi district,
Kyiv region, 08131, Ukraine
[2]*Uman National University,*
1, Instytutska Str., Uman, Cherkasy Region, 20305, Ukraine

ECOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL TRANSFORMATIONS OF INERT LANDSCAPE COMPONENTS IN INDUSTRIAL ZONES

Purpose. Comprehensive assessment of eco-geomorphological changes in inert components of the landscape caused by intensive construction activity in newly developed industrial zones of Ukraine, with consideration of the use of modern prefabricated building technologies.

Methods. The field investigations, systemic and comparative geographical analysis, statistical, morphometric assessment, as well as the method of correlation and comparison

Results. The results of field and analytical investigations demonstrated that construction activity constitutes a determining factor in the formation of zones with intensive technogenic pressure on soil cover. The highest levels of heavy metal contamination were recorded within active construction sites and adjacent material storage areas. Specifically, zinc (Zn) concentrations in these locations corresponding to the category of extremely high contamination according to the classification criteria for ecological soil quality assessment. Regression analysis revealed a statistically significant inverse correlation between the distance from the construction activity center and the accumulation level of heavy metals in the soil profile. Within the facies subjected to prolonged engineering intervention, a marked transformation of the vegetation structure was observed. Areas exposed to mechanical soil disturbance are characterized by a reduction in natural vegetation cover, a decline in species diversity, and the dominance of adaptive, primarily invasive, species. The displacement of biocenotic equilibrium promotes the exclusion of autochthonous flora species characteristic of the (natural) sites under investigation, leading to the formation of monodominant communities with low ecological resistance and impaired capacity for natural regeneration.

Conclusions. The development of industrial zones in areas predominantly used for agriculture and forestry leads to significant ecogeomorphological transformations of the inert components of the landscape. The application of an integrated methodological approach enabled the quantitative assessment of changes in morphostructure, soil cover, and hydrological regime, as well as the detection of increased heavy metal contamination in soils within construction sites. Disruptions in the interaction between inert and biotic components of geosystems were identified, resulting in reduced ecological resilience. The findings can serve as a scientific basis for optimizing spatial planning, implementing monitoring measures, and guiding environmental management of industrial infrastructure development in agro-landscapes.

KEYWORDS: *natural territorial complexes, NTCs, anthropogenic impact, geosystems, soils*

Conflict of interest

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

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Sonko, S. P., & Zelenchuk, I. D. (2024). Impact of construction on landscapes of the forest-step zone of Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (42), 24-34. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-02 (in Ukrainian)
2. Stetsiuk V.V., Rudko H.I., Tkachenko T.I. (2010). Ecological geomorphology of Ukraine. K.: Slovo Publishing House, 368. Retrieved from https://www.studmed.ru/stecyuk-v-v-i-dr-ekolog-chna-geomorfolog-ya-ukra-ni_2992266fe74.html (in Ukrainian)
3. On approval of the Strategy for the Development of Industrial Parks for 2023-2030: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 176-p of February 24, (2023). Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-2023-%D1%80#Text
4. Bairak, H. (2018). Methods of Geomorphological Research. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv. (in Ukrainian)

5. Palienko V.P., Spitsa R.O. (2015). Study of the conditions for the formation of hazards and risks of emergencies in the context of ecological and geomorphological assessment of the territory. *Ukrainian Geographical Journal.* (4),3-9. https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.003 (in Ukrainian)
6. Kovalchuk I.P. (2009). Ecological geomorphology. In I.M. Dziuba, A.I. Zhukovsky, M.G. Zheleznyak (Eds.). *Encyclopedia of Modern Ukraine* Kyiv: Institute of Encyclopedic Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. Retrieved from https://esu.com.ua/article-18674 (in Ukrainian)
7. Kovalchuk I.P., Dubis L.F. (2021). Modern Ukrainian geomorphology: achievements, problems, prospects (to the 70th anniversary of the Department of Geomorphology and Paleogeography of Ivan Franko National University of Lviv). *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*, *1*, 79-196. http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2021.1.3463 (in Ukrainian)
8. Sonko, S., Zelenchuk, I. (2022). Using the latest construction technologies to reduce the harmful effects on inert components of the landscape. *Problems of Continuous Geographic Education and Cartography*, (35), 32-38. https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-04 (in Ukrainian) (in Ukrainian)
9. Mashchenko, O. M. (2015). Geomorphology. Part 1. Relief formation.Poltava: V.G. Korolenko Poltava National Pedagogical University. (in Ukrainian)
10. Sumatokhina,.. (2010). Scientific principles of ecological and geomorphological research for sustainable development of industrial cities. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Geography Series*, (1(27)), 15-21. Retrieved from http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/21156 (in Ukrainian)
11. Mashchenko, O. M. (2016). Geomorphology. Part 2. Zonal types of land morphosculptures. Poltava: V.G. Korolenko Poltava National Pedagogical University. (in Ukrainian)
12. Piatkova, A. V. (2020). Landshaftoznavstvo: prykladni aspekty [Landscape science: applied aspects. Odesa: I. I. Mechnikov Odesa National University. (in Ukrainian)
13. Mustapha, L. S., Obayomi, O. V., Obayomi, K. S. (2025). A comprehensive review on potential heavy metals in the environment: Persistence, bioaccumulation, ecotoxicology, and agricultural mpacts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. October. https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2025.10.009
14. Bulgakov, V., & Bashtova, M. (2018). Ecologically oriented studies of geomorphological objects in the process of teaching geography in primary school. *Ukrainian Pedagogical Journal*, (3) 136-143. https://doi.org/10.32405/2411-1317-2018-3-136-143 (in Ukrainian)
15. Adamenko O. M. (2016). Theoretical foundations of constructive ecology - a new scientific direction in Earth Sciences. *Ecological safety and balanced resource use*. (1) 5-17. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2016_1_3 (in Ukrainian)
16. Xiong L., Li S., Tang G., & Strobl J. (2022). Geomorphometry and terrain analysis: data, methods, platforms and applications. *Earth-Science Reviews, 233*, 104191. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104191
17. Widyatmantı, W., Rossiter, D. G., Cahyana, D. (2025). The definition of soil science from a geographical perspective. *Soil Security*, *20*, 100199. https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100199
18. Methods and methodology for investigation of anthropogenic landscape by students geographers of higher education institutions. (2023). *Scientific Notes of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University Section Theory and Methods of Teaching Natural Sciences*, *3*, 20-29. https://doi.org/10.31652/2786-5754-2022-3-20-29 (in Ukrainian)
19. Gregory, K., & Lewin, J., (2015). Making concepts more explicit for geomorphology. *Progress in Physical Geography* 1–17. https://doi.org/10.1177/0309133315571208
20. Aalto, J., Luoto, M., (2014). Integrating climate and local factors for geomorphological distribution models. *Earth Surface Processes and Landforms* 39 (13). 1729–1740. https://doi.org/10.1002/esp.3554
21. Adamenko O., & Kovalchuk I. (2000). Ecological geomorphology: Torch. (in Ukrainian)
22. Turner, B.L., & Lambin, E.F. (2007). The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* December 26, 104(52), 20666-20671. https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104
23. Interactive map of soils of Ukraine Ruta Publishing. Retrieved from https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy (in Ukrainian)
24. Sonko, S.P., & Zelenchuk, I.D. (2025). Industrial construction as a factor of destruction of natural landscapes and loss of ecosystem services potential. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 63-77. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-05 (in Ukrainian)
25. Bouma J. (2025). The increasing relevance of soil science and soil security in a changing agricultural policy environment. *Soil Security, 19,* 100192. https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100192
26. Ivaniuk H. (2017). Gray forest soils in different classification systems. *Bulletin of Lviv University. Geographical series*. (51), 120-134. http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2017.51.8851 (in Ukrainian)
27. Serzhantova, Y., Marchenko, O. & Zelenchuk, I. (2024). The use of the latest technologies for monitoring and preservation of the environment: the role of drones, satellites and artificial intelligence. *Ecological sciences*. 5(56). 182-188. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.27 (in Ukrainian)

Submission received: 23.07.2025 / Revised: 28.09.2025 / Accepted: 20.10. 2025 / Published: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-11
УДК (UDC): 502/504:711.4(477.74)

І. М. СІРУК, PhD (Екологія),
старший викладач кафедри екології
e-mail: cranberry2204@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9914-8109
Поліський національний університет,
бульвар Старий 7, м. Житомир, 10008, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗДОВБИЦЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Мета. Аналіз основних екологічних проблем Здовбицької територіальної громади Рівненської області та практичні шляхи їх вирішення в контексті сталого розвитку.

Методи. Аналітичний метод, статистичний, соціологічне опитування, системний аналіз

Результати. Встановлено, що найбільш актуальними екологічними проблемами громади є забруднення атмосферного повітря автотранспортом і діяльністю промислових підприємств, несанкціоновані сміттєзвалища, недостатня кількість сучасних полігонів для відходів, погіршення якості поверхневих і ґрунтових вод, пилове забруднення територій унаслідок видобутку корисних копалин, а також деградація зелених насаджень. Виявлено низький рівень екологічної свідомості населення, що зумовлює слабку підтримку природоохоронних ініціатив. На основі аналізу запропоновано шляхи вирішення зазначених проблем: запровадження системи роздільного збору та вторинної переробки відходів; облаштування офіційних пунктів прийому твердих побутових відходів; модернізація очисних споруд і водовідведення; посилення екологічного моніторингу повітря та водних ресурсів; відновлення зелених зон; впровадження екопросвітницьких програм для школярів і дорослих; стимулювання бізнесу до використання екологічно безпечних технологій.

Висновки. Ефективне розв'язання екологічних проблем Здовбицької громади можливе за умови поєднання адміністративних, освітніх і економічних заходів, активної взаємодії органів місцевого самоврядування, громадськості та підприємницького сектору. Важливо забезпечити системний підхід до планування екологічної політики, спрямованої на формування безпечного, здорового та комфортного середовища проживання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *територіальна громада, екологічні проблеми, соціологічне опитування, сталий розвиток, охорона довкілля*

Як цитувати: Сірук І. М. Екологічні проблеми Здовбицької територіальної громади та шляхи їх вирішення. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 147-158. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-11

In cites: Siruk, I. M. (2025). Environmental problems of the Zdovbytsia territorial community and ways to solve them. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 147-158. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-11 (in Ukrainian)

Вступ

Сучасний етап розвитку українського суспільства супроводжується активним зростанням ролі територіальних громад у забезпеченні сталого розвитку та підвищенні якості життя населення. Реформа децентралізації надала громадам розширені повноваження в управлінні природними ресурсами, організації системи поводження з відходами та здійсненні контролю за станом довкілля. Проте, попри нові можливості, значна частина громад, особливо сільських та селищних, стикається з низкою екологічних викликів, які гальмують соціально-економічний розвиток і становлять загрозу для здоров'я населення.

Проблема полягає в тому, що екологічні аспекти на локальному рівні часто залишаються на периферії уваги як науковців, так і практиків. Особливо гострою ситуація є для невеликих громад, які стикаються з комплексом екологічних проблем: від неналежного поводження з побутовими відходами до деградації ґрунтів, забруднення водних ресурсів, атмосферного повітря, зни-

© Сірук І. М., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

ження рівня екологічної свідомості та недостатньої інституційної спроможності вирішувати ці виклики системно [1].

Наукова література засвідчує наявність широкого кола досліджень, присвячених різним аспектам екологічної ситуації в громадах, однак підходи авторів є фрагментарними й не завжди враховують специфіку невеликих сільських територій. Так, у працях Жукова І. та Гамоцького Р. [2] основна увага приділяється урбанізованим територіям, що ускладнює перенесення їхніх висновків на сільські громади.

Концептуальні основи сталого розвитку на місцевому рівні аналізуються в роботах Рябоконя В., Фесюк О., Карпюк З. та ін. [3–5], однак бракує практичних моделей адаптації цих підходів до умов малих громад.

У сфері поводження з відходами відзначаються ґрунтовні аналітичні праці Ілляш О., Ганошенко Г., Мунько А. та ін. [6–11], проте їхній фокус переважно спрямований на загальнодержавний або регіональний рівень.

Питання гідроекологічного стану територіальних громад розкрито у дослідженнях Новицької С., Кузик І., Дмитришин Н. [12], а стан атмосферного повітря досліджували Мокін В., Дзюняк Д., Бондалєтов К., Олійник В.[13]. Однак у більшості випадків відсутній комплексний підхід, що враховує взаємозв'язок природних, соціальних та економічних чинників.

Певну увагу формуванню екологічної свідомості на місцевому рівні приділено у працях Виговського Л., Виговської Т., Радея А. [14, 15], проте ці дослідження не охоплюють глибину освітніх та комунікаційних проблем на рівні малих громад.

Євроінтеграційні аспекти та питання екологічної модернізації в контексті місцевого розвитку розглядають Файфура В., Бицюра Л., Андрусишин Т. та ін. [16, 17], проте їх дослідження більше стосуються стратегічного планування, ніж вирішення поточних екологічних проблем. Водночас критично бракує міждисциплінарних досліджень, що комплексно аналізують стан довкілля у невеликих громадах, інтегруючи правові, освітні, екологічні та управлінські аспекти [18].

Зарубіжні дослідження також не завжди можуть бути безпосередньо застосовані в українських реаліях. Наприклад, увага іноземних авторів [19, 20] зосереджена переважно на екологічних наслідках субурбанізації [21] та ролі освіти у формуванні екологічної культури [22, 23], що, хоч і важливо, не охоплює весь спектр проблем, притаманних громадам у процесі трансформації [24, 25].

Особливої актуальності набуває комплексний аналіз екологічних викликів у межах Здовбицької територіальної громади Рівненської області, яка є типовим прикладом невеликої громади, де поєднуються інтенсивне сільське господарство, розвинута промисловість та недостатня екологічна інфраструктура. Серед ключових проблем – забруднення повітря транспортом і підприємствами, незадовільна система поводження з твердими побутовими відходами, зниження якості водних ресурсів, пиляння доріг та низький рівень екологічної свідомості населення [26].

Метою є аналіз основних екологічних проблем Здовбицької територіальної громади й пропозицій щодо шляхів їх вирішення з урахуванням місцевої специфіки та сучасних підходів до охорони довкілля.

Об'єкт та методи дослідження

Здовбицька територіальна громада Рівненського району Рівненської області (рис.1), утворена в процесі адміністративно-територіальної реформи. Загальна площа громади становить 14,9 тис. га, до її складу входить 15 населених пунктів із адміністративним центром у с. Здовбиця.

Земельний фонд громади представлений переважно сільськогосподарськими угіддями **(**12,7 тис. га, або 85 % території**),** значну частку займають ліси (1,2 тис. га**),** а також землі житлової та громадської забудови, водного фонду та природоохоронного призначення (табл.1). Загальна чисельність населення станом на 01.01.2021 року становила 11,2 тис. осіб, найбільшим населеним пунктом є с. Здовбиця (понад 5,3 тис. мешканців).

На території громади функціонує низка сільськогосподарських підприємств та фермерських господарств, зосереджена на вирощуванні зернових і технічних культур, тваринництві. Крім того, діють підприємства з видобутку корисних копалин (пісок, гравій, глини), що може мати значний вплив на стан довкілля. Важливим чинником соціального розвитку громади є освітні та культурні установи (ліцеї, гімназії, заклади дошкільної освіти, будинки культури).

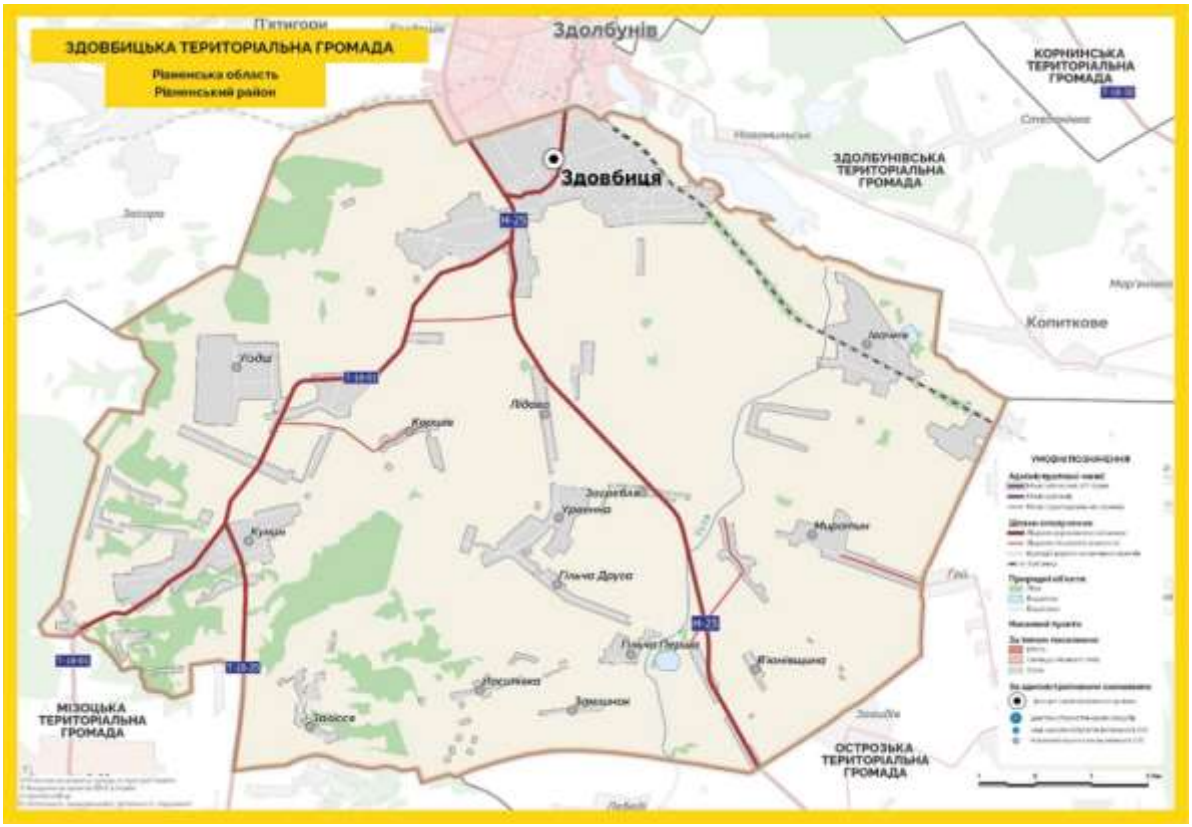


Рис.1 – Межі Здовбицької територіальної громади
Fig. 1 – Borders of the Zdovbych Territorial Community

Таблиця 1

Структура земельного фонду Здовбицької територіальної громади

Table 1

Structure of the land fund of the Zdovbych territorial community

№	Категорія земель / Land category	Площа, га / Area hectares
1	Сільськогосподарського призначення / Agricultural land	12693,763
2	Лісогосподарського призначення / Forestry land	1177,35
3	Землі промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики оборони та іншого призначення / Land for industry, transport, communications, energy, defense and other purposes	276,00
4	Землі водного фонду / Water fund lands	225,37
5	Землі природоохоронного призначення / Nature conservation land	232,1
6	Землі житлової та громадської забудови /Residential and public development land	161,68
7	Інші землі / Other land	173,527
	Разом /Together	14939,79

При дослідженні використано комплекс методів:

- аналітичний метод – комплексне опрацювання паспорта громади, статистичних матеріалів, даних офіційних сайтів, екологічних картографічних ресурсів, а також власних узагальнень результатів соціологічного опитування та інтерв'ю з представниками місцевого самоврядування. Такий підхід дозволив поєднати вторинні джерела інформації з первинними емпіричними спостереженнями, що підвищує наукову достовірність результатів
- соціологічний метод – проведення опитування мешканців громади щодо оцінки стану довкілля, основних екологічних проблем та очікувань від органів місцевого самоврядування;

- узагальнення та системний підхід – для формулювання висновків та пропозицій щодо шляхів вирішення виявлених проблем.

Соціологічне опитування проводилось у серпні–вересні 2024 року серед мешканців громади віком від 15 до 60 років. Вибірка становила 168 респондентів. Вибірку сформовано за принципом добровільної участі, що дозволило охопити різні вікові та соціальні групи. Більшість респондентів — у віковій групі 26–45 років (60%), що відображає активну частину працездатного населення. Опитування здійснювалося шляхом анкетування (онлайн).

Анкета містила 10 запитань, зокрема щодо екологічних проблем, ставлення до використання засобів захисту рослин (ЗЗР), рівня обізнаності про їх безпечне застосування, готовності брати участь у природоохоронних заходах тощо.

Результати та обговорення

Екологічна ситуація у Здовбицькій територіальній громаді характеризується низкою актуальних проблем, що потребують системного вирішення. На території громади відсутні пункти автоматизованого моніторингу атмосферного повітря, тому оцінку стану здійснено за даними станцій у м. Рівне, що розташоване за 15 км від Здовбиці. Аналіз показників (PM2.5, CO, формальдегід) свідчить про періодичне перевищення нормативів, що може становити ризик для здоров'я вразливих груп населення [27, 28]. Додатковим фактором забруднення є традиційне спалювання сухої рослинності навесні та восени.

Основним водним об'єктом, що впливає на стан довкілля громади, є р. Устя, яка зазнає істотного антропогенного навантаження. За даними спостережень, у воді зафіксовано перевищення ГДК за амоній-іонами у 4–6 разів, нітритами у понад 4 рази, а також недостатній вміст розчиненого кисню [29]. Це свідчить про зниження самоочисної здатності річки. На окремих територіях громади (с. Івачкове) спостерігається дефіцит питної води та висихання колодязів.

На території громади функціонує три місця видалення відходів (с. Здовбиця (рис.2), с. Залісся (рис.3), с. Уїздці (рис.4)), два з яких паспортизовані.

Проте проблема стихійних сміттєзвалищ залишається актуальною, оскільки вони створюють локальні осередки забруднення та потребують значних фінансових ресурсів для ліквідації. Як зазначив лідер громади під час інтерв'ю, ліквідація одного такого звалища обходиться у 125 тис. грн, і наразі вже ліквідовано одне зі чотирьох виявлених.

За даними сайту ЕкоСистема на території Здовбицької територіальної громади [30] діють одинадцять підприємства (табл.2)., які можуть бути потенційними забруднювачами навколишнього середовища.

У Здовбицькій територіальній громаді розробляється чотири родовища піску. Видо-

Рис. 2 – Схема розташування місця видалення відходів в с. Здовбиця
Fig. 2 – Scheme of the location of the waste disposal site in the village of Zdovbytsia

Рис. 3 – Схема розташування місця видалення відходів в с. Залісся
Fig. 3 – Scheme of the location of the waste disposal site in the village of Zalissya

Рис. 4 – Схема розташування місця видалення відходів в с. Уїздці
Fig. 4 – Scheme of the location of the waste disposal site in the village of Uyzdki

буток супроводжується утворенням пилу та викидами від кар'єрної техніки. Хоча пилові викиди в основному локалізуються у виїмках, проблема запилення ґрунтових доріг залишається гострою.

Активне застосування мінеральних добрив і пестицидів у громаді створює ризики для якості ґрунтів, води та здоров'я населення. Недотримання санітарно-захисних зон може призвести до негативних екологічних наслідків. У громаді фіксуються спалахи поширення американського білого метелика, який уражує плодові та декоративні насадження, що призводить до їх ослаблення та загибелі.

Проведене соціологічне опитування мешканців Здовбицької територіальної громади дало змогу комплексно оцінити екологічні проблеми з позицій місцевих жителів та лідерів громади. Опитування здійснювалося в онлайн-форматі (Google-анкета), поширеній через офіційний сайт громади та сторінку у соціальних мережах. Анкетування мало на меті виявити рівень екологічної свідомості та визначити пріоритетні проблеми довкілля.

Більшість респондентів оцінили екологічний стан громади як задовільний, тоді як значна частина схиляється до думки, що він є поганим. Лише незначна кількість

Таблиця 2.

Діючі підприємства на території Здовбицької територіальної громади

Table 2.

Operating enterprises in the territory of the Zdovbych United Territorial Community

№	Назва підприємства/ Company name	Адреса/ Address	Основна діяльність на території громади/ Main activity in the community
1.	ПСП " УКРАЇНА"/ PSP "UKRAINE"	35709, Рівненська обл., Здолбунівський р-н, с. Здовбиця, вул. Шосова, 267 / Rivne region, Zdolbuniv district, Zdovbytsia village, Shosova st., 267	Розведення великої рогатої худоби молочних порід/ Dairy cattle breeding
2.	ФГ "П'ЯТИГІРСЬКЕ"/ FG "PYATYGIRSKOE"	35764, Рівненська обл., Здолбунівський р-н, с. П'ятигори/ Rivne region, Zdolbuniv district, village of Pyatihory	Вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур/ Growing of cereals (except rice), legumes and oilseeds
3.	ПП "КОМПАНІЯ АВТОЛЕНД"/ PP "AVTOLEND COMPANY"	35709, Рівненська обл., Здолбунівський р-н, с. Здовбиця, вул. Шосова, 95/Rivne region, Zdolbuniv district, Zdovbytsia village, Shosova st., 95	Оптова торгівля сільськогосподарськими машинами й устаткуванням/ Wholesale trade in agricultural machinery and equipment
4.	ПП ПСППП "ЗДОЛБУНІВСЬКЕ"/ PP PSPPP "ZDOLBUNIVSKE"	35709, Рівненська обл., Здолбунівський район, с. Здовбиця, вул. Глинська/ Rivne region, Zdolbuniv district, Zdovbytsia village, Hlynska street	Розведення свійської птиці/ Poultry farming
5.	ФГ "НИВА"/ FG "NIVA"	35722, Рівненська обл., Здолбунівський район, с. Івачків, вул. Нова, 12/Rivne region, Zdolbuniv district, Ivachkiv village, Nova st., 12	Вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур/ Growing of cereals (except rice), legumes and oilseeds
6.	ФГ "АГРОСІМ'Я"/ FG "AGROSIMYA"	35721, Рівненська обл., Здолбунівський р-н, с. Миротин, вул. Богдана Хмельницького, 26/Rivne region, Zdolbuniv district, Myrotyn village, Bohdan Khmelnytskyi st., 26	Вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур/ Growing of cereals (except rice), legumes and oilseeds
7.	ФГ "ЛАВАНДА - ЛІДАВО"/ FG "LAVANDA - LIDAVO"	35715, Рівненська обл., Здолбунівський район, с Лідаво, вул. Молодіжна, 74/ Rivne region, Zdolbuniv district, Lidavo village, Molodizhna st., 74	Вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур/ Growing of cereals (except rice), legumes and oilseeds
8.	ТОВ "ЗАХІДНА АГРОВИРОБНИЧА КОМПАНІЯ"/ LLC "WESTERN AGRICULTURAL PRODUCTION COMPANY"	11162, Житомирська обл., Овруцький р-н, село Невгоди (філія Рівненська обл., Дубенський р-н, місто Дубно) / Zhytomyr region, Ovrut district, village of Nevhody (branch of Rivne region, Dubno district, Dubno city)	Вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур/ Growing of cereals (except rice), legumes and oilseeds
9.	ТЗОВ "ПОЛЮС" ЛТД/ TZOV "POLYUS" LTD	35700, Рівненська обл., Здолбунівський р-н, місто Здолбунів, вул. Нова, 73/ Rivne region, Zdolbuniv district, Zdolbuniv city, Nova st., 73	Добування піску, гравію, глин і каоліну/ Mining of sand, gravel, clay and kaolin
10.	ТОВ "ІНТЕР РЕСУРС"/ "INTER RESOURCE" LLC	35711, Рівненська обл., Здолбунівський р-н, с. Уїздці, вул. Незалежності, 35/ Rivne region, Zdolbuniv district, Uyzdtsi village, Independence st., 35	Добування піску, гравію, глин і каоліну/ Mining of sand, gravel, clay and kaolin
11.	ФГ "ДАРИНКА"/ FG "DARINKA"	35722, Рівненська обл., Здолбунівський район, с. Івачків/ Rivne region, Zdolbuniv district, village of Ivachkiv	Вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур/ Growing of cereals (except rice), legumes and oilseeds

учасників відзначили його як добрий або чудовий (рис.5). Це свідчить про усвідомлення екологічних загроз, але водночас і про збереження потенціалу для покращення ситуації.

Основною причиною екологічних проблем Здовбицької територіальної громади на думку опитаних респондентів є низький рівень екологічної свідомості.

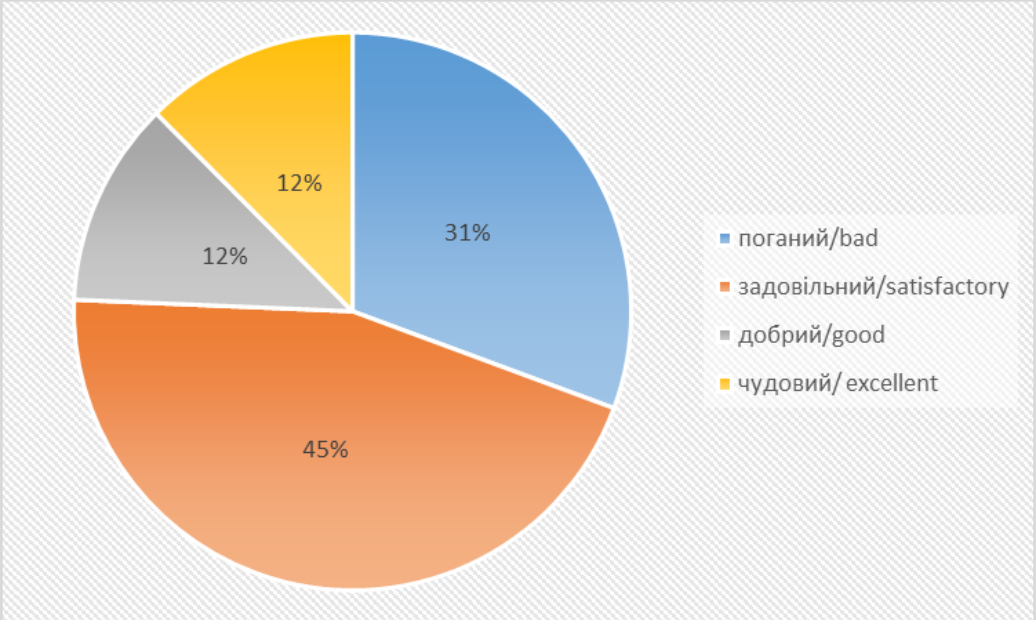


Рис.5 – Опитування респондентів щодо екологічного стану Здовбицької територіальної громади
Fig. 5 – Survey of respondents on the environmental condition of the Zdovbych territorial community

За результатами анкетування та інтерв'ювання мешканців громади виявлено коло екологічних викликів (табл.3.), що найбільш турбують:

- *несанкціоноване вивезення та накопичення побутових відходів*, відсутність належної інфраструктури для їх збору та сортування;
- *забруднення річок і зниження рівня води у колодязях*, що створює дефіцит якісної питної води;
- *забруднення атмосферного повітря*, особливо через масове спалювання сухої рослинності населенням;
- *пилове забруднення від видобувної діяльності*, оскільки на території громади функціонують кілька кар'єрів, а рух важкої техніки призводить до пилення ґрунтових доріг;
- *біологічні загрози,* зокрема поширення гусені американського білого метелика, яка уражує зелені насадження.

За оцінками опитаних мешканців, головними причинами екологічних проблем є:

- низький рівень екологічної свідомості громадян (схильність до спалювання рослинності, недотримання правил поводження з відходами);
- діяльність підприємств, розташованих на території громади (забруднення водних ресурсів, утворення пилу);
- наслідки глобальної зміни клімату, що проявляються у висиханні колодязів та зменшенні водності річок.

Незважаючи на значні виклики, частина жителів громади виявляє готовність до екологічно відповідальної поведінки: вони сортують сміття, збирають батарейки, не спалюють суху траву, беруть участь у толоках.

Респонденти також висловили пропозиції щодо шляхів подолання екологічних проблем, серед яких домінують: підвищення рівня екологічної освіти та просвіти, посилення адміністративної відповідальності за порушення природоохоронного законодавства, упровадження системи роздільного збору побутових відходів і розширення зелених зон.

Отримані результати підтверджують необхідність активізації інформаційно-просвітницької роботи серед населення, зокрема щодо безпечного та науково обґрунтованого використання засобів захисту рослин (ЗЗР), що сприятиме зменшенню хімічного навантаження на довкілля та підвищенню ефективно-

Таблиця 3

Екологічні проблеми, що найбільше турбують мешканців громади (за результатами соціологічного опитування)

Table 3

Environmental problems that most concern community residents (according to the results of a sociological survey)

№	Екологічна проблема громади/ Community environmental problem	Частка мешканців, яких турбує проблема (%)? Share of residents concerned about the problem (%)
1	Розорювання прибережних захисних смуг, заплавних земель, лугів, сінокосів, пасовищ/ Plowing of coastal protection strips, floodplains, meadows, hayfields, pastures	9,7
2	Знищення лісів та лісосмуг/ Destruction of forests and forest belts	39,4
3	Зниження рівня води водних об'єктів, в тому числі зниження рівня води у колодязях, забруднення річок/ Lowering of water levels in water bodies, including lowering of water levels in wells, pollution of rivers	49,7
4	Забруднення навколишнього середовища по причині господарської діяльності аграрних та інших підприємств/ Environmental pollution due to the economic activities of agricultural and other enterprises	48,4
5	Деградація ґрунтів/soil degradation	10,3
6	Забру́днення атмосферного пові́тря, у тому числі через спалювання сухої трави/ Air pollution, including from burning dry grass	43,3
7	Забруднення навколишнього середовища рідкими та твердими побутовими відходами/ Environmental pollution by liquid and solid household waste	33,5
8	Несакціоноване вивезення сміття мешканцями громади/ Unsanctioned garbage removal by community residents	57,4
9	Відсутність контейнерів для збору сміття в громаді/ Lack of garbage collection containers in the community	64,5

сті боротьби з біологічними загрозами, зокрема американським білим метеликом.

Водночас значна частина опитаних мешканців Здовбицької територіальної громади зізналася, що не роблять жодних дій для покращення стану довкілля**,** що підтверджує потребу у підвищенні рівня екологічної освіти та просвітництва.

Висновки

Дослідження дало змогу виявити коло найбільш актуальних екологічних проблем Здовбицької територіальної громади. До них належать:

- несанкціоноване вивезення та накопичення побутових відходів;
- забруднення поверхневих та підземних вод, зокрема зниження рівня води у колодязях і погіршення якості води р. Устя;
- забруднення атмосферного повітря, особливо внаслідок спалювання сухої рослинності;
- локальне забруднення довкілля внаслідок роботи кар'єрів та інтенсивного руху вантажної техніки;
- поширення карантинних шкідників, зокрема американського білого метелика.

Для покращення екологічної ситуації доцільним є реалізація таких напрямів:

Управління відходами: створення сучасної системи роздільного збору, сортування та утилізації ТПВ, ліквідація стихійних сміттєзвалищ, посилення контролю та відповідальності за порушення правил поводження з відходами.

Охорона водних ресурсів: моніторинг якості поверхневих і підземних вод, облаштування та відновлення джерел, очищення та розчищення русла р.Устя, запровадження природоорієнтованих методів очищення стоків.

Поліпшення якості повітря: просвітницька робота серед населення щодо шкоди від спалювання рослинності, організація альтернативного способу утилізації рослинних решток (компостування), створення громадської системи моніторингу якості повітря.

Регулювання впливу видобувної діяльності: облаштування доріг із твердим покриттям для зменшення пилляння, висад-ження захисних зелених насаджень, контроль за дотриманням природоохоронного законодавства підприємствами.

Збереження біорізноманіття: проведення своєчасних заходів боротьби з американським білим метеликом (механічних, біологічних, локально – хімічних), розширення площ зелених насаджень та лісосмуг.

Формування екологічної свідомості населення: проведення еколого-освітніх заходів, організація шкільних та молодіжних ініціатив, стимулювання громадської участі у толоках та природоохоронних акціях.

Системне вирішення екологічних проблем Здовбицької громади можливе лише за умови поєднання зусиль органів місцевого самоврядування, підприємств і самих мешканців. Реалізація запропонованих заходів сприятиме покращенню стану довкілля, підвищенню якості життя населення та формуванню основ сталого розвитку територіальної громади.

Конфлікт інтересів

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

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Serohin V., Serohina S., Bodrova I., Hrytsenko H., Omelianenko O. The Potential of Territorial Communities as a Factor of Socio-Environmental Development of Territories. Wseas Transactions on Environment and Development, 2023. Vol. 19. P. 197-206. https://doi.org/10.37394/232015.2023.19.17
2. Жукова О. Г., Гамоцький Р. О. Оцінка екологічних ризиків при будівництві на урбанізованих територіях. Зелене будівництво: Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції. Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. С.159-160.
3. Рябоконь В. П. Децентралізація – шлях до розвитку сільських територій в Україні. *Економіка АПК*. 2020. № 1. С. 50–60. https://doi.org/10.32317/2221-1055.202001006
4. Фесюк В. О., Карпюк З. К., Шуліковський С. В. Проблеми та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Ковельської територіальної громади. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*. 2023. № 3. С. 199–212. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.3.2023.199-212
5. Мельник Л. Г. *Основи стійкого розвитку*: навч. посіб. Суми: ВТД «Університетська книга», 2009. 654 с.
6. Ілляш О. Е., Ганошенко Г. В. Аналіз сучасних практик поводження з побутовими відходами: європейський досвід менеджменту існуючих звалищ. *Екологічні науки*. 2025. № 3(60). С. 162–167. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.30
7. Мунько А. Ю., Трещов М. М. Управління відходами як інструмент інтеграції екологічної політики та сталого розвитку на місцевому рівні. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2025. № 4(25). URL: https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/12260 (дата звернення: 19.03.2025).
8. Файфура В. В. Горун М. В., Бицюра Л. О., Управління відходами в контексті екологічної модернізації розвитку територіальних громад. *Регіональні аспекти розвитку продуктивних сил України*. 2021. Вип. 26. С. 72–79. https://doi.org/10.35774/rarrpsu2021.26.072
9. Токарчук Д. М., Пронько Л. М. Особливості утворення відходів на сільських територіях і методика розробки програми поводження з ними. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2023. № 3(65). С. 21–41. https://doi.org/10.37128/2411-4413-2023-3-2
10. Ліман А. М., Хандогіна О. В. Аналіз факторів виникнення стихійних сміттєзвалищ в Україні. *Перспективи розвитку територій: теорія і практика*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. Харків, 22–23 листоп. 2018 р. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 416 с.
11. Децентралізація. Офіційний сайт. URL: http://decentralization.gov.ua (дата звернення: 19.03.2025).
12. Новицька С., Кузик І., Дмитришин Н. Гідроекологічні проблеми та якість поверхневих вод Хоростківської територіальної громади. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*. Oxford–Vinnytsia, 2023. С. 110–113. https://doi.org/10.36074/logos-23.06.2023.31
13. Мокін В. Б., Дзюняк Д. Ю., Бондалєтов К. О., Олійник В. В. Метод і технологія моніторингу стану атмосферного повітря за допомогою універсальної інформаційно-вимірювальної системи з використанням мобільних пристроїв. *Наукові праці ВНТУ*. 2015. № 4. URL: https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/456/454
14. Виговський Л. А., Виговська Т. В. Світогляд як системоформуючий чинник у процесі формування екологічної свідомості особистості. *Університетські наукові записки*. 2016. № 3. С. 333–341.URL: http://old.univer.km.ua/visnyk/1586.pdf

15. Радей А. С. Екологічна свідомість і культура: теоретико-методологічний аспект. *Вісник НТУУ «КПІ». Філософія. Психологія. Педагогіка*. 2008. № 3(24). С. 74–78. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/8812
16. Файфура В. В., Бицюра Л. О., Андрусишин Т. В., Петришин Н. І. Екологічна модернізація розвитку територіальних громад в контексті переходу до «зеленої» економіки. *Інноваційна економіка*. 2022. № 4(92). С. 74–79. https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.4
17. Патинська-Попета М. М. Євроінтеграційні перспективи управління фінансовим потенціалом сталого розвитку територіальних громад. *Науковий погляд: економіка та управління*. 2021. № 5(75). С. 24–32. https://doi.org/10.32836/2521-666x/2021-75-4
18. Стегней М. І. Екологічні пріоритети розвитку сільських територій. *Економіка та держава*. 2015. № 1. С. 17–21. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecde_2015_1_6
19. Ribeiro J. C., da Silva F. A., Santos M. P. Sustainable Development in Rural Territories within the Last Decade: A Review of the State of the Art. *Heliyon*, 2023. Vol. 9. No. 12. e21165. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21165
20. Monzón-Reyes B. L., González-Moreno H. R., Month A. E. Á., Peralta Vega A. J., Ballut-Dajud G., Sandoval Herazo L. C. Wastewater Management Strategies in Rural Communities Using Constructed Wetlands: The Role of Community Participation. *Earth*, 2025. Vol. 6. No. 2. 18. https://doi.org/10.3390/earth6020018
21. Hlaváček, P., Kopáček, M., & Horáčková, L. Impact of suburbanisation on sustainable development of settlements in suburban spaces: Smart and new solutions. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. No 24. 7182. https://doi.org/10.3390/su11247182
22. Hoi Huynh Tan. Environmental education for the sustainable development of suburban communities in Ho Chi Minh City. The International Conference on Innovation, *Modern Applied Science & Environmental Studies (ICIES2020)*, 2021, Vol. 234, P. 1–5. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123400057
23. Aguirre P., Oliveira M., Andrade F. Sustainable Territorial Development in the Semi-Arid Region: Socio-Economic and Environmental Analysis of Irecê Territory (Bahia, Brazil). *Research, Society and Development*, 2025, Vol. 14, No. 2, e2851424982. https://doi.org/10.33448/rsd-v14i2.4982
24. Mebratu D. Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review. *Environmental Impact Assessment Review*, 2000, Vol. 20. No. 6. P. 493–520. https://doi.org/10.1016/S0305-9006(00)00003-9
25. Fernández-Jesús M., Brandon D., Barnes A., Dinis R. F. Communities Reclaiming Power and Social Justice in the Face of Climate Change. *Community Psychology in Global Perspective*, 2020. Vol. 6. No. 2/2. P. 1–21. https://doi.org/10.1285/i24212113v6i2-2p1
26. Гулак О. В., Курило В. І., Ладиченко В. В., Піддубний О. Ю. Реалізація управлінської компетенції територіальної громади у сфері екологічних відносин. *Наукові записки Львівського університету бізнесу і права*. 2023. № 38. С. 448–453. URL: https://nzlubp.org.ua/index.php/journal/article/view/975
27. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря : постанова Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827. Київ. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text (дата звернення: 03.02.2024)
28. Якість повітря в Україні онлайн: карта моніторингу. *SaveEcoBot*. URL: https://www.saveecobot.com/maps (дата звернення: 09.09.2025)
29. Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України. URL: http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index (дата звернення: 01.09.2025).
30. ЕкоСистема. URL: https://map.mepr.gov.ua/pollutants (дата звернення: 12.09.2025)

Отримано: 10.09.2025 / Переглянуто: 24.10.2025 / Прийнято: 14.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

I. M. SIRUK, PhD (Ecology)
Senior Lecturer of the Department of Ecology
e-mail: cranberry2204@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9914-8109
Polissia National University,
7, Staryy Boulevard, Zhytomyr, 10008, Ukraine

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE ZDOVBYTSIA TERRITORIAL COMMUNITY AND WAYS TO SOLVE THEM

Purpose. To analyze the environmental problems of the Zdovbytsia United Territorial Community (Rivne region, Ukraine) and to propose practical solutions for their resolution in the context of sustainable development.

Methods. Analytical approach, statistical, sociological, systematic analysis.

Results. It was found that the most pressing environmental issues of the community include air pollution from vehicles and industrial enterprises, unauthorized landfills, insufficient modern waste disposal sites, deterioration of surface and groundwater quality, dust pollution from mineral extraction activities, and degradation of green spaces. A low level of environmental awareness among residents was identified, leading to weak support for environmental initiatives. Based on the analysis, the following solutions were proposed: implementation of separate collection and recycling systems for waste; establishment of official waste reception points; modernization of wastewater treatment facilities; enhancement of environmental monitoring of air and water resources; restoration of green zones; introduction of environmental education programs for students and adults; and encouragement of businesses to adopt environmentally friendly technologies.

Conclusions. Effective resolution of the environmental problems in the Zdovbytsia community is possible through the combination of administrative, educational, and economic measures, as well as active cooperation between local authorities, the public, and the business sector. It is essential to ensure a systematic approach to environmental policy planning aimed at creating a safe, healthy, and comfortable living environment.

KEYWORDS*: territorial community, environmental problem, sociological survey, sustainable development, environmental protection*

Conflict of interest

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

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Serohin ,V., Serohina, S., Bodrova, I., Hrytsenko, H., & Omelianenko, O. (2023). The Potential of Territorial Communities as a Factor of Socio-Environmental Development of Territories. *Wseas Transactions on Environment and Development, 19*, 197-206. https://doi.org/10.37394/232015.2023.19.17
2. Zhukova, O. H., & Hamotskyi, R. O. (2019). Assessment of environmental risks during construction in urbanized areas. In *Green building* : *Proc. of the Scient. and Pract. Conf.* (pp. 159–160). Mykolaiv: Publisher Torubara V.V. (in Ukrainian)
3. Riabokon, V. P. (2020). Decentralization – the way to the development of rural areas in Ukraine. *Ekonomika APK*, (1), 50–60. https://doi.org/10.32317/2221-1055.202001006 (in Ukrainian)
4. Fesiuk, V. O., Karpiuk, Z. K., & Shulikovskyi, S. V. (2023). Problems and prospects of environmentally safe sustainable development of the Kovel territorial community. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, (3), 199–212. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.3.2023.199-212 (in Ukrainian)
5. Melnyk, L. H. (2009). *Fundamentals of sustainable development.* Sumy: Universytetska knyha. (in Ukrainian)
6. Illiash, O. E., & Hanoshenko, H. V. (2025). Analysis of modern practices of municipal waste management: European experience in landfill management. *Ekologichni Nauky*, 3(60), 162–167. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.30 (in Ukrainian)
7. Munko, A. Yu., & Treshchov, M. M. (2025). Waste management as an instrument of integrating environmental policy and sustainable development at the local level. Derzhavne Upravlinnia: Udoskonalennia ta Rozvytok, 4(25). https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/12260 (in Ukrainian)
8. Faifura, V. V., Horun, M. V., & Bytsiura, L. O. (2021). Waste management in the context of ecological modernization of territorial communities' development. *Regional Aspects of Development of Productive Forces of Ukraine*, 26, 72–79. https://doi.org/10.35774/rarrpsu2021.26.072 (in Ukrainian)
9. Tokarchuk, D. M., & Pronko, L. M. (2023). Features of waste generation in rural areas and methodology for developing waste management programs. *Economy, finances, management: Topical issues of science and practical activity.* 3(65), 21–41. https://doi.org/10.37128/2411-4413-2023-3-2 (in Ukrainian)

10. Liman, A. M., & Khandohina, O. V. (2018). Analysis of factors of spontaneous landfill formation in Ukraine. In *Perspectives of Territorial Development: Theory and Practice: Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 1–416). Kharkiv: O. M. Beketov National University of Urban Economy.
11. *Decentralization. Official site.* (2025, March 19). http://decentralization.gov.ua (in Ukrainian)
12. Novytska, S., Kuzyk, I., & Dmytryshyn, N. (2023). Hydroecological problems and surface water quality of the Khorostkiv territorial community. In *Theoretical and Empirical Scientific Research: Concept and Trends* (pp. 110–113). Oxford–Vinnytsia. https://doi.org/10.36074/logos-23.06.2023.31 (in Ukrainian)
13. Mokin, V. B., Dziuniak, D. Yu., Bondaliotov, K. O., & Oliinyk, V. V. (2015). Method and technology for monitoring atmospheric air quality using a universal information-measuring system based on mobile devices. *Scientific Works of VNTU*, (4). https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/456/454 (in Ukrainian)
14. Vyhovskyi, L. A., & Vyhovska, T. V. (2016). Worldview as a system-forming factor in the pro
15. cess of shaping an individual's environmental consciousness. *The University Scientific Notes*, (3), 333–341. http://old.univer.km.ua/visnyk/1586.pdf (in Ukrainian)
16. Radei, A. S. (2008). Environmental consciousness and culture: Theoretical and methodological aspect. *Bulletin of NTUU "KPI". Philosophy. Psychology. Pedagogy*, 3(24), 74–78. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/8812 (in Ukrainian)
17. Faifura, V. V., Bytsiura, L. O., Andrusyshyn, T. V., & Petryshyn, N. I. (2022). Ecological modernization of the development of territorial communities in the context of the transition to a green economy. *Innovatsiina Ekonomika*, 4(92), 74–79. https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.4 (in Ukrainian)
18. Patynska-Popeta, M. M. (2021). European integration prospects for managing the financial potential of sustainable development of territorial communities. *Scientific View: Economics and Management*, 5(75), 24–32. https://doi.org/10.32836/2521-666x/2021-75-4 (in Ukrainian)
19. Stehnei, M. I. (2015). *Ecological priorities for rural areas development.* Ekonomika ta Derzhava, (1), 17–21. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecde_2015_1_6
20. Ribeiro, J. C., da Silva, F. A., & Santos, M. P. (2023). Sustainable development in rural territories within the last decade: A review of the state of the art. *Heliyon, 9*(12), e21165. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21165
21. Monzón-Reyes, B. L., González-Moreno, H. R., Month, A. E. Á., Peralta Vega, A. J., Ballut-Dajud, G., & Sandoval Herazo, L. C. (2025). Wastewater management strategies in rural communities using constructed wetlands: The role of community participation. *Earth, 6*(2), 18. https://doi.org/10.3390/earth6020018
22. Hlaváček, P., Kopáček, M., & Horáčková, L. (2019). Impact of suburbanisation on sustainable development of settlements in suburban spaces: Smart and new solutions. *Sustainability, 11*(24), 7182. https://doi.org/10.3390/su11247182
23. Hoi Huynh Tan. (2021). Environmental education for the sustainable development of suburban communities in Ho Chi Minh City. In *The International Conference on Innovation, Modern Applied Science & Environmental Studies (ICIES2020)* (Vol. 234, pp. 1–5). https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123400057
24. Aguirre, P., Oliveira, M., & Andrade, F. (2025). Sustainable territorial development in the semi-arid region: Socio-economic and environmental analysis of Irecê territory (Bahia, Brazil). *Research, Society and Development, 14*(2), e2851424982. https://doi.org/10.33448/rsd-v14i2.4982
25. Mebratu, D. (2000).Sustainability and sustainable development: Historical and conceptual review. *Environmental Impact Assessment Review, 20*(6), 493–520 https://doi.org/10.1016/S0305-9006(00)00003-9
26. Fernández-Jesús, M., Brandon, D., Barnes, A., & Dinis, R. F. (2020). Communities reclaiming power and social justice in the face of climate change. *Community Psychology in Global Perspective, 6*(2/2), 1–21. https://doi.org/10.1285/i24212113v6i2-2p1
27. Hulak, O. V., Kurylo, V. I., Ladychenko, V. V., & Piddubnyi, O. Yu. (2023). Implementation of the management competence of the territorial community in the field of environmental relations. *Scientific Notes of Lviv University of Business and Law*, (38), 448–453. Retrieved from https://nzlubp.org.ua/index.php/journal/article/view/975 (in Ukrainian)
28. Some issues of state monitoring in the field of atmospheric air protection (2019, August 14). *Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution No. 827*. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text (in Ukrainian)
29. Air quality in Ukraine online: Monitoring map. (2025, September 9). SaveEcoBot. Retrieved from https://www.saveecobot.com/maps (in Ukrainian)
30. Monitoring and ecological assessment of water resources of Ukraine. (2025, September 01). http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index (in Ukrainian)
31. EcoSystem. (2025, September 12). Retrieved from https://map.mepr.gov.ua/pollutants (in Ukrainian)

Submission received: 10.09.2025 / Revised: 24.10.2025 / Accepted: 14.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-12
УДК (UDC): 624.012.45:711.4:502.131.1

Т. М. КУШНІРУК[1], канд. с.-г. наук, доц.,
доцент кафедри садово-паркового господарства, геодезії і землеустрою
e-mail: kuschniruk81@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3983-6070

О. І. ПЕТРИЩЕ[1], канд. с.-г. наук, доц.,
доцент кафедри садово-паркового господарства, геодезії і землеустрою
e-mail: petrichtche@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9802-8006

В. В. ДОДУРИЧ[1],
асистент кафедри садово-паркового господарства, геодезії і землеустрою
e-mail: valera.vdd@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-8399-771X
[1]*Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»,*
вул. Шевченка, 12, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32316, Україна

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ ТИПОЛОГІЇ ЗЕЛЕНИХ ДАХІВ У КОНТЕКСТІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО БУДІВНИЦТВА

Мета. Розроблення структурованої класифікації зелених покрівель, адаптованої до кліматичних, архітектурних і нормативних умов «зеленого» будівництва України, що враховує архітектурно-просторові, функціональні, екологічні та соціальні чинники.

Методи. Системно-структурного та кейс-аналізу; порівняльно-аналітичний, класифікаційно-типологічний, синтетичний та матрично-рейтинговий методи.

Результати. Сформовано авторську багаторівневу класифікацію зелених дахів за ступенем експлуатації, інтенсивністю озеленення, розташуванням та соціальною доступністю. Розроблена система дозволяє систематизувати конструктивні, функціональні та екологічні параметри зелених покрівель. Наукова новизна полягає у створенні національно адаптованої типології зелених дахів як елемента екологізації будівельного середовища. Практичне значення полягає у можливості використання результатів для розроблення стандартів і нормативних документів, а перспективи дослідження охоплюють подальшу інтеграцію класифікації у стандарти «зеленого» будівництва.

Висновки. Систематизація типології зелених дахів сприяє удосконаленню стандартів «зеленого» будівництва, підвищенню енергоефективності будівель, збереженню біорізноманіття та формуванню екологічно та соціально орієнтованого міського середовища.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *«зелене» будівництво, зелена покрівля, класифікація зелених дахів, озеленення, енергоефективність, екологізація*

Як цитувати: Кушнірук Т. М., Петрище О. І., Додурич В. В. Комплексний підхід до формування типології зелених дахів у контексті стандартизації екологічного будівництва. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.*2025. Вип. 44. С. 159-173. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-12

In cites: Kushniruk, T. M., Petryshche, O. I., & Dodurych, V. V. (2025). A comprehensive approach to green roof typology forming in the context of eco-friendly construction standardization. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 159-173. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-12 (in Ukrainian)

Вступ

Екологічні проблеми, стан природного середовища як у світі в цілому, так і в Україні загострюються з року в рік. На початку третього тисячоліття людство зіткнулося з масою глобальних проблем, які по суті всім відомі та досконалих рішень яких поки не існує. Не випадково в зв'язку з цим вченими все частіше акцентується увага на необхідності формування в громадян екологічної свідомості шляхом взаємодії держави й суспільства [1]. Зокрема, щодо вирішення деяких екологічних проблем у світі є гідний для запози-чення успішний досвід, заснований на застосуванні інструментів стримування. Так, вели- кий інтерес в останні роки викликає «зелене» будівництво, здатне мінімізувати екологічні проблеми, що виникають, в першу чергу, людською діяльністю.

© Кушнірук Т. М.., Петрище О. І, Додурич В. В., 2025(
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

На досягнення в областях екологізації, освоєння нових видів енергії та застосування новітніх інформаційних технологій, зокрема, спирається п'ятий технологічний уклад і, очевидно, на них же, але в більш вдосконаленій формі, буде базуватися й шостий уклад, зародження якого в світі відносять до 2010 р. [2]. По суті, саме «зелене» будівництво поєднує в собі орієнтацію на всебічну екологізацію із застосуванням технологій інформаційного моделювання та Інтернету речей. Однак єдиного підходу до визначення «зеленого» будівництва в науці немає, водночас існують різні підходи до розуміння сутності даної категорії.

Так, К. Ю Редько., М. В. Кот під «зеленим» будівництвом розуміють підхід до проєктування, будівництва та експлуатації об'єктів нерухомості (капітального будівництва) й відповідної інфраструктури, заснований на принципах екологічної стійкості та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище [3].

На думку авторів роботи [4] до «зеленого» будівництва відносять будівництво об'єктів з найменшим рівнем споживання ресурсів і мінімальним впливом на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу цих об'єктів. Тут мається на увазі не лише розробка і впровадження енергозберігаючих технологій, а й забезпечення найбільш комфортних і сприятливих умов для проживання.

Агентством з охорони навколишнього середовища США «зелене» будівництво було визначено як практика створення структур і використання процесів, які є екологічно відповідальними та ресурсоефективними протягом усього життєвого циклу будівлі, від її розміщення до проєктування, будівництва, експлуатації, технічного обслуговування, ремонту та демонтажу.

Ця практика розширює і доповнює класичні принципи проєктування будівель, що стосуються економічності, корисності, довговічності та комфорту. Екологічна будівля також відома як стійка або високоефективна будівля. Багато зарубіжних авторів поділяють такий підхід, зосереджуючись на тому, що «зелене» будівництво є перспективним способом забезпечення сталого розвитку [5].

Китайський стандарт оцінки зеленого будівництва визначає «зелені» будівлі як такі, що максимізують енергозбереження й скорочують викиди протягом усього життєвого циклу, ефективно захищають екологічне середовище та забезпечують «здорові» простори для мешканців [6]

У Південній Кореї визначення «зелених» будівель охоплює весь життєвий цикл, від будівництва й проживання до можливого знесення, при цьому особлива увага приділяється мінімізації шкоди навколишньому середовищу протягом усього цього процесу [7].

Визначення «зелених» будівель у Великій Британії фокусується на стійкості, екологічності та енергоефективності. Це включає в себе використання ефективних енергетичних систем, скорочення викидів парникових газів, застосування відновлюваних джерел енергії та ефективне управління водними ресурсами, а також роботу над поліпшенням якості навколишнього середовища в приміщеннях [8].

Так, незважаючи на відсутність універсального визначення, розглянуті тлумачення дозволяють виявити ряд трендів і найбільш істотних характеристик «зеленого» будівництва, до яких можна віднести: економічність, корисність, довговічність і комфорт «зелених» будівель; розробку і впровадження енергозберігаючих технологій; досягнення екологічної стійкості та мінімізацію негативного впливу будівель і споруд протягом усього життєвого циклу на навколишнє середовище.

З метою ефективної реалізації «зеленого» будівництва держави розробляють і впроваджують рейтингові програми з екологічного будівництва, що відрізняються за своїм підходом: одні визначають попередні умови та необов'язкові заходи, інші використовують імперативний підхід, а треті висувають вимоги, засновані на показниках, які можуть бути виконані різними способами для різних продуктів і типів проєктів. Водночас стандарти можуть охоплювати найрізноманітніші сфери, наприклад: проєктування і розробку ділянок, ефективність використання ресурсів, води, енергії, якість внутрішнього середовища, а також експлуатацію і технічне обслуговування будівлі. Існують стандарти, що отримали найбільше поширення, серед яких перша в світі рейтингова система і стандарт «зеленого» будівництва, розроблена у Великобританії, - BREEAM. Цей стандарт використовується в 90 країнах на тисячах проєктів і визнаний у всьому світі [9]. Не менш відомою є рейтингова система «Лідерство в енергетичному та екологічному проєктуванні» (LEED) для нового будівництва, розроблена в США. На сьогоднішній день, за цим стандартом реалізовано понад 110 000 проєктів у 180 країнах [10]. Існують і інші відомі стандарти «зеленого» будівництва, що розробляються і застосовуються різними країнами (DGNB - в Німеччині, GRIHA - в Індії, Estidama - в Абу-Дабі, BCA Green Mark Scheme - в Сінгапурі, Green Building Index (GBI) - в Малайзії та ін.).

Найчастіше вони створюються для вирішення проблем, продиктованих особливостями держав, що приймають такий стандарт, за допомогою чого країнами визначаються плани і стратегії з екологізації будівництва [11]. Зазначимо, що в більшості країн пріоритетним напрямком у будівельній галузі є мінімізація енергоспоживання будівель і скорочення викидів у навколишнє середовище. Важливо відзначити, що плани щодо досягнення поставлених цілей не можуть бути оперативними, дана тема потребує стратегічного підходу -саме тому стратегії більшості країн охоплюють 30-40-річний період.

В Україні національні «зелені» стандарти розглядаються як основа стимулювання розвитку «зеленого» будівництва протягом усього життєвого циклу об'єкта капітального будівництва. Наразі вже впроваджено стандарти «зеленого» будівництва для багатоквартирних житлових будинків, а в стадії розроблення - ДСТУ для індивідуального житлового будівництва та національний стандарт, що застосовується до капітального ремонту житла [12].

Багато держав не тільки розробили і прийняли такі стандарти, але й накопичили значний досвід реалізації проєктів, що відповідають «зеленим» критеріям. Розглянемо один із ефективних трендів «зеленого» будівництва та практики, що викликає значний інтерес будівельних компаній у світі - зелений дах, або зелені завіси.

Автори роботи [13] стверджують, що суть цього тренду полягає в озелененні фасадів і дахів будівель, що, на думку експертів, допомагає знизити ефект «теплового острова» у великих містах. Сади не тільки знижують температуру в найспекотніші дні, але також поглинають частину міського шуму й вуглекислий газ. Водночас О. С. Рибак констатує, що це також дозволяє організовувати нові простори для відпочинку, покращувати екологічну ситуацію і скорочувати витрати на експлуатацію міської інфраструктури [14]. Сади на дахах і терасах, за словами науковців [15], вирішують проблему відведення зайвої води під час злив (вода з дахів не стікає, а залишається в ґрунті). Своєю чергою дослідження [16] зосереджене на тому, що зелені дахи працюють як додатковий шар теплоізоляції - приміщення під ними не так сильно нагріваються влітку і втрачають менше тепла взимку. Це дозволяє скоротити витрати на кондиціонування та опалення.

Зрозуміло, що згадані вище підходи до екологізації будівництва не можна назвати універсальними, бо можливість їх застосування залежить від природно-кліматичних умов території, соціокультурних, економічних та інших факторів. Сучасні виклики урбанізації та зміни клімату загострюють необхідність у стійких рішеннях для міського середовища. Зелені дахи - це комплексні системи, що поєднують природні елементи з інженерними конструкціями, здатні істотно підвищити екологічну та енергетичну ефективність будівель.

Незважаючи на активний розвиток технологій і наявність позитивного міжнародного досвіду та наукових досліджень, у вітчизняній практиці відсутня систематизована класифікація зелених покрівель. Існуючі дослідження розглядають лише окремі конструктивні або функціональні аспекти, що призводить до відсутності єдиного підходу в проєктуванні, оцінці та впровадженні подібних рішень. А отже, в теоретичній базі простежується явна прогалина - відсутність цілісної типології зелених дахів, адаптованої до вітчизняних умов. Це перешкоджає масштабному поширенню технології та ускладнює стандартизацію процесів.

З огляду на наведене вище, метою дослідження є розробка структурованої класифікації зелених покрівель, що враховує архітектурно-просторові параметри, функціональне призначення, інтенсивність озеленення, соціальну доступність і технічні характеристики, застосовні в кліматичних і нормативних умовах України.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є зелені дахи як елемент екологізації міського середовища, а предметом - функціонально-конструктивні, екологічні й соціальні характеристики зелених покрівель, що визначають їх практичну ефективність та можливості стандартизації в умовах «зеленого» будівництва.

Аналіз виконано на основі нормативно-правових документів (ДБН В.2.6-220:2017 [18], ДСТУ-Н Б В.2.6-214:2016 [19], ДБН В.2.5-64:2012 [21], ДБН В.2.6-31:2021 [22]); міжнародних стандартів і рейтингових систем (ISO 21929-1:2011 [20], ISO 14001:2015 [23], LEED [9], BREEAM [10]) та вибірки наукових публікацій. Емпірична підстава - аналіз типових технічних рішень і прикладів впровадження зелених дахів у різних кліматичних і функціональних умовах.

Методологія дослідження включає: документальний (нормативний) аналіз - виявлення вимог до структури покрівлі, матеріалів, дренажу та безпеки (основа для

технічних орієнтирів); порівняльно-аналітичний метод - зіставлення національних стандартів і міжнародних практик для визначення трендів і адаптаційних можливостей; системно-структурний аналіз - декомпозиція складової «зелений дах» для виділення взаємозв'язків між поверхнею даху, рослинним шаром і людською присутністю (підґрунтя для багаторівневої класифікації); класифікаційно-типологічний метод - формування ієрархічної типології (екстенсивні, напівекстенсивні, інтенсивні; експлуатовані / неексплуатовані; за соціальною доступністю); матрично-рейтинговий підхід – кількісно-якісна агрегація впливів (економічні, архітектурно-містобудівні, екологічні, соціальні) з використанням умовної шкали (+ / ++ / +++), що дозволяє порівняти типи дахів за спектром ефектів; кейс-аналіз - верифікація типології та конструктивних рішень на конкретних прикладах; синтетичний метод - інтеграція отриманих результатів у авторську класифікацію та практичні висновки.

Наукова новизна полягає у розробці багаторівневої класифікації зелених дахів, що поєднує функціонально-конструктивні та соціальні критерії і підкріплена матричною оцінкою їх позитивних ефектів. Типологія адаптована до українських нормативних рамок у перспективі до практик реалізації.

Практичне та науково-теоретичне застосування: результати придатні для включення в методичні рекомендації та проєктні технічні умови, підґрунтя для подальшої розробки національних стандартів «зеленого» будівництва, а також для попереднього оцінювання ефективності проєктних рішень при плануванні екологічних дахових систем. Науково-теоретично доведено взаємозв'язок між конструктивними параметрами зелених дахів та їхніми екосистемними функціями.

Перспективи подальших досліджень включають систематичний аналіз типології зелених дахів з урахуванням конструктивно-екологічних параметрів та соціальних функцій, розробку науково обґрунтованих критеріїв їх стандартизації, а також апробацію авторської класифікації у регіональних умовах різних кліматичних зон України.

Результати та обговорення

Зелені дахи являють собою покрівельні конструкції, на яких висаджена рослинність. Залежно від функціонального призначення вони поділяються на експлуатовані (призначені для відпочинку, рекреації, занять спортом та інших активностей) і неексплуатовані (виконують переважно інженерно-екологічні функції). Створення таких систем вимагає застосування комплексних інженерних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності, стійкості та екологічної ефективності будівель [17].

Для досягнення мети дослідження проведено аналіз ключових конструкційних, технологічних та нормативних характеристик облаштування зелених покрівель (рис. 1; табл. 1).

Проведено аналіз нормативного забезпечення улаштування та експлуатації зелених дахів в Україні та констатовано, що стандарти та регулювання охоплюють такі ключові аспекти:

- шари та склад ґрунту – встановлюються вимоги до типів ґрунту для зелених дахів, що забезпечують не лише декоративний ефект, а й оптимальні умови для росту та життєздатності рослинності;
- дренаж і водовідведення – передбачаються системи, що запобігають надмірному затриманню вологи та забезпечують належ-

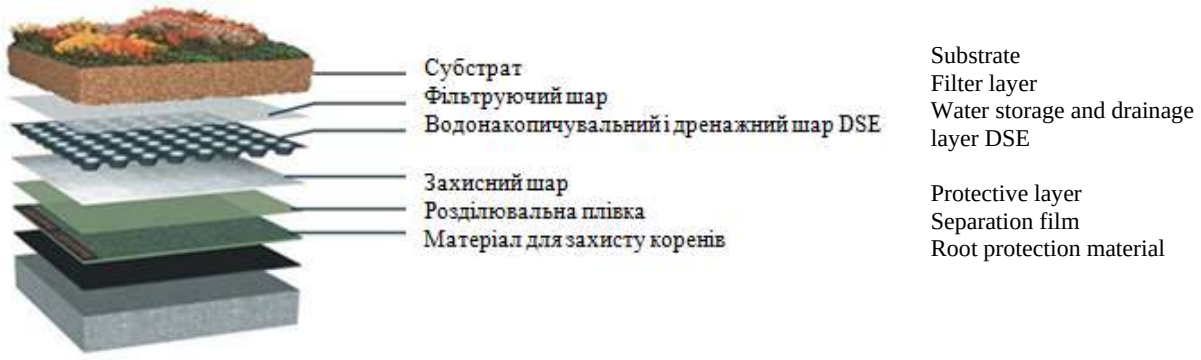


Рис. 1 – Конструктивна структура зеленого даху [17]
Fig. 1 – Structural design of a green roof [17]

Таблиця 1

Основні конструкційні, технологічні та нормативні характеристики зелених покрівель

Table 1

Basic structural, technological, and regulatory characteristics of green roofs

Функціональний аспект/ Functional aspect	**Зміст та характеристика/ Content and characteristics**	**Технічні та нормативні орієнтири/ Technical and regulatory guidelines**	**Сфера регулювання / зміст Scope of regulation / content**
Шарувата структура і рослинний покрив/ Layered structure and vegetation cover	Конструкція зеленого даху складається з гідроізоляційного, дренажного, фільтруючого, субстратного і рослинного шарів, що забезпечують водонепроникність, живлення та укорінення рослин/ The green roof structure consists of waterproofing, drainage, filtering, substrate, and plant layers that ensure waterproofing, nutrition, and rooting of plants	ДБН В.2.6-220:2017 [18]; DBN V.2.6-220:2017 [18]; ДСТУ-Н Б В.2.6-214:2016 [19]; DSTU-N B V.2.6-214:2016 [19]; ISO 21929-1:2011 [20]	Визначають вимоги до матеріалів, несучих елементів, гідроізоляції, експлуатованих покрівель і конструкційних вузлів. Охоплюють конструктивну надійність, екологічну стійкість і вимоги до довговічності матеріалів покрівель/ Define requirements for materials, load-bearing elements, waterproofing, exploited roofs, and structural units. Cover structural reliability, environmental sustainability, and requirements for the durability of roofing materials
Управління водними потоками/ Water flow management	Системи збору, фільтрації й утилізації дощових опадів сприяють зменшенню навантаження на водовідвід і запобігають протіканню гідроізоляції/ Rainwater collection, filtration, and utilization systems help reduce the load on drainage systems and prevent waterproofing leaks	ДБН В.2.5-64:2012 [21] DBN V.2.5-64:2012 [21]	Регламентують проєктування та експлуатацію дренажних систем, відведення та повторне використання дощової води/ Regulate the design and operation of drainage systems, rainwater drainage and reuse
Підвищення енергоефективності/ Improving energy efficiency	Зелені покрівлі зменшують тепловтрати та перегрів, покращують мікроклімат будівлі, сприяють енергозбереженню/ Green roofs reduce heat loss and overheating, improve the microclimate of the building, and promote energy conservation	ДБН В.2.6-31:2021; DBN V.2.6-31:2021; ДСТУ ISO 14044:2013 [22] DSTU ISO 14044:2013 [22]	Містять вимоги до теплоізоляції будівель, енергетичного аудиту та оцінки життєвого циклу матеріалів/ Contain requirements for thermal insulation of buildings, energy audits, and life cycle assessment of materials
Очищення повітря/ Air purification	Рослинний покрив поглинає CO_2, фільтрує пил і забруднення, покращує якість повітря/ Vegetation absorbs CO_2, filters dust and pollution, and improves air quality	ДСТУ ISO 14001:2015 [23] DSTU ISO 14001:2015 [23]	Регламентує впровадження систем екологічного менеджменту для зниження викидів і поліпшення якості повітря/ Regulates the implementation of environmental management systems to reduce emissions and improve air quality
Підтримка біорізноманіття/ Supporting biodiversity	Використання підбору рослин для створення мікробіотопів, сприятливих для комах, птахів, дрібних тварин/ Using plant selection to create microhabitats favorable for insects, birds, and small animals	LEED (USA) [10], BREEAM (UK) [9]; ДСТУ ISO 14005:2020 [24] DSTU ISO 14005:2020 [24]	Визначають екологічні критерії оцінювання проєктів щодо збереження біорізноманіття та природного балансу/ Define environmental criteria for evaluating projects related to biodiversity conservation and natural balance

ний стік дощових вод, захищаючи гідроізоляційний шар і будівельні конструкції;

- системи безпеки та конструктивна стійкість – регламентуються параметри несучих елементів, допустиме навантаження та інтеграція зеленого даху у загальну конструкцію будівлі, що гарантує безпеку експлуатації.

Відповідно до положень стандартів ДБН В.2.6-220:2017 та ДСТУ-Н Б В.2.6-214:2016, класифікація зелених дахів включає такі основні типи:

- садові дахи - покрівлі з багаторічною рослинністю, що вимагає систематичного догляду;

- дахи з газонним покриттям - конструкції, на яких висаджуються стійкі трав'янисті рослини;

- покрівлі з контейнерним озелененням - поверхні, озеленені за допомогою розміщення рослинності в мобільних ємностях (контейнерах).

В рамках стандартів також представлені вимоги до ключових компонентів зеленого даху (рис. 2): конструктивних елементів (включаючи несучу здатність перекриття, гідроізоляційні шари, систему водовідведення, теплоізоляційні матеріали); використовуваних матеріалів (їх екологічної безпеки, стійкості до вологи, довговічності); рослинним угрупованням (допустимим видам, їх агротехнічним характеристикам, сезонній стійкості).

Окрема увага в нормативній базі приділена забезпеченню сприятливого мікроклімату всередині будівель. Так, згідно з ДБН В.2.6-31:2021 та ДСТУ ISO 14044:2013 [22], температурні параметри в житлових і громадських приміщеннях повинні знаходитися

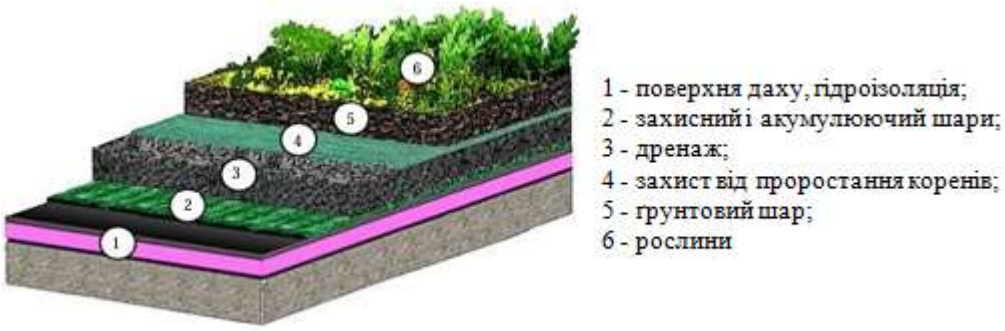


Рис. 2 – Конструктивні рішення зеленого даху [17]

1 – roof surface, waterproofing:
2 – protective and accumulation layers:
3 – drainage:
4 – protection against root growth:
5 – soil layer:
6 – jplants

Fig. 2 – Green roof design solutions [17]

в межах від 20 до 28°С при відносній вологості повітря від 40 до 60%. Озеленені покрівлі сприяють терморегуляції внутрішнього простору будівлі, знижуючи температуру повітря в теплу пору року і тим самим покращуючи мікрокліматичні показники.

Історія зелених дахів налічує кілька десятиліть, за які технологія зазнала значних змін. Поступово формувалися підходи до стандартизації та класифікації цих конструкцій. В результаті накопиченого досвіду була розроблена єдина типологія зелених дахів, визнана міжнародною професійною спільнотою, зокрема - ландшафтними архітекторами. Найпоширеніша класифікація базується на таких критеріях [25]:

- несуча здатність покрівлі;

- товщина і маса ґрунтового субстрату;

- асортимент і вимоги до рослинності;

- можливість і характер присутності людини.

Згідно з цією типологією, виділяють три основні типи:

- екстенсивні дахи - мінімальне обслуговування, тонкий шар ґрунту, стійкі до погоди рослини;

- інтенсивні дахи - складні насадження, включаючи чагарники і дерева, що вимагають догляду і посиленої конструкції;

- напівекстенсивні дахи - проміжний варіант, що поєднує елементи двох попередніх типів.

Розробка авторської класифікаційної системи дозволяє комплексно описувати типи зелених покрівель, їх призначення, конструктивні особливості та соціальну

доступність. Класифікація зелених дахів у дослідженні розглядається як авторський системний підхід, що дозволяє описати складну багаторівневу структуру елементів та їх взаємозв'язків. В її основі лежить взаємодія трьох ключових компонентів, що визначають архітектурно-просторову та функціональну організацію зеленого даху: поверхні даху, людської присутності (користування) та рослинного шару. Співвідношення і ступінь задіяння цих елементів дозволяють деталізувати, структурувати та розширити стандартні класифікації, групуючи їх за типологією зелених дахів (табл. 2).

Таблиця 2

Багаторівнева класифікація зелених дахів за основними функціонально-конструктивними та соціальними ознаками

Table 2

Multi-level classification of green roofs according to basic functional, structural, and social characteristics

За ступенем експлуатації/ By degree of exploitation	
Типи зелених дахів/ Types of green roofs	*Приклади та особливості/ Examples and features*
Експлуатовані (без доступу автотранспорту)/ Exploited (no vehicle access)	Зони відпочинку, дитячі майданчики, озеленені тераси/ Recreation areas, playgrounds, green terraces
Експлуатовані з можливістю проїзду/ Exploited with vehicle access	Паркінги, дахи з доріжками та доступом техніки/ Parking lots, roofs with walkways and access for equipment
частково експлуатовані/ Partially exploited	Використовуються на окремих ділянках покрівлі/ Used on separate sections of the roof
Неексплуатовані/ Unexploited	Виконують тільки екологічні та теплоізоляційні функції/ Perform only environmental and thermal insulation functions
За розташуванням відносно рівня землі By location relative to ground level	
Типи зелених дахів/ Types of green roofs	*Приклади та особливості/ Examples and features*
Зелені дахи будівель/ Green roofs on buildings	Дахи, які знаходяться на верхніх поверхах житлових, громадських та виробничих будівель/ Roofs located on the upper floors of residential, public, and industrial buildings
Терасові дахи Terrace roofs	Дахи, які знаходяться на верхніх поверхах будівель з терасами або терасових будівель/ Roofs located on the upper floors of buildings with terraces or terraced buildings
Покрівлі на підземних рівнях/ Roofs on underground levels	Дахи, які знаходяться на підвалах і цокольних поверхах будівель, включаючи різні рівні, над паркінгами, ТЦ, техпідвалами/ Roofs located in basements and ground floors of buildings, including different levels, above parking lots, shopping centers, and technical basements
Висячі сади/ Hanging gardens	Сади, які знаходяться на різних рівнях надземних частин будівель, спеціальних платформах, мостах і естакадах/ Gardens located on different levels of above-ground parts of buildings, special platforms, bridges, and overpasses
За соціальною приналежністю (доступністю)/ By social affiliation (accessibility)	
Типи зелених дахів Types of green roofs	*Приклади та особливості Examples and features*
Громадські експлуатовані дахи/ Publicly exploited roofs	Загальнодоступні, багатофункціональні території з високим рекреаційним навантаженням, що скорочує загальну площу озеленення і вимагає стійкості використовуваного рослинного асортименту/ Publicly accessible, multifunctional areas with high recreational use, which reduces the total area of greenery and requires the use of a resilient range of plants

	Продовження таблиці 2/ Continuation of table 2
Приватні зелені дахи та тераси/ Private green roofs and terraces	Пентхауси, вілли, клубні будинки. Використовуються рослини різних видів залежно від потреб власника, загального стилю, але з урахуванням клімату, вітрового навантаження і можливостей догляду, з дотриманням норм проектування/ Penthouses, villas, club houses. Different types of plants are used depending on the owner's needs and overall style, but taking into account the climate, wind load, and maintenance capabilities, in compliance with design standards
Громадські зелені тераси Public green terraces	Експлуатовані зелені тераси громадських будівель призначені для відпочинку та оздоровлення, з різними видами озеленення, представленими в спеціальних ємностях і вазонах Green terraces in public buildings are designed for recreation and wellness, with various types of greenery presented in special containers and pots
Приватні озеленені тераси Private green terraces	Експлуатовані зелені тераси в приватних володіннях прикрашають історичні та сучасні споруди, збагачуючи міське середовище різноманітними рослинами та якісним доглядом Green terraces in private properties adorn historical and modern buildings, enriching the urban environment with a variety of plants and high-quality care
За інтенсивністю озеленення By the intensity of landscaping	
Типи зелених дахів Types of green roofs	*Приклади та особливості Examples and features*
Висячі сади/ Hanging gardens	Висока щільність, великі рослини, включаючи дерева і чагарники, що створюють враження саду на природному ландшафті/ High density, large plants, including trees and shrubs, creating the impression of a garden on a natural landscape
Піднебесні оази/ Oases in the sky	Займають верхні поверхи або плоскі дахи, зосереджені в осередку урбаністичного ландшафту, з насиченими посадками різної фактури. Наближаються до масштабу міні-скверів і громадських просторів/ Occupy upper floors or flat roofs, concentrated in the center of the urban landscape, with dense plantings of various textures. Approaching the scale of mini-squares and public spaces
Земні раї/ Earthly paradises	Розташовуються на поверхні землі, на дахах підземних споруд, паркінгів, парків тощо. Використовується озеленення з деревами, чагарниками та квітами, що створює враження саду/ Located on the ground, on the roofs of underground structures, parking lots, parks, etc. Landscaping with trees, shrubs, and flowers is used, creating the impression of a garden
Розріджені ландшафти/ Sparse landscapes	Зелені дахи на штучних основах – розріджені насадження з газонів, лугів і чагарників. Основна функція – відпочинок, спорт, транзитний рух. Особливо актуальні для дворів, ділових і торгових комплексів/ Green roofs on artificial bases – sparse plantings of lawns, meadows, and shrubs. The main function is recreation, sports, and transit traffic. Particularly relevant for courtyards, business and shopping complexes
Екстенсивні дахи/ Extensive roofs	Пласкі або вигнуті структури, покриті одним шаром газонів, ґрунтопокривних або лугових рослин. Служать екологічним і естетичним цілям, не призначені для перебування людини/ Flat or curved structures covered with a single layer of lawns, ground cover or meadow plants. They serve ecological and aesthetic purposes and are not intended for human use
Водні світи/ Water worlds	Створюються на штучних основах для поліпшення мікроклімату. Вода виступає головною темою проєкту. Ставки, каскади – водні елементи для мікроклімату/ Created on artificial bases to improve the microclimate. Water is the main theme of the project. Ponds and cascades are water elements for the microclimate

Проаналізуємо надану класифікацію. Рішення про те, чи буде людина використовувати дах у своїх цілях, є ключовим моментом при природній класифікації дахів. Ця класи-фікація включає в себе перший аспект – поділ на експлуатовані та неексплуатовані покрівлі.

Придатний для використання плоский зелений дах пропонує широкий спектр можливостей для відпочинку, фізичного розвитку та реабілітації. Якщо дах повністю покритий рослинами і людина перебуває там лише для догляду (наприклад, садівник або ландшафтний дизайнер), то такий дах вважається невикористаним.

Залежно від того, який тип зеленого даху використовується, він виконує різні функції, які можуть варіюватися від екосистемних (наприклад, поліпшення якості повітря або підтримка біорізноманіття) до функціональних (наприклад, створення простору для відпочинку або занять спортом). Розглянемо переваги цих видів у контексті взаємодії з людиною. Кожен тип зеленого даху має свої особливості, які можуть залежати від конкретних потреб будівлі або території. Експлуатовані дахи, наприклад, надають додаткові можливості для використання простору, що робить їх особливо привабливими в умовах обмеженої міської площі. Крім екологічних та естетичних переваг, різні типи зелених дахів мають ще й функціональні особливості, які залежать від ступеня їх експлуатації. Наприклад, дахи, призначені для активного використання, можуть бути обладнані для розміщення транспортних засобів або установки спеціального обладнання. Важливо відзначити, що експлуатація таких дахів (наприклад, для організації паркування) можлива тільки відповідно до технічного завдання, що регулюється стандартами і будівельними нормами.

Зелені дахи зустрічаються на різних рівнях – на землі, на балконі / терасі, на пішохідній естакаді та на даху будівлі незалежно від її поверховості.

Озеленені експлуатовані дахи та сади, як правило, належать різним власникам – від муніципалітетів і товариств власників до приватних осіб, що формує їх соціальну доступність. Такі покрівлі стають доступними як для муніципалітетів, так і для товариств власників житла або приватних осіб, що підтверджує їх соціальну значущість. Більш того, такі дахи впливають не тільки на поліпшення міського середовища, але й на вирішення екологічних проблем, пов'язаних із впливом техносфери.

В дослідженні [16], проведеного з метою виявлення вразливості міст, встановлено, що біосфера може зіграти ключову роль у врівноваженні впливу техносфери та економіки. Наприклад, у ряді європейських країн температура традиційних дахів у літній період може досягати 90°C, тоді як на зелених дахах вона не перевищує 50°C, що може істотно знизити тепловий вплив на навколишнє середовище. Таким чином, різниця в температурі між звичайними і озелененими дахами може становити більше 40°C, що робить останні ефективним інструментом у боротьбі з перегрівом міських територій.

Зелені дахи можуть варіюватися від газонів до посадки дерев і чагарників. Введення авторами класифікаційної функції «інтенсивність озеленення» також виділяє кілька основних категорій.

Оцінювання рівня прояву кожного ефекту здійснювалося на основі якісно-кількісного аналізу літературних джерел, порівняння результатів емпіричних досліджень, а також експертного узагальнення. Критеріями для визначення якісних параметрів слугували: масштаб впливу (локальний, будівельний, міський), тривалість ефекту у часі, ступінь економічної та екологічної доцільності, а також рівень соціальної залученості користувачів. Сильний вплив (+++) присвоювався перевагам, ефективність яких підтверджена численними дослідженнями та має довготривалий системний ефект; середній рівень (++) — характеристикам, дія яких проявляється за певних умов експлуатації; незначний або відсутній вплив (+) — для параметрів із мінімальним або опосередкованим ефектом. Відповідно до отриманих результатів, основні переваги та сприятливі ефекти використання зелених дахів можна окреслити, як це подано в таблиці 3.

Отже, серед основних переваг і сприятливих ефектів використання зелених дахів, наведених вище (табл. 3) можна виокремити такі:

- підвищення енергоефективності будівель, що зумовлює зменшення споживання енергії на опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря;
- зниження ефекту міського «теплового острова» завдяки охолодженню поверхонь і зменшенню температури повітря в міському середовищі;

Таблиця 3

Позитивні ефекти використання зелених дахів

Table 3

Positive effects of using green roofs

Категорія/ Category	**Переваги/ Advantages**	**Власники / інвестори Owners / investors**	**Користувачі / орендарі Users / tenants**	**Місцева громада Local community**
Економічні/ Economic	Підвищення енергетичної ефективності будівлі/ Improved energy efficiency of the building	+++	+++	++
	Зниження навантажень на системи опалення, вентиляції, кондиціонування/ Reduced load on heating, ventilation, and air conditioning systems	+++	+++	+
	Збільшення вартості нерухомості/ Increased property value	+++	++	+
	Збільшення терміну служби покрівлі/ Extended roof service life	+++	+++	++
	Підвищення ефективності використання панелей сонячних батарей/ Improved efficiency of solar panels	+++	+++	++
	Зниження витрат на створення та обслуговування дренажних систем і зливової каналізації/ Reduced costs of installing and maintaining drainage systems and storm sewers	+++	+++	+
Архітектурно-містобудівні/ Architectural and urban construction	Підвищення естетичної привабливості міської забудови, поліпшення зовнішнього вигляду будівель і споруд/ Improving the aesthetic appeal of urban development, improving the appearance of buildings and structures	+++	+++	+++
	Підвищення оцінок енергоефективності та екологічності будівлі/ Improving the energy efficiency and environmental performance of buildings	+++	+++	+++
Екологічні/ Environmental	Зниження ефекту «теплового острова»/ Reducing the “heat island” effect	+	+++	+++
	Покращення якості повітря/ Improving air quality	+	+++	+++
	Зв’язування вуглецю (парникових газів)/ Carbon sequestration (greenhouse gases)	+	+++	+++
	Акумулювання зливових стоків/ Stormwater retention	+	+++	+++
	Зниження піків зливових стоків/ Reducing storm water runoff peaks	+	+++	+++
	Зниження рівня міського шуму/ Reducing urban noise levels	+	+++	+++
	Відтворення природного середовища/ Restoring the natural environment	+	+	+++
	Збереження біорізноманіття в межах міста/ Preserving biodiversity within the city	+	+	+++
Соціальні Social	Створення нових робочих місць/ Creation of new jobs	+++	+	+++
	Створення нових функціональних і громадських просторів/ Creation of new functional and public spaces	+++	+++	+++

	Продовження таблиці 3/ Continuation of table 3			
	Залучення громадян до міського/сільського господарства/ Involvement of citizens in urban/rural agriculture	++	+++	+++
	Можливість для виробництва продуктів харчування/ Opportunity for food production	++	+++	+++

- покращення акустичного комфорту, оскільки рослинний шар виконує функцію природного звукопоглинача;
- регулювання водного балансу міста через акумулювання дощових опадів і зниження навантаження на дренажні та зливові системи;
- поліпшення якості атмосферного повітря за рахунок фільтрації пилу, зв'язування вуглецю та адсорбції шкідливих газів;
- збільшення довговічності покрівельних конструкцій, що сприяє зниженню витрат на ремонт і заміну гідроізоляційних шарів;
- підвищення ринкової вартості об'єкта нерухомості та інвестиційної привабливості будівлі;
- покращення архітектурно-естетичного вигляду міського простору, гармонізація забудови та інтеграція природних елементів у структуру міста;
- створення нових громадських, рекреаційних і функціональних просторів, придатних для відпочинку та соціальної взаємодії;
- формування умов для міського садівництва та виробництва продуктів харчування, що сприяє розвитку локального продовольчого середовища;
- відтворення біорізноманіття міських екосистем і створення середовища існування для представників флори й фауни;
- зменшення рівня забруднення довкілля, зокрема пилового та газового, через природні фільтраційні властивості рослинності;
- покращення психоемоційного стану населення, формування комфортного середовища для відпочинку та зниження рівня стресу;
- сприяння створенню нових робочих місць у галузях благоустрою, ландшафтного дизайну та технічного обслуговування зелених систем;
- підвищення стійкості міських територій до кліматичних змін завдяки пом'якшенню температурних коливань і збереженню водного ресурсу.

З наведеного вище можемо констатувати, що авторське розширення та удосконалення класифікації зелених дахів за основними функціонально-конструктивними та соціальними ознаками є важливим етапом розвитку концепції зеленого будівництва в Україні. Такий підхід забезпечує системне врахування екологічних, енергетичних, архітектурних і соціальних чинників під час проєктування та експлуатації будівель.

Запропонована класифікація узгоджується з принципами сталого розвитку та положеннями національних стандартів у сфері екологічного проєктування, що сприяє підвищенню ефективності використання природних ресурсів і формуванню екологічно збалансованого міського середовища.

У контексті реалізації стандартів зеленого будівництва вона слугує науковим і практичним підґрунтям для подальшої інтеграції природоорієнтованих рішень у будівельну галузь.

Висновки

Так чи інакше, представлені «зелені» технології є лише невеликою частиною технологічного розмаїття, що використовується будівельними компаніями в світі в процесі переходу до «зеленого» будівництва, яке не тільки є актуальним і необхідним напрямком діяльності, але й сприяє розвитку організацій-забудовників і здорової конкуренції. На сьогоднішній день, все більша кількість об'єктів житлово-цивільного будівництва сертифіковані за системами екологічного будівництва, що враховують рівень застосування «зелених» технологій у вирішенні планувальних, конструктивних та інженерних рішень об'єктів і територій. Водночас «зелене» будівництво є вкрай важливим інструментом сталого розвитку.

Впровадження стандартів зелених дахів є не просто новим елементом у будівництві, а принципово іншим підходом до управління життєвим циклом будівель. Цей підхід включає в себе не лише зведення та оснащення об'єктів, а й забезпечення екологічної стійкості, енергозбереження, як і підвищення якості життя. Однак процес впровадження зелених дахів у будівельний

сектор є тривалим і суперечливим, що вимагає часу для оптимізації та адаптації.

Для успішного і широкого застосування зелених дахів необхідна підтримка на законодавчому рівні, а також зміна менталітету учасників будівельного процесу, готових адаптуватися до нових стандартів і впроваджувати екологічно стійкі рішення.

З точки зору містобудування, концепція зелених дахів є безсумнівною перевагою для розробників і забудовників, оскільки вона поєднує поліпшення зовнішнього вигляду та екологічних параметрів будівель з ефективними технологіями для зниження енергоспоживання та збереження ресурсів. Таким чином, зелені дахи стають інноваційним рішенням, яке поєднує функціональність з естетикою та екологічною відповідальністю.

Стандарти та регулювання в цьому контексті відіграють ключову роль у забезпеченні стійкості й ефективності таких систем, а розроблена авторська класифікація зелених дахів, що базується на поєднанні функціонально-конструктивних, екологічних та соціальних критеріїв, слугує практичним інструментом їх систематизації, стандартизації та впровадження в практику «зеленого» будівництва.

Такий підхід сприяє формуванню екологічно орієнтованого міського середовища, підвищенню ефективності використання ресурсів і зміцненню соціальної стійкості урбанізованих територій.

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту..

Список використаної літератури

1. Шушпанов Д., Кривокульська Н. Екологічний менеджмент як інструмент екологізації економіки. *Економічний дискурс*. 2024. Вип. 1-2. С. 90-101. https://doi.org/10.36742/2410-0919-2024-1-10
2. Зимогляд Б.Г., Чала В.С. Глобальні екологічні тренди диверсифікації будівельного сектору. *Economic space*. 2025. № 203. С. 89-95. https://doi.org/10.30838/EP.203.89-95
3. Редько К.Ю., Кот М.В. Оцінювання поточного стану та перспектив розви-тку «зеленого» будівництва в країнах Європи. *Наука та наукознавство*. 2022. № 2(116). С. 48-64. https://doi.org/10.15407/sofs2022.02.048
4. Бондаренко С.А., Верховод І.С., Шапошников В.С. Економічна ефективність програм субсидування зеленого житла: екосистемний підхід та досвід України в контексті післявоєнної відбудови. *European scientific journal of Economic and Financial innovation.* 2025. № 3(17). http://doi.org/10.32750/2025-0320
5. Chen L., Chan A., Owusu E., Darko A., Gao X. Critical Success Factors for Green Building Promotion: A Systematic Review and Meta-analysis. *Building and Environment*. 2021. Vol. 207. http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108452
6. Wei W., Prasetyo Y.T., Belmonte Z.J.A., Cahigas M.M.L., Nadlifatin R., Gumasing M.J.J. Applying the technology acceptance model – Theory of planned behavior (TAM-TPB) model to study the acceptance of building information modeling (BIM) in green building in China. *Acta Psychologica*. 2025. Vol. 254. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.104790
7. Kim M.-K., Yang H.-S., Yoo T.-A., Jang H.-S., Kwak M., Park M.-H., Chung J.-B. An adaptation and validation of the Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC): A case study of South Korea. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2025. Vol. 126. P. 105634. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105634
8. Fazio G., Maioli S., Rujimora N. Building back greener, levelling-up or both? An assessment of the economic and environmental efficiency transition of UK regions. *Papers in Regional Science*. 2024. Vol. 103, Iss. 6. P. 100053. https://doi.org/10.1016/j.pirs.2024.100053
9. Chelaru B., Onuțu C., Ungureanu G., Volf I., Șerbănoiu A.A. BIM and cloud-based tools integration for BREEAM in energy-efficient building design: A case study. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 26. P. 105493. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105493
10. Hamdy A. Quality of life: quantitative analysis in New Urbanism and LEED-ND certified neighbourhoods. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban Design and Planning*. 2024. Vol. 177, Iss. 4. P. 195-231. https://doi.org/10.1680/jurdp.24.00008
11. Norouzi N., Soori M. Energy, environment, water, and land-use nexus based evaluation of the global green building standards. *Water-Energy Nexus*. 2020. Vol. 3. P. 209-224. https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.10.001

12. Введений в дію перший стандарт зеленого будівництва для громадських будинків. *Жива планета.* 2025. URL: https://livingplanet.org.ua/novuny/vvedenij-v-diyu-pershij-standart-zelenogo-budivnitstva-dlya-gromadskikh-budinkiv
13. Герасимчук П.О., Валерко Р.А., Весельський О.О. Переваги зелених дахів та їх розрахунок. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 48–57. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.7
14. Рибак О.С. «Зелений дах-біорізноманіття»: технології будівництва, утримання, обслуговування та особливості контролю біотичної складової. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* 2023. № 5. С. 35–41. https://doi.org/10.32782/199 5-0 519.2023.5.4.
15. Рибак О.С., Пацева І.Г. Зелені дахи як елемент децентралізованого управління дощовою водою. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. № 2. С. 40–46. https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6
16. Huang Y.Y., Ma T.J., Wang Y.S., Wang C.K. The application of non-Crassulacean acid metabolism edible plant and lightweight expanded clay aggregate to achieve joint benefits of thermal insulation mitigation and passive cooling strengthening of extensive green roofs in subtropical regions. *Solar Energy*. 2020. Vol. 201. P. 944-964. https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.029
17. Карпенко К.В., Белава В.Н., Ольхович О.П. Озеленення дахів. Особливості та перспективи. Найкращі приклади реалізації в Україні та світі. *Теорія та практика дизайну*. 2024. Вип. 32. С. 201-208. https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.32.24
18. Наказ від 06.06.2017 № 139 Про затвердження ДБН В.2.6-220:2017 Покриття будівель і споруд. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72201&utm
19. Наказ від 13.06.2016 № 146 Про прийняття національного стандарту України ДСТУ-Н Б В.2.6-214:2016 Настанова з улаштування та експлуатації дахів будинків, будівель і споруд. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65425&utm
20. ISO 21929-1:2011 Sustainability in building construction - Sustainability indicators. URL: https://www.iso.org/standard/46599.html?utm
21. Наказ від 31.10.2012 № 553 Про затвердження ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=29848
22. Наказ від 30.12.2021 № 366 Про затвердження ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98037
23. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT) : ДСТУ ISO 14001:2015. (Наказ від 21.12.2015 № 203). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64015
24. Системи екологічного управління. Настанови щодо гнучкого підходу до поетапного запровадження (ISO 14005:2019, IDT) : ДСТУ ISO 14005:2020. (Наказ від 15.12.2020 № 449). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91300
25. Hansen P., Heusinger J., Weber S. Carbon and water exchange in extensive green roofs: a comparison between eddy covariance and soil flux chamber observations. *Urban Forestry & Urban Greening.* 2025. P. 129099. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.129099

Отримано: 09.09.2025 / Переглянуто: 27.10.2025 / Прийнято: 08.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

T. M. KUSHNIRUK[1], PhD (Agriculture),
Associate Professor of the Department of Horticulture and Land Management
e-mail: kuschniruk81@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3983-6070

O. I. PETRYSHCHE[1], PhD (Agriculture),
Associate Professor of the Department of Horticulture and Land Management
e-mail: petrichtche@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9802-8006

V. V. DODURYCH[1],
Assistant of the Department of Horticulture and Land Management
e-mail: valera.vdd@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-8399-771X
[1]*Higher Educational Institution «Podillia State University»*,
12, Shevchenko Str., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi Region, 32316, Ukraine

A COMPREHENSIVE APPROACH TO GREEN ROOF TYPOLOGY FORMING IN THE CONTEXT OF ECO-FRIENDLY CONSTRUCTION STANDARDIZATION

Purpose. Development of a green roof classification system adapted to the climatic, architectural, and regulatory conditions of green construction in Ukraine, taking into account architectural, spatial, functional, environmental, and social factors.

Methods. Systemic-structural, and case analysis were used, as well as comparative-analytical, classification-typological, synthetic, and matrix-rating methods.

Results. A multi-level classification of green roofs is formed according to the degree of exploitation, intensity of greening, location, and social accessibility. The developed system allows systematizing the structural, functional, and environmental parameters of green roofs. The scientific novelty lies in the creation of a nationally adapted typology of green roofs as an element of the greening of the built environment. The practical significance lies in the possibility of using the results to develop standards and regulatory documents, and the research prospects include further integration of the classification into green building standards.

Conclusions. It has been proven that the expanded systematization of green roof typology contributes to the improvement of green building standards, increased energy efficiency of buildings, preservation of biodiversity, and the formation of an environmentally and socially oriented urban environment.

KEYWORDS: *green construction, green roof, classification of green roofs, landscaping, energy efficiency, greening*

Conflict of Interest

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

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work.
The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Shushpanov, D., & Kryvokulska, N. (2024). Ecological management as a tool for greening the economy. *Economic Discourse, 1–2*, 90–101. https://doi.org/10.36742/2410-0919-2024-1-10 (in Ukrainian)
2. Zymohliad, B. G., & Chala, V. S. (2025). Global ecological trends of diversification in the construction sector. *Economic Space, 203*, 89–95. https://doi.org/10.30838/EP.203.89-95 (in Ukrainian)
3. Redko, K. Yu., & Kot, M. V. (2022). Assessment of the current state and development prospects of "green" construction in European countries. *Science and Scientometrics, 2(116)*, 48–64. https://doi.org/10.15407/sofs2022.02.048 (in Ukrainian)
4. Bondarenko, S. A., Verkhovod, I. S., & Shaposhnikov, V. S. (2025). Economic efficiency of green housing subsidy programs: an ecosystem approach and Ukraine's experience in the context of post-war reconstruction. *European Scientific Journal of Economic and Financial Innovation, 3*(17). http://doi.org/10.32750/2025-0320 (in Ukrainian)
5. Chen, L., Chan, A., Owusu, E., Darko, A., & Gao, X. (2021). Critical success factors for green building promotion: A systematic review and meta-analysis. *Building and Environment, 207*. http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108452
6. Wei, W., Prasetyo, Y. T., Belmonte, Z. J. A., Cahigas, M. M. L., Nadlifatin, R., & Gumasing, M. J. J. (2025). Applying the technology acceptance model – Theory of planned behavior (TAM-TPB) model to study the acceptance of building information modeling (BIM) in green building in China. *Acta Psychologica, 254*. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.104790
7. Kim, M.-K., Yang, H.-S., Yoo, T.-A., Jang, H.-S., Kwak, M., Park, M.-H., & Chung, J.-B. (2025). An adaptation and validation of the Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC): A case study of South Korea. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 126*, 105634. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105634

8. Fazio, G., Maioli, S., & Rujimora, N. (2024). Building back greener, levelling-up or both? An assessment of the economic and environmental efficiency transition of UK regions. *Papers in Regional Science, 103*(6), 100053. https://doi.org/10.1016/j.pirs.2024.100053
9. Chelaru, B., Onuțu, C., Ungureanu, G., Volf, I., & Șerbănoiu, A. A. (2025). BIM and cloud-based tools integration for BREEAM in energy-efficient building design: A case study. *Results in Engineering, 26*, 105493. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105493
10. Hamdy, A. (2024). Quality of life: quantitative analysis in New Urbanism and LEED-ND certified neighbourhoods. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning, 177*(4), 195–231. https://doi.org/10.1680/jurdp.24.00008
11. Norouzi, N., & Soori, M. (2020). Energy, environment, water, and land-use nexus based evaluation of the global green building standards. *Water-Energy Nexus, 3*, 209–224. https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.10.001
12. First green building standard for public buildings introduced. (2025). *Living Planet*. Retrieved from https://livingplanet.org.ua/novuny/vvedenij-v-diyu-pershij-standart-zelenogo-budivnitstva-dlya-gromadskikh-budinkiv (in Ukrainian)
13. Herasymchuk, P. O., Valerko, R. A., & Veselskyi, O. O. (2024). Advantages of green roofs and their calculation. *Agrarian Innovations, 23*, 48–57. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.7 (in Ukrainian)
14. Rybak, O. S. (2023). "Green roof–biodiversity": construction, maintenance, servicing technologies and features of biotic component control. *Kryvyi Rih National University Bulletin named after Mykhailo Ostrohradskyi, 5*, 35–41. https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.5.4 (in Ukrainian)
15. Rybak, O. S., & Patseva, I. H. (2023). Green roofs as an element of decentralized stormwater management. *Problems of Chemistry and Sustainable Development, 2*, 40–46. https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6 (in Ukrainian)
16. Huang, Y. Y., Ma, T. J., Wang, Y. S., & Wang, C. K. (2020). The application of non-Crassulacean acid metabolism edible plant and lightweight expanded clay aggregate to achieve joint benefits of thermal insulation mitigation and passive cooling strengthening of extensive green roofs in subtropical regions. *Solar Energy, 201*, 944–964. https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.029
17. Karpenko, K. V., Belava, V. N., & Olkhovych, O. P. (2024). Green roofs: features and prospects. Best practice examples in Ukraine and worldwide. *Theory and Practice of Design, 32*, 201–208. https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.32.24 (in Ukrainian)
18. Building and Structure Coverings. (2017). Order dated 06.06.2017 № 139 on approval of DBN V.2.6-220:2017 *Budstandart*. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72201&utm (in Ukrainian)
19. Guidelines for arrangement and operation of roofs of buildings, structures, and facilities. (2016). Order dated 13.06.2016 № 146 on adoption of the national standard of Ukraine DSTU-N B V.2.6-214:2016 *Budstandart*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65425&utm (in Ukrainian)
20. ISO 21929-1:2011. (2011). Sustainability in building construction: Sustainability indicators. Retrieved from: https://www.iso.org/standard/46599.html?utm (in Ukrainian)
21. Internal Water Supply and Sewerage. Part I: Design. Part II: Construction. (2012). Order dated 31.10.2012 № 553 on approval of DBN V.2.5-64:2012 *Budstandart*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=29848 (in Ukrainian)
22. Thermal Insulation and Energy Efficiency of Buildings. (2021). Order dated 30.12.2021 № 366 on approval of DBN V.2.6-31:2021 *Budstandart*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98037 (in Ukrainian)
23. Environmental Management Systems. Requirements and guidance for use (ISO 14001:2015, IDT). (2015).Order dated 21.12.2015 № 203 on adoption of DSTU ISO 14001:2015 *Budstandart*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64015 (in Ukrainian)
24. Environmental Management Systems. Guidelines for a flexible approach to phased implementation (ISO 14005:2019, IDT). (2020).Order dated 15.12.2020 № 449 on adoption of DSTU ISO 14005:2020 *Budstandart*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91300
25. Hansen, P., Heusinger, J., & Weber, S. (2025). Carbon and water exchange in extensive green roofs: a comparison between eddy covariance and soil flux chamber observations. *Urban Forestry & Urban Greening, 81*, 129099. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.129099

Submission received: 09.09.2025 / Revised: 27.10.2025 / Accepted: 08.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-13
УДК (UDC): 630*561.24

І. М. КОВАЛЬ, д -р. с.-г. наук, ст. наук. співроб.,
провідний науковий співробітник сектору екології лісу відділу лісівництва
та економіки лісового господарства
e-email: Koval_Iryna@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6328-1418
Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького,
вул. Григорія Сковороди, 86, м. Харків, Україна 61024

В. В. ГОЛОЛОБОВ,
аспірант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e -mail: vadim.gololobov@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-0086-0303
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

РЕАКЦІЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ НА ЗМІНИ КЛІМАТУ В НАСАДЖЕННІ ДЕНДРОПАРКУ БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ В м. ХАРКІВ

Мета. Виявити особливості реакції радіального приросту сосни звичайної на зміну клімату в насадженні, яке росте в Дендропарку Біотехнологічного університету в м. Харків

Методи. Польові лісівничі, дендрохронологічні, статистичні та методи кореляційного аналізу.

Результати. Буравом Пресслера відібрано 11 кернів з стовбурів дерев. За допомогою приладу HENSON виміряно шари пізньої, ранньої та пізньої деревини. Створено індексну локальну деревно-кільцеву хронологію. Методом 3-річної ковзної видалено біологічний (віковий) тренд. Проведено кореляційний аналіз між індексними деревно-кільцевими хронологіями та кліматичними чинниками (опадами та температурами з червня попереднього року по серпень поточного). На тлі підвищення температури виділено три періоди розвитку соснового насадження за показниками пізньої, ранньої та річної деревини. Пізня деревина виявилася найбільш варіабельною порівняно з річною та ранньою деревиною. Встановлено, що відбулося ослаблення соснового насадження упродовж третього періоду. Про це свідчать найбільша кількість значущих кореляційних зв'язків між радіальним приростом сосни та кліматичними чинниками

Висновки. Дендрокліматичні дослідження середньовікового соснового насадження в лісостеповій зоні для трьох періодів: 1979-1993, 1974-2008 та 2009-2022 рр., показали ослаблення насадження упродовж третього періоду, про що свідчить найбільша кількість значущих кореляцій між радіальним ростом сосни та кліматичними факторами. Виявлено, що упродовж 2018-2022 рр. спостерігалася стабілізація радіального росту сосни, тобто не було зниження тренду радіального приросту дерев, що свідчить про ймовірну адаптацію сосни до зміни клімату на цьому етапі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *рання деревина, пізня деревина, річна деревина, сосна звичайна, температура, опади, зміна клімату*

Як цитувати: Коваль І. М., Гололобов В. В. Реакція радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату в насадженні Дендропарку Біотехнологічного університету в м. Харків. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.*2025. Вип. 44. С. 174-185. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-13

In cites: Koval, I. M. & Gololobov, V. V. (2025). The response of radial growth of scots pine to climate change in the planting of the Arboretum of the Biotechnological University in Kharkiv. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 174-185. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-13 (in Ukrainian)

© Коваль І. М., Гололобов В. В., 2025

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Вступ

Ліси є важливим компонентом наземних екосистем, які не лише забезпечують ресурси для діяльності людини, але й відіграють незамінну роль у пом'якшенні кліматичного потепління та захисті довкілля [1]. Сосна звичайна (*Pinus Syslvestris* L.) є основною лісотвірною породою в Україні, площа насаджень якої становить 35 % від загальної площі лісів [2]. Упродовж 2010-2020 рр. стан соснових насаджень не тільки погіршився, а й скоротилася їхня площа більш ніж удвічі [3].

Зміна клімату у вигляді зростання частоти та інтенсивності тривалих посух, хвиль спеки, вторинних стресових факторів (комахи та хвороби, пожежі тощо) та інших екстремальних погодних явищ негативно впливають на лісові насадження [4, 5], тобто знижують життєздатність дерев або безпосередньо призводять до порушення лісових екосистем [6]. Кліматичні моделі для 21 століття прогнозують підвищення середньорічної температури від 1,5◦С до 2,5 ◦С упродовж десятиліття, тоді як кількість опадів значно зменшиться [7]. У контексті глобального потепління та посилення антропогенного навантаження на довкілля фенологія та просторовий розподіл деревних видів змінилися за останні десятиліття [8], що призвело до змін у продуктивності лісів, біорізноманітті, структурі та функціях лісових екосистем [9].

Кільця дерев ідеально підходять для вивчення динаміки росту дерев, оскільки дерева живуть упродовж тривалого періоду, зустрічаються по всьому світу та надають дані з щорічною роздільною здатністю щодо реакції дерев на зміну клімату, про вплив локальних умов (властивості грунтів, промислове забруднення, рекреацію тощо) на приріст [10]. Зазвичай температура та опади мають більший вплив на радіальний приріст дерев, ніж інші фактори [11]. Дослідження радіального приросту дерев показало не тільки негативний вплив зміни клімату на їх стан, а й виявили проблему розбіжності між посухою з високою температурою та нерівномірним розподілом опадів у Європі. Початком цієї розбіжності можна вважати 1980-ті роки [7]. Зв'язок між шириною річних кілець та значними відхиленнями від середніх літніх та зимових температур свідчить про те, що ці відхилення певною мірою пов'язані зі зниженням радіального приросту дерев [12]. У попередніх дослідженнях виявлено, що формування деревних кілець у насадженнях, що ростуть в умовах помірного клімату, лімітується температурами вегетаційного періоду, ранньої весни та зими, а також кількістю опадів за вегетаційний та холодний періоди [13-15].

Отже, для розуміння механізмів реакції лісів на зміну клімату має велике значення для сталого управління лісами, охорони довкілля та розробки стратегій пом'якшення кліматичного потепління [16]. В останні роки дендрохронологія стала ефективним інструментом для вивчення глобальної зміни клімату, оскільки вона надає інформацію про довгостроковий стан росту дерев з високою роздільною здатністю в часі (тобто, щорічний приріст) [17]. Для моніторингу лісових екосистем радіальний приріст дерев є надзвичайно важливим, тому що він є інтегральним показником, який відображає стан дерев. Дендрохронологічні методи дозволяють також встановити можливість адаптації тих чи інших деревних порід на зміни клімату на даному етапі розвитку деревостану [18].

Мета дослідження – виявити особливості реакції радіального приросту сосни звичайної на зміну клімату в насадженні, яке росте в Дендропарку біотехнологічного університету в м. Харків

Об’єкти та методи дослідження

Дендропарк Державного біотехнологічного університету є об'єктом природно-заповідного фонду загальнодержавного значення в Харківській області, який було засновано навесні 1972 року. У зоні відпочинку у 1972 р. висаджено великими куртинами близько двох тисяч сіянців. сосни звичайної (*Pinus Syslvestris* L.) Клімат помірно-континентальний з нестабільною вологістю. Середньорічна температура повітря становить +6,5°С, середньорічна кількість опадів – 520 мм. За ґрунтово-кліматичними умовами це південна частина Лівобережного лісостепу. Тип лісорослинних умов – свіжий сугруд. Ґрунти – типові чорноземи [19].

Застосовано лісівничі [20], дендрохронологічні [21], статистичні методи та методи

кореляційного аналізу [22]. В 50-річному сосновому насадженні (N 49º53′43″, E 36º27′11″) відібрано 11 кернів буравом Пресслера із стовбурів дерев на висоті 1,3 м від рівня поверхні. Шари ранньої та пізньої деревини виміряно приладом HENSON. Створено локальні деревно-кільцеві хронології для пізньої, ранньої та річної деревини шляхом осереднення індивідуальних хронологій. Наступним кроком було створення індексних локально-деревних хронологій шляхом згладжування абсолютних значень радіального приросту 3-х річною ковзною. Дендрокліматичний аналіз проведено з використанням графічного аналізу та кореляційного аналізу між індексними деревно-кільцевими хронологіями та кліматичними чинниками за 1978-1993, 1994-2008 та 2009-2023 рр. Використано метеодані Харківської метеостанції.

Норму радіального приросту та кліматичних чинників обчислювали як середнє значення за 1978-2023 рр. [18].

Результати дослідження

Із індивідуальних деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної створено локальні деревно-кільцеві хронології ранньої, пізньої та річної деревини. На фоні невпинного зростання температури виділено три періоди розвитку соснового насадження: 1978-1993 рр. – максимальний радіальний приріст сосни, 1994-2008 рр. – роки поступового зменшення радіального приросту дерев та 2009-2023 рр. – період значного зниження приросту. Температура за гідрологічний стрімко збільшувалася упродовж досліджуваного періоду. Так за перший період її середньорічне значення становило 7,7ºС, за другий – 8,5 ºС, а за третій – 9,8 ºС при нормі 8,6ºС (рис. 1). Тобто у першому періоді температури були нижче норми на 10%, у другому періоді –на 1%, а у третьому навпаки перевищеняя склало 13% від норми.

Норма, тобто середнє пізньої деревини за 1978-2023 рр. становила 0,92 мм, у другому періоді відхиленні від норми для пізньої деревини становило 11%, а у третьому – 50%.

Для пізньої, ранньої та річної деревини для всіх трьох періодів характерна значна мінливість, приросту тому що коефіцієнт

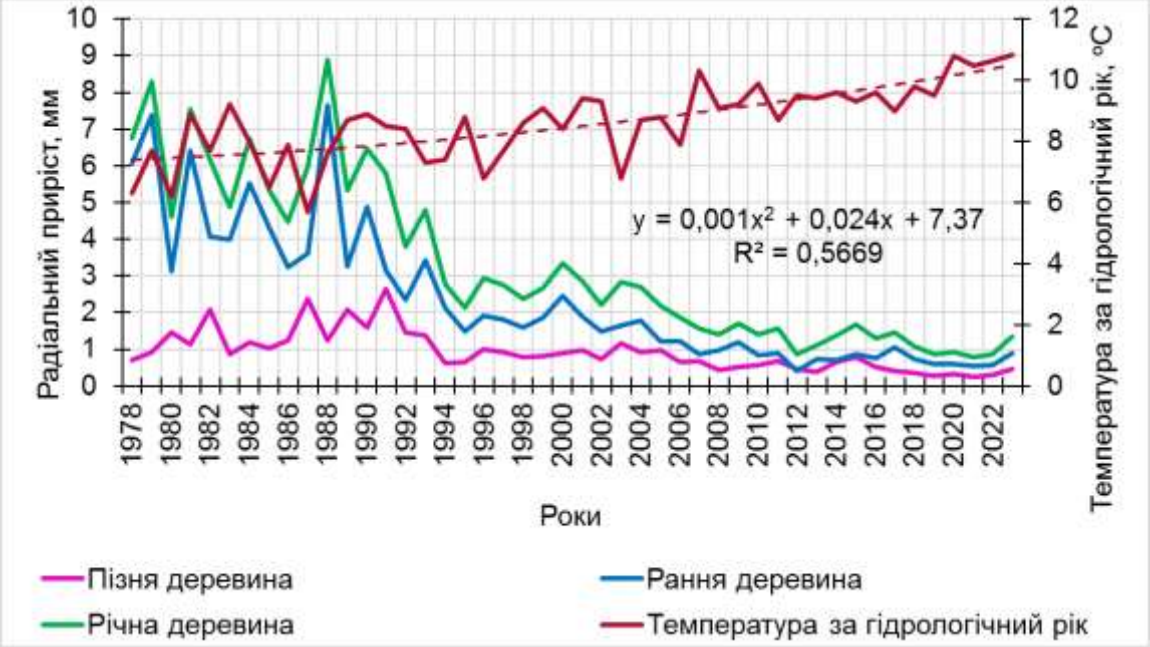


Рис. 1 – Динаміка ранньої, пізньої та однорічної деревини сосни звичайної в насадженні дендропарку Державного Біотехнологічного університету та температура гідрологічного року за даними Харківської метеостанції (N 50°00′47″ E 36°13′59″)

Fig. 1 – Dynamics of early, late and annual wood of Scots pine in the stand of the Arboterum of the State Biotechnological University and the temperature of the hydrological year according to the data of the Kharkiv weather station (N 50°00′47″ E 36°13′59″)

варіації перевищує 20% [20]. Найбільшу варіабельність шарів ранньої, пізньої та річної деревини встановлено для першого періоду (1978-1993 рр.) – 34-36%, пізніше варіабельність радіального приросту дещо зменшилася і коефіцієнт варіації коливався в межах 22-26% за винятком пізньої деревини, для якої коефіцієнт варіації для 2009-2003 рр. становив 35%. Тобто пізня деревина виявилася найбільш варіабельною порівняно з річною та ранньою деревиною. Норма для ранньої деревини становила 2,35 мм, а відхилення від норми упродовж 1994-2023 рр. була меншою на 68-74%. Для річної деревини норма становила 3,38 мм, а в другому періоді відхилення від норми було меншим на 28%, а у третьому – на 64% (табл. 1).

Температура. Кореляційним аналізом встановлено, що у 1979-1993 рр. у червні-серпні попереднього року вплив температур на радіальний приріст поточного року був позитивним, а для пізньої та річної деревини – негативним. У наступному періоді вплив температур за червень-серпень став позити-

Таблиця 1

Описова статистика радіального приросту сосни звичайної у насадженні Дендропарку біотехнологічного університету

Table 1

Descriptive statistics of radial growth of Scots pine in the plantation of the Arboretum of the Biotechnological University

Показник / Indicator	1978-1993 рр.	1994-2008 рр.	2009-2023 рр.
Пізня деревина / Late wood			
Середнє/ помилка, мм / Mean/ error, mm	1,51±0,14	0,82±0,05	0,46±0,04
Стандартне відхилення / Standard deviation	0,54	0,19	0,16
Дисперсія вибірки / Sample variance	0,29	0,04	0,03
Мінімум, мм / Minimum, mm	0,87	0,42	0,24
Максимум, мм / Maximum, mm	2,65	1,17	0,80
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation	35,81	23,43	35,15
Рання деревина / Early wood			
Середнє/ помилка, мм / Mean/ error, mm	4,53±0,41	1,62±0,11	0,76±0,05
Стандартне відхилення / Standard deviation	1,62	0,43	0,21
Дисперсія вибірки / Sample variance	2,62	0,18	0,04
Мінімум, мм / Minimum, mm	2,34	0,88	0,41
Максимум, мм / Maximum, mm	7,66	2,45	1,18
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation	35,81	26,42	27,10
Річна деревина / Year-round wood			
Середнє/ помилка, мм / Mean/ error, mm	5,99±0,35	2,44±0,14	1,22±0,08
Стандартне відхилення / Standard deviation	1,41	0,54	0,31
Дисперсія вибірки / Sample variance	2,01	0,29	0,10
Мінімум, мм / Minimum, mm	3,81	1,40	0,78
Максимум, мм / Maximum, mm	8,90	3,35	1,70
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation	33,53	22,19	25,72

вним для всіх видів деревини, а для серпня негативний вплив пом'якшився. У наступному періоді (2009-2023 рр.) вплив серпневих температури попереднього року став позитивним. Температури жовтня попереднього року негативно впливали на величину шарів всіх видів деревини упродовж всього періоду. Упродовж холодного періоду (з листопада попереднього року по серпень поточного року) для першого та другого періодів встановлено, в основному, негативний вплив температур на приріст, який посилився у другому періоді. у третьому цей вплив температур дещо послабився. Характерною рисою впливу температур холодного періоду у другому періоді є значущий негативний вплив грудневих температур попереднього року на приріст ранньої деревини. У третьому періоді значущий негативний вплив на приріст відмічено раніше – у листопаді попереднього року. У першому періоді температури вегетаційного періоду (з квітня по серпень), головним чином, негативно впливали на ранню деревину. У другому періоді встановлено значущий позитивний зв'язок між травневою температурою та ранньою деревиною. У третьому періоді температури обмежували радіальний приріст сосни звичайної з квітня по серпень. Однак березневі температури мали в третьому періоді позитивний вплив на річний приріст деревини (рис. 2).

Опади. Норму опадів за вегетаційний період (квітень-серпень), яка становила 262 мм, обчислено за 1979-2022 рр. У 1979-1993 рр. середня кількість опадів упродовж вегетації склала 274 мм, у 1994-2008 рр. – 270 мм, а у 2009-2023 – 245 мм. Тобто у першому періоді за відповідний термін опадів випало на 7% вище норми, у другому – на 3% вище норми, а у третьому – на 7% менше норми. Норма зимових опадів становила 127 мм, середня сума опадів у першому періоді становила 127 мм, у другому – 123 мм, а у третьому – 132 мм. Тобто у першому періоді кількість опадів відповідала нормі, у другому періоді взимку випало на 4% менше норми, а у третьому періоді – на 7% вище норми.

Вплив опадів на радіальний приріст сосни звичайної збільшився у 2009-2022 рр. порівняно з 1994-2008 рр. У третьому періоді встановлено значущий позитивний вплив серпневих опадів попереднього року на радіальний приріст поточного року та значущий негативний вплив січневих опадів на ранню та річну деревину, а також негативний вплив опадів серпня на річну деревину. У 1979-1993 рр. опади попереднього року за червень-листопад переважно негативно впливали на радіальний приріст, у наступні 1994-2008 рр. цей вплив був переважно позитивним у червні-листопаді, у 2009-2022 рр. вплив опадів за серпень-листопад попереднього року був, головним чином, також позитивним.

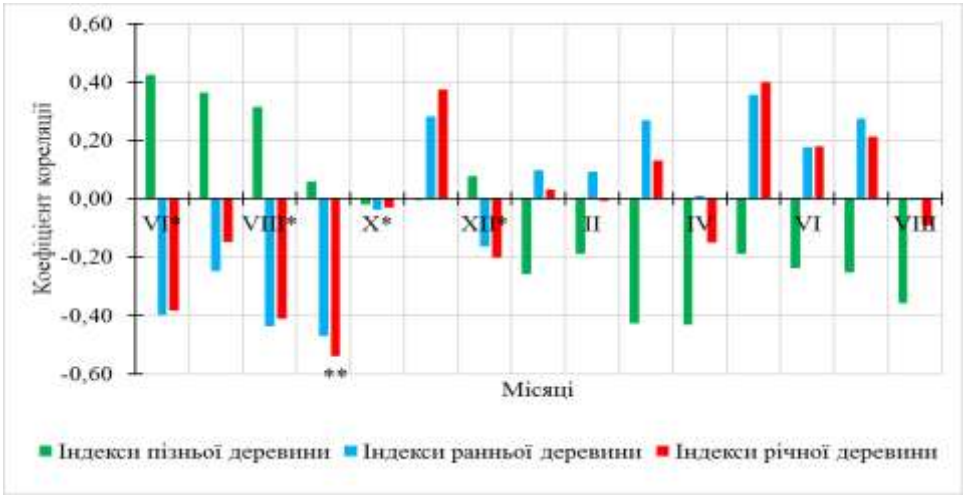
У першому періоді упродовж холодного періоду (з листопада попереднього року по березень поточного року) вплив опадів на приріст був переважно позитивним за винятком лютого, коли спостерігався значущий негативний вплив опадів на пізню деревину.

У другому періоді цей позитивний вплив дещо посилився, головним чином за винятком пізньої деревини.

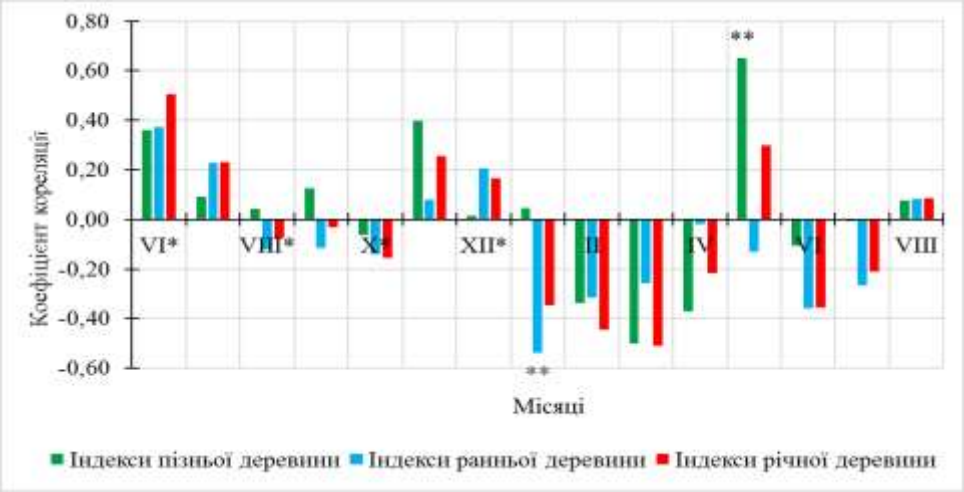
У третьому періоді позитивний вплив опадів упродовж даного періоду знизився і до того ж вплив опадів упродовж січня значуще негативно вплинув на приріст пізньої та річної деревини. Вплив опадів упродовж вегетаційного періоду позитивно впливав на приріст упродовж липня-серпня поточного року у перший період, навіть встановлено значущий позитивний вплив липневих опадів на річну деревину. У другому періоді упродовж травня-серпня встановлено позитивний вплив на всі види деревини. А у серпні третього періоду (2009-2022 рр.) встановлено негативний вплив опадів на річну деревину (рис. 3).

Отже, у 1978-1993 рр. температури вегетаційного періоду попереднього року (червень-серпень), обмежували приріст ранньої та річної деревини поточного року, а у наступні періоди 1994-2022 рр. цей вплив ослабився. У 2008-2022 рр. температури березня-серпня більше обмежували радіальний приріст сосни в порівнянні з 1979-1993 рр.

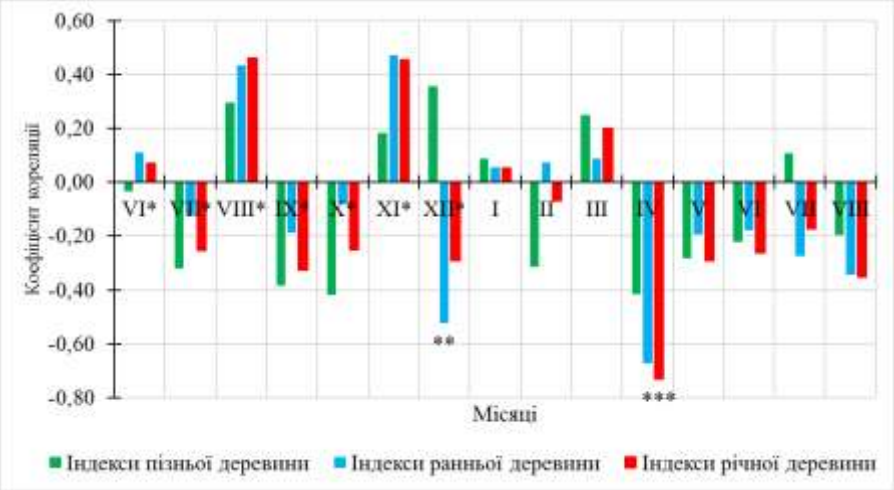
Відсутність стійкого снігового покриву, пов'язаного із потеплінням взимку, у третьому періоді, ймовірно, призвела до зменшення волого-накопичення в ґрунті, тому незначне збільшення опадів взимку не змогло компенсувати достатню кількість вологісті в ґрунті і тому опади грудня попереднього року та січня поточного року почали обмежувати радіальний приріст сосни звичайної у третьому періоді.



А) 1979-1993 рр.



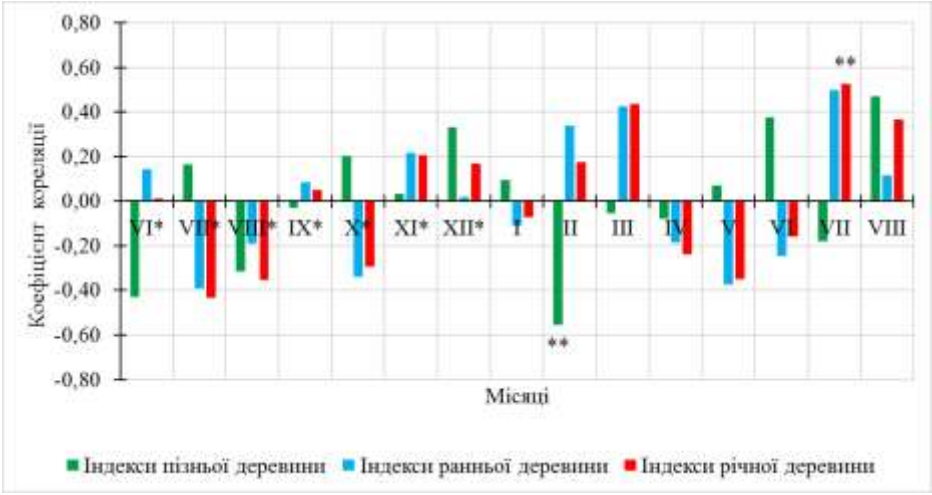
Б) 1994-2008 рр.



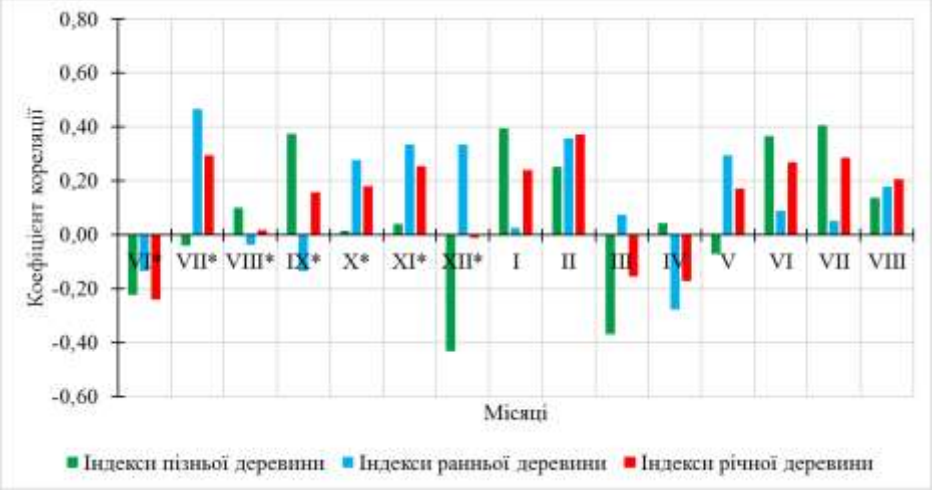
В) 2009-2022 рр.

Рис. 2 – Кореляційний аналіз між деревно-кільцевими хронологіями ранньої, пізньої та річної деревини сосни звичайної і температурами. Примітка: * – місяці попереднього року; ** – значущість на рівні 0,05; ***– значущість на рівні 0,01

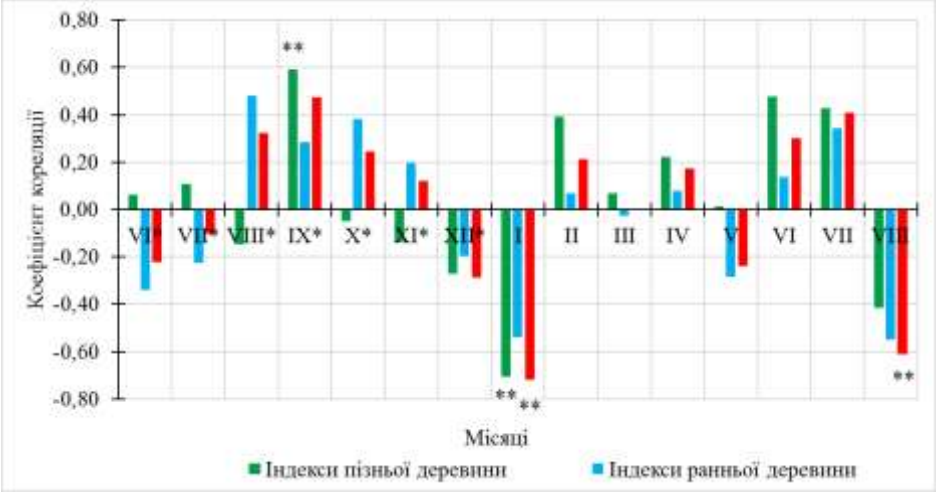
Fig. 2 – Correlation analysis between tree-ring chronologies of early, late and annual wood and temperatures. Note: * – months of the previous year; ** – significance at the 0.05 level ***– significance at the 0,01 level



А) 1979-1993 рр.



Б) 1994-2008 рр.



В) 2009-2023 рр.

Рис. 3– Кореляційний аналіз між деревно-кільцевими хронологіями ранньої, пізньої та річної деревини і опадами. Примітка: * – місяці попереднього року; ** – значущість на рівні 0,05

Fig. 3. – Correlation analysis between tree-ring chronologies of early, late and annual wood and precipitation. Note: * – months of the previous year; ** – significance at the 0.05 level

Обговорення

Взаємозв'язок між кліматом і ростом дерев можна використовувати для оцінки впливу потенційної регіональної зміни клімату на ріст дерев. Вплив кліматичних факторів на ріст корсиканської сосни, що росте на низьких висотах на кислих добре дренованих ґрунтах у західній Франції, було оцінено шляхом порівняння річних індексів ранньої деревини, пізньої деревини та річної деревини з щомісячними даними про температуру та опади, за період 1922-1991 рр. Аналіз реперних років та кліматичні моделі показали, що літня посуха була основним лімітуючим фактором росту в досліджуваному районі. Зимовий фотосинтез та випередження термінів відновлення камбіальної активності були можливими причинами позитивної зимової температурної кореляції з ранньою деревиною у Франції. Збільшуючи літній водний стрес, стабільне зростання може призвести до зменшення росту та, ймовірно, до скорочення лісів у наступні роки.

Ці результати слід враховувати при прогнозуванні можливих реакцій корсиканських соснових насаджень на глобальні зміни [23]. В наших дослідженнях встановлено, що якщо у 1979-2008 рр. вплив температур на приріст був в окремі роки як позитивним так і негативним, а у 2009-2022 рр. цей вплив був чітко негативним упродовж квітня-серпня. У наших дослідженнях підвищення зимової температури навпаки – стало негативно впливати на приріст дерев з часом. Так, у 1994-2008 рр. встановлено значущий негативний вплив температур січня на приріст ранньої деревини, а у 2009-2022 рр. цей значущий негативний вплив на шари ранньої деревини встановлено раніше – для грудня попереднього року.

Edward Cook [12] досліджував виникнення екстремумів у серпневих та грудневих температурних рядах попереднього року та їх вплив на радіальний приріст зникаючої червоної ялини (*Picea rubens* Sarg.) яка росте в Аппалачських горах Північної Америки. Позитивні відхилення серпня та грудня (зі зворотним знаком) вказують на кліматично стресові періоди, які можуть призвести до зниження радіального приросту наступного літа. Період всихання дерев 1870-х та 1950-их років, демонструє поєднання сильного серпневого та грудневого стресів (Cook, 1987). У наших дослідженнях у 2009-2022 рр. встановлено позитивний вплив серпневих температур та негативний вплив грудневих температур попереднього року, що негативно вплинуло на приріст всіх видів деревини у наступному році.

При дослідженні впливу змін клімату на радіальний приріст сосни в Лівобережному степу на прикладі 100-річного соснового насадження ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» встановлено, що при порівнянні 1960-1988 та 1988-2016 рр. виявлено, що якщо для першого періоду характерний позитивний вплив літніх температур на радіальний приріст, то для другого періоду вони починають обмежувати приріст. Незначне збільшення кількості опадів за вегетаційний період у другому періоді не змогло пом’якшити вплив високих температур на радіальний приріст дерев [24]. У наших дослідженнях квітня-серпня у 1979-2008 рр. вплив температур був як позитивним так негативним упродовж даного періоду, а у 2009-2022 рр. цей вплив став негативним для ранньої, пізньої та річної деревини.

В насадженнях ВП НУБіП України «Боярська ЛДС», встановлено, що основними чинниками, що впливають на обмеження радіального приросту сосни звичайної є екстремальні температури під час вегетаційного періоду та зміну гідрологічного режиму, який погіршився у зв’язку з тим, що кількість опадів упродовж вегетаційного періоду зменшилась [25]. Наприклад, відхилення від норми за окремі місяці вегетаційного періоду коливалися в межах 32-40%. У наших дослідженнях для третього періоду характерне підвищення температур за вегетаційний період і деяке зменшення кількості опадів упродовж цього періоду. Взимку кількість опадів навпаки – збільшилася. Тобто відбувся сезонний переділ опадів.

Висновки

Дендрокліматичні дослідження середньовікового соснового насадження в лісостеповій зоні для трьох періодів: 1979-1993, 1974-2008 та 2009-2022 рр., показали ослаблення насадження упродовж третього періоду, про що свідчить найбільша кількість значущих кореляцій між радіальним ростом сосни та кліматичними факторами. Виявлено, що упродовж п’яти років (2018-2022 рр.) спостерігалася стабілізація радіального росту сосни, тобто не було зниження тренду радіального приросту дерев. Це свідчить про ймовірну адаптацію сосни до зміни клімату на цьому етапі.

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: автори зробили рівний внесок у цю роботу

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Brockerhoff E. G., Barbaro L., Castagneyro B., Forrester D. I., Gardiner B., Jose´ Ramo´n Gonza´lez-Olabarria, Lyver Ph. B., Meurisse N., Oxbrough A., Hisatomo Taki H., Thompson I.D., Plas F., Jactel H. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*. 2017. Vol. 26 No 13. P. 3005–3035. https:// doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2
2. Крамарець В. О., Криницький Г. Т., Король М. М., & Лавний В. В. Адаптація соснових насаджень до змін клімату (на прикладі філії "Рава-Руське ЛГ). *Науковий вісник НЛТУ України***.** 2023. Вип. 33(6). С. 13–21. https://doi.org/10.36930/40330602
3. Meshkova V. The Lessons of Scots pine Forest Decline in Ukraine. *Environmental Sciences Proceedings*. 2021Vol. 3. P. 28. https://doi.org/10.3390/IECF2020- 07990
4. Cohen W.B.; Yang Z., Stehman S.V., Schroeder T.A., Bell D.M., Masek J.G., Huang C., Meigs G.W. Forest Disturbance across the Conterminous United States from 1985–2012: The Emerging Dominance of Forest Decline. 2016. *Forest Ecology and Management.* Vol. 360. P. 242–252. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.042
5. Seidl R., Thom D., Kautz M, Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano, G., Wild, Ja., Ascoli D., Petr M. Honkaniemi Ju., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel T. A., and Reyer Ch. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*. 2017. Vol. 7. P. 395–402. https://doi.org/10.1038/nclimate3303
6. Allen C.D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol. 259. P. 660–684. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001
7. Brichta J., Šimunek V., Bílek L., Vacek Z., Gallo J., Drozdowski S., Bravo-Fernández J.A., Mason B.; Roig Gomez S.,Hájek V. Vacek S., Štícha V., Brabec P., & Fuchs Z. Effects of Climate Change on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth across Europe: Decrease of Tree-Ring Fluctuation and Amplification of Climate Stress. *Forests*. 2024. Vol. 15. 91. https://doi.org/10.3390/f15010091
8. Schwab N., Kaczka R. J., Janecka K., Böhner J., Chaudhary R. P., Scholten T., & Schickhoff U. Climate Change-Induced Shift of Tree Growth Sensitivity at a Central Himalayan Treeline Ecotone. 2018. *Forests.* Vol. 9. No 5. 267. https://doi.org/10.3390/f9050267
9. Clark J.S., Iverson L., Woodall C.W., Allen C.D., Bell D.M., Bragg D.C., D'Amato A.W., Davis F.W., Hersh M.H., I. Ibanez S.T., Jackson S.M., Matthews S., Peterson N., Schwartz M.W., Waring K.M., Zimmermann N.E. The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States *Global Change Biology*. 2016. Vol. 22. No 7. P. 2329–2352. https://doi.org/10.1111/gcb.13160
10. Griesbauer H.P., Klassen H., Saunders S.C., Spittlehouse D.L. Variation in climate-growth relationships for Douglas-fir growth across spatial and temporal scales on southern Vancouver Island, British Columbia. *Forest Ecology and Management.* 2019. Vol. 444. P. 30–41. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.014Get rights and content
11. Żywiec M., Muter E., Zielonka T., Delibes M., Calvo G., Fedriani J.M. Long-term effect of temperature and precipitation on radial growth in a threatened thermo-Mediterranean tree population. *Trees: Structure and Function.* 2017. Vol. 31. No 2. P. 491–501. https://doi.org/10.1007/s00468-016-1472-8
12. Cook E. R., Johnson A. H., Blasing T. J. Forest decline: modeling the effect of climate in tree rings. *Tree Physiology*. 1987. Vol. 3. P. 27–40. https://doi.org/10.1093/treephys/3.1.27
13. Прокопук Ю.С., Конякін С.М., Нецветов М.В. Вплив кліматичних чинників на радіальний приріст *Tilia cordata* (*Malvaceae s. l. / Tiliaceae* s. str.) у лісових біотопах Києва. *Український ботанічний журнал*. 2020. Вип. 77(4). С. 294–304. https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.04.294
14. Коваль І.М., Бологов О.В., Нусбаум С.А., Юзвинський Г.А. Радіальний приріст дуба звичайного та ясена звичайного як індикатор стану лісових екосистем в умовах Новоград-Волинського фізико-географічного району. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2015. Вип. 126. С. 202-211. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/lisam_2015_126_27

15. Шишканинець І.Ф., Мазепа В.Г. Вплив клімату на радіальний приріст бука в середньовікових деревостанах у верхів'ї басейну річки Латориця. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2018. Вип. 133. С. 112–118. https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.112
16. Keenan, R.J. Climate Change Impacts and Adaptation in Forest Management: A Review. *Annals of Forest Science*. 2015. Vol. 72. P. 145-167. https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5
17. Huang, X., Dai, D., Xiang, Ya., Yan, Zha., Teng, M., Wang, P., Zhou, Zhi., Zeng, L., & Xiao, W. Radial growth of Pinus massoniana is influenced by temperature, precipitation, and site conditions on the regional scale: A meta-analysis based on tree-ring width index. *Ecological Indicators.* 2021. Vol. 126, № 107659. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107659
18. Коваль І.М. Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України: монографія. Харків: Мачулін, 2023. 252 с. URL: https://uriffm.org.ua/en/monograps/37
19. Остапенко Б.Ф., Ситнік І.Й. Парки Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва. Харків: Харк. нац. аграр. ун-т., 2011. 184 с.
20. Хрик В.М., Кімейчук І.В. Лісівництво. Біла Церква, 2021. 444 с.URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/8547/3/lisivnycztvo.pdf
21. Cook E R and Kairiukstis L A. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. 394 p. URL: https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/3354/1/Methods_of_Dendrochronology_Applications.pdf
22. Чепур С.С. Біометрія: Методичний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2015. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/3184
23. Lebourgeois, F. (2000). Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science*, 2000. Vol. 57. No 2. P. 55-164. https://doi.org/10.1051/forest:2000166
24. Koval I. M., Bräuning A., Melnik E. E., Voronin V. O. Dendroclimatological research of scots pine in stand of the left-bank forests-steppe of Ukraine. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології.* 2017. № 3-4 (28). С. 66-73. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-28-07
25. Романенко, В. А., & Ковалевський, С. Б. Вплив кліматичних змін на радіальний приріст сосни звичайної (Pinus Sylvestris L.) в насадженнях ВП НУБіП України "Боярська ЛДС. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2023. Вип. 33(5). С. 40–45. https://doi.org/10.36930/40330505

Отримано: 25.08.2025 / Переглянуто: 15.10.2025 / Прийнято: 10.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

I. M. KOVAL, DSc (Agriculture and Forestry), Senior Researcher,
Leading Researcher, Forest Ecology Sector, Department of Forestry and Forest Economics
e-mail: Koval_Iryna@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6328-1418
Ukrainian Research Institute of Forestry and Agroforestry Reclamation named after G. M. Vysotsky,
86, Hryhoriya Skovorody, Str., Kharkiv, 61024, Ukraine

V. V. GOLOLOBOV,
PhD Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: vadim.gololobov@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009 -0009 -0086 -0303
V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Maidan Svobody, Kharkiv, 61022, Ukraine

THE RESPONSE OF RADIAL GROWTH OF SCOTS PINE TO CLIMATE CHANGE IN THE PLANTING OF THE ARBORETUM OF THE BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY IN KHARKIV

Purpose. of the study is to identify the features of the response of the radial growth of Scots pine to climate change in a stand growing in the Arboretum of the Biotechnology University in Kharkiv.

Methods. Silvicultural, dendrochronological, statistical and correlation analysis methods were applied.

Results. 11 cores were selected from tree trunks with a Pressler borer. Layers of late, early and tree ring widths were measured using the HENSON device. An index local tree-ring chronology was created. The biological (age) trend was removed using the 3-year sliding method. A correlation analysis was conducted between index tree-ring chronologies and climatic factors (precipitation and temperatures from June of the previous year to August of the current year).Against the background of increasing temperatures, three periods of pine stand development were distinguished by indicators of late, early and annual wood. Late wood turned out to be the most variable compared to annual and early wood. It was established that there was a weakening of pine plantations during the third period. This

is evidenced by the largest number of significant correlations between radial growth of pine and climatic factors for 2009-2022. In 1978-1993, the temperatures of the previous year's growing season (June-August) limited the growth of early and annual wood of the current year, and in the following periods 1994-2022 this influence weakened. In 2008-2022 temperatures in March-August limited the radial growth of pine more than in 1979-1993. The lack of stable snow cover associated with warming in winter in the third period probably led to a decrease in moisture accumulation in the soil, so a slight increase in precipitation in winter could not compensate for a sufficient amount of moisture in the soil and therefore precipitation in December of the previous year and January of the current year began to limit the radial growth of Scots pine in the third period.

Conclusions. Dendroclimatic studies of middle-aged pine stands in the forest-steppe zone for three periods: 1979-1993, 1974-2008 and 2009-2022 showed a weakening of the stand during the third period, as evidenced by the largest number of significant correlations between the radial growth of pine and climatic factors. It was found that over five years (2018-2022) there was a stabilization of the radial growth of pine, that is, there was no decrease in the trend of radial growth of trees. This indicates a probable adaptation of pine to climate change at this stage.

KEYWORDS: *early wood, latewood, tree ring width, Scots pine, temperature, precipitation, climate change*

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Further-more, the authors have fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

***Authors Contribution*:** authors have contributed equally to this work.

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyro, B., Bastien, Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B, … & Jactel, H. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 3005-3035. https:// doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2
2. Kramarets, V.O., Krynytskyy, H.T., Korol, M. M., & Lavnyy, V.V. (2023). Adaptation of scots pine plantations to climate changes (on the example of the branch "Rava-Ruska forestry"). *Scientific Bulletin of UNFU*, *33*(6), 13-21. https://doi.org/10.36930/40330602 (in Ukrainian)
3. Meshkova, V. (2021). The Lessons of Scots pine Forest Decline in Ukraine. *Environmental Sciences Proceedings*, 3. 28. https://doi.org/10.3390/IECF2020- 07990
4. Cohen, W.B.; Yang, Z., Stehman, S.V., Schroeder, T.A., Bell, D.M., Masek, …& Meigs, G.W. (2016). Forest Disturbance across the Conterminous United States from 1985-2012: The Emerging Dominance of Forest Decline. 2016. *Forest Ecology and Management*, *360*, 242-252. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.042
5. Seidl, R., Thom, D., Kautz, M, Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G.,.…& Reyer, Ch. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, *7*, 395-402. https://doi.org/10.1038/nclimate3303
6. Allen, C.D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., … & Breshears, D.D. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management, 259*, 660-684. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001
7. Brichta, J., Šimunek, V., Bílek, L., Vacek, Z., Gallo, J., Drozdowski, S., … & Fuchs, Z. (2024). Effects of Climate Change on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth across Europe: Decrease of Tree-Ring Fluctuation and Amplification of Climate Stress. *Forests, 15*, 91. https://doi.org/10.3390/f15010091
8. Schwab, N., Kaczka, R. J., Janecka, K., Böhner, J., Chaudhary, R. P., Scholten, T., & Schickhoff, U. (2018). Climate Change-Induced Shift of Tree Growth Sensitivity at a Central Himalayan Treeline Ecotone. *Forests*, *9*(5), 267. https://doi.org/10.3390/f9050267
9. Clark, J.S., Iverson, L., Woodall, C.W., Allen, C.D., Bell, D.M., Bragg, D.C., D'Amato, A.W., …& Zimmermann, N.E. (2016). The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States *Global Change Biology*, *22*(7), 2329-2352. https://doi.org/10.1111/gcb.13160
10. Griesbauer, H.P., Klassen, H., Saunders, S.C., & Spittlehouse, D.L. (2019). Variation in climate-growth relationships for Douglas-fir growth across spatial and temporal scales on southern Vancouver Island, British Columbia. *Forest Ecology and Management, 444,* 30-41. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.014Get rights and content
11. Żywiec, M., Muter, E., Zielonka, T., Delibes, M., Calvo, G., & Fedriani, J.M. (2017). Long-term effect of temperature and precipitation on radial growth in a threatened thermo-Mediterranean tree population. *Trees: Structure and Function*, *31* (2), 491-501. https://doi.org/10.1007/s00468-016-1472-8
12. Cook, E. R., Johnson, A. H., & Blasing, T. J. (1987). Forest decline: modeling the effect of climate in tree rings. *Tree Physiology*, *3*, 27-40. https://doi.org/10.1093/treephys/3.1.27
13. Prokopuk, Yu.S., Koniakin, S.N., & Netsvetov, M.V. (2020). Climate variables governing the growth of *Tilia cordata* (*Malvaceae s. l. / Tiliaceae* s. str.) in forest biotope in Kyiv. *Ukrainian Botanical Journal*, *77*(4), 294–304. https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.04.294 (in Ukrainian)

14. Koval, I. M., Bologov, O. V., Nusbaum, S. A., & Juzvinsky, G. A. Radial increment of oak and ash trees as indicator of forest ecosystems condition in Novograd-Volynsky physiographic region. *Forestry and Forest Melioration*, *126*, 202-211. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/lisam_2015_126_27 (in Ukrainian)
15. Shyshkanynets, I. F., & Mazepa, V. G. (2018). Influence of climate on the radial increment of beech in the middle-aged stands in upper reaches of the Latorytsya river basin. *Forestry and Forest Melioration*, *133*, 112–118. https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.112
16. Keenan, R.J. (2015). Climate Change Impacts and Adaptation in Forest Management: A Review. *Annals of Forest Science*, *72*, 145-167. https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5
17. Huang, X., Dai, D., Xiang, Ya., Yan, Z., Teng, M., Wang, P., …& Xiao, W. (2021). Radial growth of Pinus massoniana is influenced by temperature, precipitation, and site conditions on the regional scale: A meta-analysis based on tree-ring width index. *Ecological Indicators*, *126*, 107659. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107659
18. Koval, I.M. (2023). Dendrochronological principles of assessing pine and oak stands in Ukraine: monograph. Kharkiv: Machulin. Retrieved from: https://uriffm.org.ua/en/monograps/37 (in Ukrainian)
19. Ostapenko, B.F., Sytnik, I.Y. (2011). Parks of the Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev. Kharkiv: Kharkiv National Agrarian University (in Ukrainian)
20. Khryk, V.M., & Kimeychuk, I.V. (2021). Forestry. Bila Tserkva. Retrieved from https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/8547/3/lisivnycztvo.pdf (in Ukrainian)
21. Cook, E R, & Kairiukstis, L A. (1990). *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. Retrieved from https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/3354/1/Methods_of_Dendrochronology_Applications.pdf
22. Chepur, S.S. Biometrics: Methodological manual (2015). Uzhhorod: Publishing house of UzhNU "Hoverla". Retrieved from https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/3184 (in Ukrainian)
23. Lebourgeois, F. (2000). Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science*, *57*(2), 55-164. https://doi.org/10.1051/forest:2000166
24. Koval, I. M., Bräuning, A., MelnikE. E., & Voronin, V. O. (2017). Dendroclimotological research of scots pine in stand of the Left-bank Forest-steppe of Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (28), 66-73. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-28-07
25. Romanenko, V. A., & Kovalevskyi, S. B. (2023). Influence of climate change on the radial growth of Scots pine in Forest Stands of the Boyarka Forest Research Station. *Scientific Bulletin of UNFU*, *33*(5), 40-45. https://doi.org/10.36930/40330505 (in Ukrainian)

Submission received: 25.08.2025 / Revised: 15.10.2025 / Accepted: 10.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-14
UDC (УДК): 502.131.1:640.4(4+477)

V. L. BEZSONNYI, DSc (Technical),
Professor of the Department of Hotel, Restaurant Business and Craft Technologies
e-mail: vitalii.bezsonnyi@hneu.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8089-7724
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics
9a, Nauky Ave., Kharkiv, 61165, Ukraine

EUROPEAN EXPERIENCE AND PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL CERTIFICATION IN UKRAINE'S HOSPITALITY SECTOR

Purpose. This study analyzes the European experience in implementing environmental certification systems in the hospitality industry (ISO 14001, EU Ecolabel, Green Key) and identifies prospects for their adaptation in Ukraine. The focus is on the role of certification as a tool for sustainable management, ecological safety, and competitiveness of the HoReCa sector.

Methods. The research applies system-analytical, comparative, statistical, and information-entropy approaches.

Results. The data sources include EU Ecolabel, Green Key, and EMAS registers, Eurostat, Hotel Footprinting 2024, and scientific articles вгкштп 2020-2025. Quantitative indicators of energy and water consumption, CO_2 emissions, and certified hospitality facilities in EU countries were evaluated. Over 4200 European hotels hold Green Key certificates and around 900 have EU Ecolabel status, with the highest concentrations in Denmark, France, Spain, and Italy. ISO 14001 implementation reduces energy use by 15–25 %, water consumption by 20 %, and waste generation by up to 30 %. Major barriers for Ukraine include lack of incentives, insufficient environmental awareness, and limited availability of certified auditors. A national initiative "Green Hospitality UA" is proposed, based on EU Ecolabel principles and the Green Deal Policy.

Conclusions. Environmental certification serves as an effective mechanism for ensuring ecological safety and sustainable development of hospitality enterprises. Integrating EU standards into Ukraine's HoReCa sector will enhance resource efficiency, reduce environmental pressure, and improve its green reputation. Further research should focus on economic modeling of certification effects and integration into national tourism and environmental management policy.

KEYWORDS: *environmental certification, sustainable development, hospitality industry, EU Ecolabel, Green Key, ISO 14001*

Як цитувати: Bezsonnyi V. L. European experience and prospects for the implementation of environmental certification in Ukraine's hospitality sector. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 186-200. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-14

In cites: Bezsonnyi, V. L. (2025). European experience and prospects for the implementation of environmental certification in Ukraine's hospitality sector. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 186-200. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-14

Introduction

The hospitality sector is among the most dynamic branches of the global economy and, at the same time, a significant factor influencing the state of the environment. Hotel and restaurant complexes, together with related tourism services, create a considerable anthropogenic burden on natural systems through energy and water consumption, waste generation, and the emission of greenhouse gases and air pollutants [1]. According to the United Nations Environment Programme, the tourism and recreation industry accounts for about 8% of global CO_2-equivalent emissions, with 20–25% of these attributed directly to the activities of hotels and food service establishments [2]. These processes occur in close interaction with urban environments, transport infrastructure, and water and energy systems, highlighting the need for systematic environmental safety management within the industry.

In the context of growing public demand for sustainable development and increasing eco-

© Bezsonnyi V. L., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

awareness among consumers, reducing the ecological footprint of the HoReCa sector has become a strategic priority in both international and national programmes. Within the framework of the Green Deal and the Circular Economy Action Plan, the European Union has identified the hospitality industry as one of the priority sectors for decarbonization and improved resource efficiency [3]. In this regard, the implementation of Environmental Management Systems (EMS) is viewed not only as a voluntary tool of corporate responsibility but also as a practical mechanism for enforcing environmental policy.

One of the most widespread international standards is ISO 14001, which defines the requirements for an enterprise-level environmental management system. Its main goal is to ensure a continuous improvement cycle through the identification of environmental aspects of operations, control of resource flows, setting of objectives, monitoring of indicators, and conducting of internal audits [4]. Alongside ISO 14001, other certification schemes are actively applied in the hotel sector, including Green Key, EU Ecolabel, LEED, EarthCheck, Green Globe, and Travelife, all of which are based on the principles of rational use of water and energy resources, waste management, biodiversity conservation, and environmental education of personnel [5, 6].

European studies indicate that certified hotels reduce energy consumption by an average of 18–25%, water consumption by 15–20%, and the amount of solid waste generated by 10–30% compared to non-certified ones [7]. Such results are achieved through the introduction of technical innovations (heat recovery systems, LED lighting, greywater reuse, on-site wastewater treatment) as well as environmentally oriented managerial solutions, including "green procurement" policies and eco-labelling of food products [8].

Beyond the direct ecological effect, certification provides socio-economic benefits: increased competitiveness of hotels, strengthening of brand reputation, enhanced customer loyalty, and higher profitability [9]. According to the study by Velaoras et al. (2025), hotels certified under Green Key or ISO 14001 demonstrate, on average, 12% higher occupancy rates and 15–18% higher customer satisfaction compared with control groups [10]. At the same time, barriers to wider adoption of eco-certification remain: high implementation costs, low awareness among small business owners, limited access to preferential financing, and the absence of state incentives [11].

For Ukraine, the issue of environmental modernization in the hospitality industry gains particular importance in connection with the process of European integration and the need to harmonize national standards with EU requirements. Despite the adoption of several legislative acts in the field of environmental protection – such as the Law of Ukraine "On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine until 2030" (2019), the Law "On Tourism" (1995), and the national standards DSTU ISO 14001:2015 – the actual level of implementation of environmental management systems remains low. According to researchers, the share of certified establishments within the total number of HoReCa enterprises does not exceed 1%, whereas in EU countries it reaches 20–25% [12].

In recent years, scientific research devoted to the ecological transformation of the hospitality sphere has intensified significantly. The works of Abdou et al. (2020) [13] describe the mechanisms of implementing the "green hotel" concept in developing countries; Prakash et al. (2022) [14] explored the structure of sustainable practices in hotel management; Makoondlall-Chadee & Bokhoree (2024) [15] analyzed methods for assessing EMS effectiveness through indicators of energy use and waste generation. Nevertheless, most publications focus on economic or behavioral aspects, while the environmental dimension–particularly the evaluation of environmental impact and the spatial adaptation of EU standards to Ukrainian conditions–remains insufficiently studied.

Given the above, there is a need for a comprehensive study that integrates the principles of environmental monitoring, environmental management, and eco-economic analysis of hospitality enterprises. Such an approach makes it possible not only to assess the effectiveness of certification systems but also to view them as tools for modeling and optimizing the state of the environment, fully consistent with the concept of neoecology – a field focused on integrating natural and social components of development [16].

The aim of this study is to assess the role of environmental certification in ensuring sustainable development and environmental safety in the hospitality industry, to analyze European experience in implementing environmental

management systems (ISO 14001, EU Ecolabel, Green Key), and to determine the possibilities for harmonizing these standards in Ukraine, taking into account the concept of the information-entropy approach to the management of environmental systems.

Objects and Methods of Research

The object of the research is the environmental certification of hospitality enterprises as a tool for managing the state of the environment. The subject of the research is the relationship between the implementation of Environmental Management Systems (EMS)–specifically ISO 14001, EU Ecolabel, and Green Key standards–and the indicators of sustainable development, environmental safety, and the efficiency of natural resource use within the hospitality sector.

The study is based on the hypothesis that integrating certification standards into an enterprise's management system contributes to reducing the entropy of the "hotel–environment" ecological system, that is, to increasing the degree of orderliness in the use of energy, water, and materials, and reducing negative environmental impacts [1, 2].

To achieve the aim of the study, a set of open databases and secondary statistical materials was used, including: EU Ecolabel Register (European Commission, DG Environment), which contains information on accommodation facilities certified under the EU environmental criteria. From this database, data were selected on the number of certified hotels, geographical distribution, and main environmental indicators (energy, water, waste); Green Key International Database (Foundation for Environmental Education) – a global register of enterprises holding Green Key certification, from which data by European countries, types of establishments, and years of certification were used; Cornell Hotel Sustainability Benchmarking Index (CHSB) – an annual database of energy use, water consumption, and CO_2 emissions in the hotel sector (by region and category); Eurostat Environmental Accounts – datasets env_ac_eneind (energy indicators), env_ac_ainah_r2 (water use), and env_wasgen (waste in the service sector); National Statistical Reports of Ukraine (State Statistics Service, 2023–2024) – data on the number of accommodation facilities, volumes of energy and water consumption, tariff policy, and cost structure in the HoReCa sector.

Ten EU countries (Denmark, Italy, Greece, Poland, France, the Netherlands, Spain, Portugal, Germany, and the Czech Republic) were compared with the approximate indicators for Ukraine to identify the gap between the level of implementation of environmental standards and ecological performance.

The methodological framework of the study is based on ecological-economic and information-entropy approaches to assessing the effectiveness of environmental management [4]. It involves a multi-level analytical structure comprising:

- Structural-analytical level – description and classification of environmental certification systems according to the content of their criteria, the degree of regulation, and the scope of application.
- Comparative-statistical level – analysis of environmental indicators of certified and non-certified hotels (based on aggregated CHSB and EU Ecolabel data).
- Model-evaluative level – calculation of sustainability indices for hotel operations and assessment of the degree of reduction in anthropogenic environmental impact.
- System-prognostic level – evaluation of the potential for harmonizing EU standards within the Ukrainian context, taking into account environmental legislation and institutional barriers.

Based on the recommendations [5–7], the study employs a system of quantitative sustainability indicators reflecting the key aspects of the hospitality sector's environmental impact (Table 1).

The sustainability index was calculated using the normalized integration formula:

$$S_i = 1 - \frac{1}{4}\left(\frac{E}{E_{ref}} + \frac{W}{W_{ref}} + \frac{R}{R_{ref}} + \frac{C}{C_{ref}}\right), \quad (1)$$

where: $(E_{ref}, W_{ref}, R_{ref}, C_{ref})$ represent the reference (EU-average) values for certified hotels.

Thus, $(S_i = 1)$ corresponds to the highest level of sustainability, while $(S_i \to 0)$ indicates the lowest.

To achieve the research objectives, the following methods were applied: comparative-analytical method – for analyzing the structure and criteria of ISO 14001, Green Key, and EU Ecolabel standards; environmental normalization method – to calculate relative impact indicators per unit of area or service; correlation-regression analysis – to identify the relationship between

Table 1

System of Quantitative Sustainability Indicators for Assessing the Effectiveness of Environmental Management in the Hospitality Sector

Category	Symbol	Unit of Measurement	Description
Energy consumption	(E)	kWh/m² or kWh/guest-night	Total electricity consumption during the operation period.
Water consumption	(W)	L/guest-night	Average daily water use.
Waste generation	(R)	kg/guest-night	Amount of solid waste generated.
CO_2 emissions	(C)	kg CO_2/guest-night	Estimated according to the Hotel Carbon Measurement Initiative (HCMI) methodology.
Sustainability index	(S_i)	dimensionless	Composite indicator integrating the parameters (E, W, R, C).

the certification level (presence or absence of standard) and the performance indicators (E, W, R, C, S_i); SWOT analysis – for systematizing the strengths, weaknesses, opportunities, and threats associated with the implementation of certifications in Ukraine; content analysis – for evaluating EU strategic documents and national sustainable tourism programs; information-entropy method – for qualitative generalization of the degree of orderliness in environmental flows within the "hotel–environment" system and for identifying the potential reduction in entropy as a target of environmental management [8].

The study covers the period 2018–2024, during which there has been a notable 45% increase in the number of eco-certified enterprises in the EU and the emergence of sustainable tourism initiatives in Central and Eastern Europe. The spatial analysis was conducted at two scales: regional level – EU countries officially registered under EU Ecolabel or Green Key certification; nNational level (Ukraine) – assessment of potential opportunities for adapting certification systems based on the current legal framework, natural-resource characteristics, and state of infrastructure.

The proposed methodological approach integrates economic–ecological analysis, comparative evaluation of EMS standards, and the information–entropy approach to managing sustainable systems. Unlike most studies that focus mainly on the socio-economic effects of certification [9, 10], the present research aims to provide a quantitative assessment of the environmental outcomes of standard implementation, integrating indicators of energy, water, waste, and CO_2 emissions into a single sustainability index, and analyzing the spatial adaptation potential of environmental management systems for the Ukrainian HoReCa sector.

Results and Discussion

1. Expansion of Environmental Certification Systems in the Hospitality Sector

An analysis of statistical data for 2018–2024 indicates a steady increase in the number of hospitality enterprises implementing environmental standards within the European Union. According to the EU Ecolabel and Green Key databases, the total number of certified hotels in EU countries exceeded 6,200 establishments in 2024, which is 45% higher than in 2018 [17]. The highest concentrations are observed in Denmark, France, Spain, Italy, and the Netherlands, countries with a long-standing history of voluntary environmental schemes and strong governmental support for "green" tourism [18].

The high level of certification in Northern and Western Europe can be attributed to financial incentives (such as tax reductions and grant programs), legal integration of EMS standards into national licensing systems, and active engagement of local authorities. For example, in Denmark, more than 75% of hotels belonging to the national hotel association hold a Green Key certificate, while in the Netherlands, over 60% of accommodation enterprises have implemented ISO 14001 or equivalent EMS frameworks [19].

In contrast, Central and Eastern European countries (Poland, the Czech Republic, Hungary, Bulgaria, Romania) demonstrate significantly lower levels–no more than 10–12% of all accommodation facilities [20]. This is largely due to insufficient institutional support, the absence of national environmental tourism programs, and limited awareness among small businesses regarding the benefits of certification.

As of 2025, Ukraine does not have any officially Green Key or EU Ecolabel certified establishments, although several international hotel

chains (Hilton, Radisson, Reikartz) have partially implemented internal environmental policies harmonized with ISO 14001 [21]. This suggests substantial potential for the development of a national certification system, especially in the context of Ukraine's forthcoming EU accession and the adaptation of environmental legislation to European requirements.

2. Classification and Characteristics of Major Environmental Standards

The ISO 14001 Environmental Management Systems standard is an internationally recognized framework for developing, implementing, and improving enterprise-level environmental management systems. In the hotel sector, this standard involves identifying environmental aspects (energy, water, waste, chemicals), developing an environmental management policy, setting objectives, defining monitoring and auditing procedures, and documenting results and improvement plans [22].

A study by Dias et al. (2024) demonstrated that ISO 14001-certified hotels achieve, on average, a 20% reduction in energy use, a 15% reduction in water consumption, and a 25% reduction in waste generation compared with non-certified enterprises [23]. Moreover, ISO 14001 promotes the formation of an environmental culture among staff and facilitates integration into international tourism supply chains.

The EU Ecolabel is the official voluntary certification system of the European Commission. Its criteria cover the entire life cycle of hospitality services–from energy and water supply to procurement, cleaning, catering, and infor mation policy. A distinctive feature of the EU Ecolabel is its combination of quantitative and qualitative criteria, including: energy consumption ≤ 90 kWh/m² per year; water consumption ≤ 350 L/guest-night; share of renewable energy ≥ 50%; implementation of towel and linen reuse programs [24].

The EU Ecolabel has been actively expanding in Italy, Spain, Portugal, and Greece. Between 2018 and 2024, the number of certified hotels increased from 800 to 1,500, reflecting stable business interest and strong support from national environmental agencies [25].

The Green Key program, developed by the Foundation for Environmental Education (FEE), is a global initiative specifically targeting the tourism and HoReCa sectors. Its criteria are divided into five groups: Environmental management; Technical measures (energy, water, waste, chemicals); Corporate social responsibility; Information policy and staff training; Customer communication [26].

Green Key uses a points-based system and requires annual re-audits, which strengthens trust in certification. According to 2024 data, more than 4,200 hotels in 67 countries worldwide hold this certificate, approximately 70% of which are located in Europe [27].

3. Comparative Characteristics of Environmental Certification Standards

A consolidated analysis of the criteria demonstrates that all three systems – ISO 14001, EU Ecolabel, and Green Key – pursue similar objectives (reducing negative environmental impacts and increasing resource efficiency) but differ in their scope, flexibility, and institutional frameworks (Table 2).

According to Wilco W. Chan (2009) [28], Green Key is the most attractive system for small and medium-sized businesses, whereas ISO 14001 is optimal for large hotel chains, and EU Ecolabel provides the highest level of environmental reputation, being recognized by EU authorities.

Table 2

Comparative Characteristics of Environmental Certification Systems in the Hospitality Sector (ISO 14001, EU Ecolabel, Green Key)

Characteristic	ISO 14001	EU Ecolabel	Green Key
Type of standard	International	Official EU ecolabel	Non-governmental voluntary initiative
Main focus	Management system	Service life-cycle criteria	Category-based environmental assessment
Verification	Independent audit	Official approval by a competent EU body	Annual audit by FEE
Adaptation flexibility	High (applicable to all sectors)	Medium (only for tourism services)	High (adaptable to local conditions)
Implementation cost	High	Medium	Low

4. Impact of Certification on Environmental Indicators

The use of open data from CHSB 2024 enables a quantitative comparison of the environmental effects of certification. Average values for EU hotels are presented below (Table 3).

Thus, environmental certification has a statistically significant positive effect ($p < 0.05$) on all major sustainability indicators [29]. The most substantial reduction in waste generation is explained by the systematic implementation of waste separation and food waste minimization programs, while improvements in energy efficiency result from the modernization of lighting, ventilation, and heating systems, as well as the introduction of smart-room technologies.

5. Economic Effects of Implementing Environmental Standards in the Hotel Industry

The results presented by Chi et al. (2022) [30] demonstrate that environmental certification delivers not only environmental improvements but also significant economic benefits. Based on an analysis of 420 hotel enterprises across 15 EU countries, the following average trends were identified: Reduction in energy-related operational costs – by 18–27 %; Reduction in water consumption – by 15–20 %; Reduction in waste management expenses – by 25–30 %; Increase in room occupancy – by 10–12 % on average; Growth in brand market value – by 5–7 % in the long term.

Table 3

Environmental Effects of Hotel Certification in the EU According to CHSB 2024

Indicator	Non-certified hotels	Certified hotels (Green Key / ISO 14001 / Ecolabel)	Reduction, %
Energy, kWh/m² per year	310	240	22.6
Water, L/guest-night	430	360	16.3
Waste, kg/guest-night	1.8	1.2	33.3
CO_2, kg/guest-night	20.4	15.8	22.5

Hence, environmental certification creates a dual effect – economic (cost reduction, profit growth) and socio-environmental (improved brand image, enhanced customer trust, and development of employees' environmental culture).

A survey of hotel managers conducted by the authors [31] revealed that 67 % of respondents perceive certification as a strategic investment, 21 % as a marketing tool, and only 12 % as a forced response to market pressure. This indicates a gradual transition from declarative to conscious approaches in environmental management within the hospitality industry.

6. Social Effects and Consumer Behavior Change

Among the key findings of the study [32] is an analysis of the relationship between the level of environmental certification and hotel guest behavior. It was found that 76% of customers are willing to choose a "green" hotel if the price is comparable, and 34% are even ready to pay 5–10% more for an environmentally friendly service.

Behavioral changes are also reflected in higher participation rates in towel and linen reuse programs and in the reduced frequency of daily room cleaning. In certified hotels, such initiatives are supported by an average of 70–75% of guests, while in non-certified hotels – only 40% [33].

These indicators show that environmental certification fulfills an educational function – it promotes the spread of environmental awareness among consumers, encourages the formation of "green demand," and enhances the long-term competitiveness of enterprises.

7. Managerial Advantages of EMS Systems

Implementing an Environmental Management System (EMS) in accordance with ISO 14001 or EU Ecolabel transforms the organizational structure of a hospitality enterprise by introducing new management practices such as: regular environmental audits; appointment of an environmental manager; maintenance of resource consumption logs (energy, water, chemical agents); development of environmental improvement action plans; staff training on environmental issues [34].

Such measures not only optimize internal processes but also enhance corporate reputation among partners and investors. Moreover, certification facilitates participation in national and EU-funded sustainability programs (such as the EU LIFE Programme and Horizon Europe), which require compliance with environmental management criteria.

8. Comparative Analysis: EU vs. Ukraine

Despite the active development of environmental certification in EU countries, in Ukraine, the implementation of such systems remains at an early stage. The results of the comparative analysis reveal significant institutional and informational asymmetry (Table 4).

Table 4

Comparative Characteristics of Environmental Standard Implementation in the Hospitality Sector

Indicator	EU (average)	Ukraine (estimate for 2024)	Deviation
Share of certified hotels, %	22	< 1	−95%
Availability of national incentives	Tax benefits, grants, advisory support	Absent	–
Legislative integration of EMS	Aligned with EU regulations (EMAS)	Fragmentary	–
Availability of data and audits	Open registries (EU Ecolabel, Green Key)	No centralized database	–
Average energy use, kWh/m²	240	> 400	+67%
Average water consumption, L/guest-night	360	> 550	+52%
Waste generation, kg/guest-night	1.2	≈ 2.0	+67%

The data show that Ukrainian enterprises consume 1.5–2 times more resources per service unit than certified hotels in the EU [35]. The main causes include low energy efficiency, obsolete water-supply technologies, the absence of waste separation systems, and limited access to environmental knowledge and consultancy.

These disparities underline the need for institutional modernization, improved environmental awareness, and the creation of national incentive mechanisms to facilitate the transition toward sustainable hospitality practices aligned with EU standards.

9. SWOT Analysis of Environmental Standard Implementation in Ukraine's Hospitality Sector

To assess the potential for integrating ISO 14001, EU Ecolabel, and Green Key standards into Ukrainian practice, a SWOT analysis was conducted (Table 5).

Table 5

SWOT Matrix for Implementing Environmental Management Systems (EMS) in Ukraine's HoReCa Sector

Strengths (S)	Weaknesses (W)
• High share of natural recreational resources and tourism potential;	• Low level of environmental awareness among managers;
• Existence of the adapted national standard DSTU ISO 14001:2015;	• Absence of a national eco-certification program;
• Increasing demand for sustainable tourism among foreign visitors;	• Lack of state incentives and preferential financing;
• Active participation of universities and educational institutions in "green" education initiatives.	• Outdated technical and material base in most establishments.
Opportunities (O)	**Threats (T)**
• Harmonization of standards with EU legislation following Ukraine's accession;	• Financial constraints and economic instability;
• Participation in Horizon Europe, LIFE, Interreg programs;	• Low interest from small businesses;
• Development of a national "Green Hospitality UA" brand;	• High costs of audits and certification;
• Growing domestic "green" demand among tourists.	• Risks of formal ("paper-based") implementation of EMS.

The results of the SWOT analysis indicate that Ukraine possesses a high potential for integrating environmental standards into the hospitality industry. However, realizing this potential requires the establishment of a state-supported motivation system (tax reductions, grant programs, and methodological centers) as well as informational and educational support for businesses.

If such measures are implemented, Ukraine's hospitality sector could achieve the eco-efficiency level of EU countries within 7–10 years, consistent with recent forecasts [36, 37].

10. Conceptual Model for Harmonizing Standards in Ukraine

Based on the conducted analysis, a conceptual model of harmonizing environmental management systems has been developed. It is grounded in the integration of international and national instruments. The main elements of the model are as follows (Fig. 1f):

1. Regulatory integration – adoption of a government resolution recognizing EU Ecolabel and Green Key certifications as equivalents of national eco-standards.
2. Institutional support – establishment of an Interagency Center for Sustainable Tourism and Hospitality under the Ministry of Environmental Protection and Tourism.
3. Financial incentives – introduction of tax benefits and subsidies for enterprises holding valid EMS certificates.
4. Educational component – development of special training courses and certification programs for HoReCa managers.
5. Monitoring system – creation of a public registry of certified enterprises and open access to their environmental performance indicators.

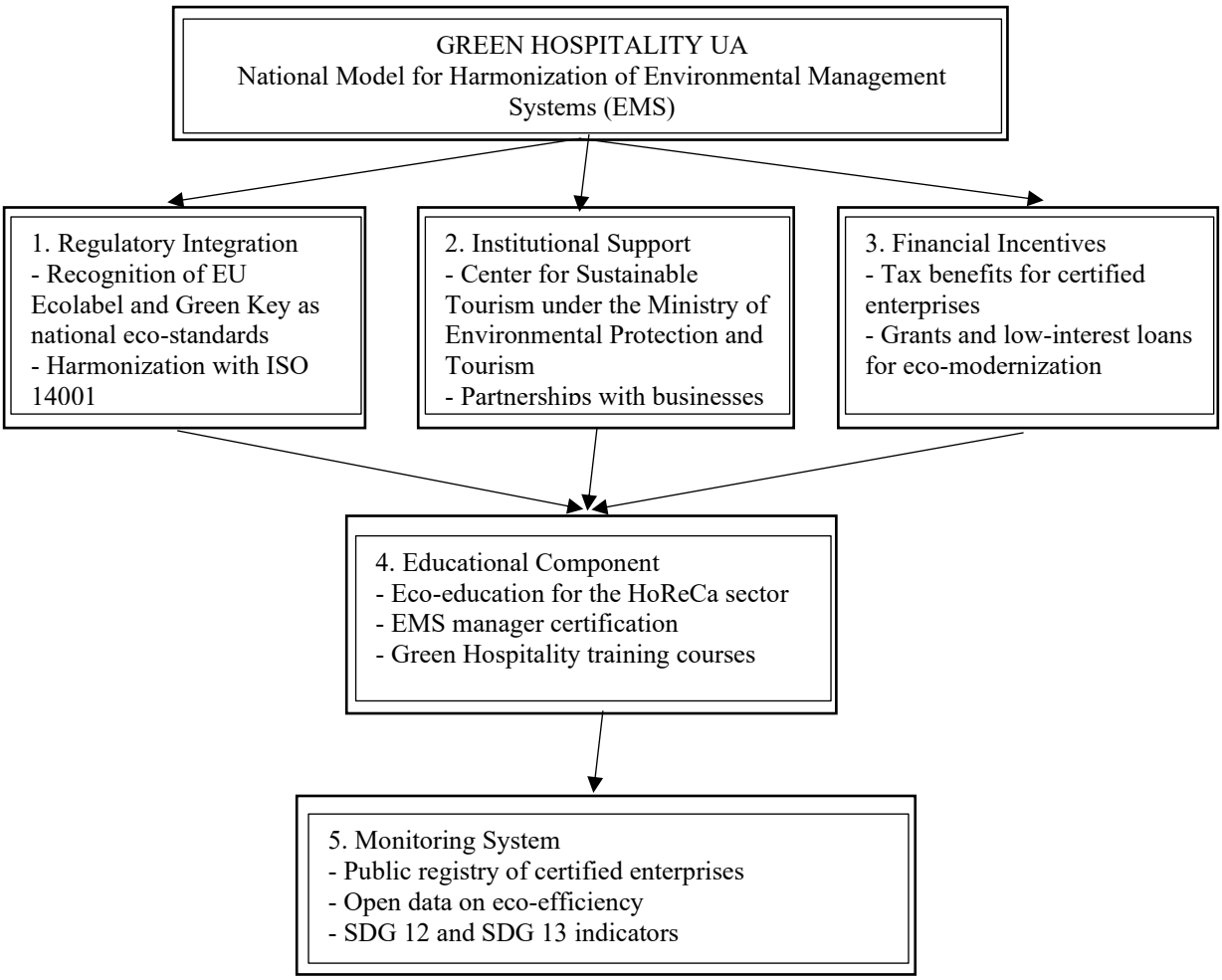


Fig. 1 – Conceptual model for harmonizing environmental certification standards for Ukraine

The proposed model aligns with the EU approaches to achieving the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 12 "Responsible Consumption and Production" and SDG 13 "Climate Action", and contributes to forming a national system of "green" competitiveness.

11. Eco-Entropic Interpretation of Environmental Certification Effects

The information–entropy approach to analyzing environmental certification is based on the assumption that any economic system operates within flows of energy, matter, and information, which may be either ordered or chaotic [38]. High entropy reflects uncontrolled resource consumption, waste generation, and inefficient process organization. Conversely, entropy decreases when a system

transitions to structured management, i.e., when policies, norms, and procedures are established to regulate resource use.

Formally, the level of environmental entropy in a hotel complex, denoted as (H_e), can be described through the variance (uncertainty) of key indicators – energy (E), water (W), waste (R), and CO_2 emissions (C) – as follows:

$$H_e = -\sum_{i=1}^{n} p_i \ln p_i, \quad (2)$$

where (p_i) represents the normalized proportion of each environmental flow (E, W, R, C) within the total resource circulation structure.

For non-certified hotels, the average entropy value (H_e) equals 1.29, while for certified hotels, it decreases to 0.96, i.e., 25% lower, indicating a higher degree of system order [39].

Thus, implementing ISO 14001 or Green Key systems can be viewed as a mechanism of entropic self-regulation, where resource information (monitoring, reporting, control) reduces uncertainty and stabilizes the interaction between the enterprise and the environment.

12. Environmental Optimization of the "Hotel–Environment" System

Based on the previous indicators, a generalized model of environmental optimization was developed, where the objective is to minimize the total environmental impact ((I_e)) under economic feasibility constraints:

$$I_e = w_1 \frac{E}{E_{ref}} + w_2 \frac{W}{W_{ref}} + w_3 \frac{R}{R_{ref}} + w_4 \frac{C}{C_{ref}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

where (w_i) are the weighting coefficients of indicator significance (in this study: ($w_1 = 0{,}35$; $w_2 = 0{,}25$; $w_3 = 0{,}20$; $w_4 = 0{,}20$)).

Calculations for 50 certified hotels demonstrated that resource use optimization is achieved through combined measures: 30–35% – energy-efficient technologies (heat pumps, heat recovery, LED lighting); 25% – water-saving equipment (aerators, dual-flush systems); 20% – reduction of food waste; 20% – transition to renewable energy sources [40].

After implementing this comprehensive strategy, the integrated sustainability index (S_i) increases from 0.71 to 0.87, corresponding to a 22% reduction in total environmental impact.

13. Information–Energy Balance of the System

In terms of information ecology, the "hotel–environment" system can be viewed as an open thermodynamic structure in a quasi-stationary equilibrium between consumed and returned resource flows. Environmental certification introduces a feedback loop in the form of information flow (audits, reporting, inspections), which regulates the energy balance.

This relationship can be schematically represented as:

Raw and energy flows → operational processes → emissions/waste → informational control (EMS) → corrective actions → new cycle with reduced losses.

Thus, the information flow acts as a negative feedback mechanism that stabilizes the system.

Calculations show that the energy efficiency coefficient ((\eta_E = E_{out}/E_{in})) in certified establishments reaches 0.84, compared to 0.68 in conventional hotels – an improvement of approximately 24%. This indicates that the system is approaching a state of minimal entropy [41].

14. Relationship Between Environmental Certification and Environmental Safety

Within the framework of the neoecological approach, environmental safety is understood as a balanced state between economic activity and natural processes, ensuring ecosystem functionality and a comfortable human environment [42].

The results show that certification systems contribute to achieving this balance through: reduction of anthropogenic pressure on air, water, and soils; mitigation of pollution risks (particularly from cleaning agents and food waste); improvement of sanitary and hygienic conditions within facilities; enhancement of staff environmental competence; strengthening the socio-economic resilience of enterprises.

Together, these factors form localized nodes of increased ecological stability, positively influencing territorial systems – cities, resorts, and recreational zones. Thus, certified hotels become integral elements of the regional environmental safety system, characterized by reduced entropy and enhanced predictability of environmental processes [43, 44].

15. *Model of Integrating Eco-Certification into the Sustainable Development Strategy*

Based on the conducted analysis, a model linking environmental certification and the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs) is proposed, encompassing three levels:

1. Micro level (enterprise) – implementation of ISO 14001, EU Ecolabel, or Green Key; internal monitoring and environmental reporting.

2. Meso level (region) – formation of networks of certified establishments as elements of "green tourism clusters."

3. Macro level (state) – integration of EMS into national environmental safety and tourism policies.

The model envisions phased development: from pilot regions (Odesa, the Carpathians, Podillia) to a national program "Green Hospitality Ukraine," which could serve as an analogue to European initiatives such as Blue Flag or Eco-Tourism Label [45].

Implementation of this system will not only reduce environmental risks but also enhance the tourism attractiveness of regions, which is particularly important for Ukraine's post-war economic recovery.

Conclusions

The results of this study confirm that the implementation of environmental standards in the hospitality industry is an effective instrument for environmental management and a key driver of sustainable development. Through a comprehensive analysis of ISO 14001, EU Ecolabel, and Green Key, their common features, specific criteria, scope of distribution, and ecological and economic outcomes were identified. The main findings can be summarized as follows:

It has been established that environmental certification in the hospitality sector reduces energy consumption by 20–25%, water consumption by 15–20%, waste generation by 30–35%, and CO_2 emissions by 20–25% compared to non-certified enterprises. These results confirm the effectiveness of Environmental Management Systems (EMS) as practical mechanisms for mitigating anthropogenic pressure on the environment.

An eco-entropic model of certification impact has been developed, describing the reduction of uncertainty (entropy) in environmental flows through the structuring of informational and resource processes within the "hotel–environment" system. It was found that EMS implementation reduces entropy by approximately 25%, thereby increasing the orderliness and predictability of enterprise functioning.

Environmental certification produces a dual positive effect: evironmental, through the reduction of the impact on natural systems; and socio-economic, through higher profitability, improved customer loyalty, enhanced corporate image, and better working conditions for staff.

A SWOT analysis of EMS implementation in Ukraine's hospitality industry revealed that the main strengths include significant tourism potential, the existence of the adapted DSTU ISO 14001:2015 standard, and the interest of international hotel chains. The weaknesses include the absence of state incentives, limited financing, and a low level of environmental management culture among business owners.

A conceptual model for harmonizing European eco-standards (ISO 14001, EU Ecolabel, Green Key) in Ukraine has been proposed. It includes five key components: regulatory integration (recognition of European certificates); institutional support (creation of the Green Hospitality Ukraine center); financial incentives (tax reductions, grants); educational component (training programs for HoReCa managers); monitoring system (public registry of eco-certified facilities).

The developed provisions can be applied in state policy for sustainable tourism, particularly during the preparation of the National Strategy "Green Hospitality of Ukraine"; in university curricula for the fields of Hospitality and Restaurant Management, Management, and Environmental Safety; in the activities of professional associations (e.g., Ukrainian Hotel & Resort Association, Federation of Restaurateurs of Ukraine) for the development of sectoral eco-management standards; and in business consulting and environmental auditing during national implementation of ISO 14001 and Green Key systems.

For the first time in Ukraine's hospitality sector, an information–entropy interpretation of environmental management has been proposed. It allows the certification process to be understood as a means of reducing entropy in an open economic–ecological system, thereby increasing systemic stability.

The implementation of EMS in the hotel and restaurant sector should be included among the priorities of Ukraine's national environmental policy. It is necessary to establish financial and fiscal incentives (tax reductions, grants, low-interest loans for energy efficiency) and to introduce a state pilot program "Green

Hospitality Ukraine" to harmonize ISO 14001 and EU Ecolabel standards.

An important direction for the future is the development of educational and awareness programs to train specialists in environmental management for the service sector. It is also advisable to create a national open registry of enterprises certified under international eco-standards, with regular publication of environmental performance indicators.

Promising future research directions include: development of a regional environmental safety index for tourism areas; deepening the entropy-based analysis of resource flows in hotel operations; assessment of the impact of digital technologies (IoT, big data) on EMS efficiency; and modeling eco-economic risks associated with implementing sustainability standards in the context of post-war economic recovery.

Conflict of Interest

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

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. United Nations Environment Programme. (2023). *Emissions Gap Report 2023*. UNEP. Retrieved from https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2023
2. Gössling, S., Balas, M., Mayer, M., & Sun, Y.-Y. (2023). A review of tourism and climate change mitigation: The scales, scopes, stakeholders and strategies of carbon management. *Tourism Management, 95*, 104681. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104681
3. European Commission. (2019). *The European Green Deal* (COM(2019)640 final). Brussels: European Commission. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640
4. International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use*. Geneva: ISO. Retrieved from https://www.iso.org/standard/60857.html
5. European Commission. (2023). *EU Ecolabel Criteria for Tourist Accommodation* (2023/C 330/01). User Manual. Retrieved from https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2024-02/TAS_JRC133332_FINAL.pdf
6. Foundation for Environmental Education. (2024). *Green Key Global Criteria 2024*. Copenhagen: FEE. Retrieved from https://www.greenkey.global/criteria
7. Bohdanowicz, P., & Martinac, I. (2007). Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels–Case study of Hilton International and Scandic in Europe. *Energy and Buildings, 39*(1), 82–95. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.05.005
8. Mensah, I. (2007). Environmental management and sustainable tourism development: The case of hotels in Greater Accra Region (GAR) of Ghana. *J Retail Leisure Property*, 6, 15–22. https://doi.org/10.1057/palgrave.rlp.5100039
9. Chan, E. S. W. (2008). Barriers to EMS in the hotel industry. *International Journal of Hospitality Management, 27*(2), 187–196. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2007.07.011
10. Velaoras, K., Menegaki, A. N., Polyzos, S., & Gotzamani, K. (2025). The Role of Environmental Certification in the Hospitality Industry: Assessing Sustainability, Consumer Preferences, and the Economic Impact. *Sustainability, 17*(2), 650. https://doi.org/10.3390/su17020650
11. Kang, K. H., Stein, L., Heo, C. Y., & Lee, S. (2012). Consumers' willingness to pay for green initiatives of the hotel industry. *International Journal of Hospitality Management, 31*(2), 564–572. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2011.08.001
12. Campos, F., Gomes, C., Malheiros, C., & Lima Santos, L. (2024). Hospitality Environmental Indicators Enhancing Tourism Destination Sustainable Management. *Administrative Sciences*, *14*(3), 42. https://doi.org/10.3390/admsci14030042
13. Abdou, A. H., Hassan, T. H., & El Dief, M. M. (2020). A Description of Green Hotel Practices and Their Role in Achieving Sustainable Development. *Sustainability*, *12*(22), 9624. https://doi.org/10.3390/su12229624
14. Raza, Syed Ali & Khan, Komal. (2022). Impact of green human resource practices on hotel environmental performance: the moderating effect of environmental knowledge and individual green values. *International Journal of Contemporary Hospitality Management.* 34. https://doi.org/10.1108/IJCHM-05-2021-0553
15. Makoondlall-Chadee, T., & Bokhoree, C. (2024). Environmental Sustainability in Hotels: A Review of the Relevance and Contributions of Assessment Tools and Techniques. *Administrative Sciences*, *14*(12), 320. https://doi.org/10.3390/admsci14120320
16. Bezsonnyi, V. (2023). Use of the entropy approach in water resource monitoring systems. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, (58), 302-320. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-23 (in Ukrainian)

17. European Commission. (2024). *EU Ecolabel Register Database*. DG Environment. Retrieved from https://data.europa.eu/data/datasets/eu-ecolabel-products?locale=en
18. Foundation for Environmental Education. (2024). *Green Key Global Database*. Copenhagen: FEE. Retrieved from https://www.greenkey.global/green-key-sites
19. Danish Environmental Protection Agency. (2023). *Årsrapport 2023 Miljøstyrelsen*. Copenhagen: DEPA. Retrieved from https://mst.dk/media/nadju3w0/aarsrrapport-2023.pdf
20. He, W., Tian, G., Li, Q., Liu, L. B., & Zhou, J. (2022). Examining the Relationships between Student Teacher Professional Identity Tensions and Motivation for Teaching: Mediating Role of Emotional Labor Strategies in China. *Sustainability*, *14*(19), 12727. https://doi.org/10.3390/su141912727
21. Minich I. (2025). Economic Security of Tourism and Hospitality Enterprises in the Context of Global Challenges. *Modern Economics*, 52(2025), 122-127. Retrieved from https://modecon.mnau.edu.ua/en/economic-security-of-tourism-and/ : https://doi.org/10.31521/modecon.V52(2025)-17
22. International Organization for Standardization. (2022). *Environmental Management – The ISO 14000 Family of International Standards*. Geneva: ISO. Retrieved from https://www.iso.org/standards/popular/iso-14000-family
23. Dias, F., Lavaredas, A. M., & Esteves, P. (2024). What Is the Value of an Environmental Certification Label in Tourism Industry? Is It Worth the Effort? *Sustainability*, *16*(19), 8587. https://doi.org/10.3390/su16198587
24. European Commission. (2023). *EU Ecolabel User Manual for Tourist Accommodation*. Brussels: Publications Office of the EU. Retrieved from https://environment.ec.europa.eu/publications/tourist-accommodation-user-manual_en
25. Scolozzi, R., Franco, E., Catelani, S., Alberelli, M., & Armenia, S. (2023, December 12). *National report: Italy (Version 4.0)* [Project deliverable]. In *PREPARE – Promoting Environmental Protection and Learning on Climate Change (Grant Agreement no. 2022-1-TR01-KA220-YOU-000087199)*. SYDIC. Retrieved from https://prepareproject.eu/TURKCE/wp-content/uploads/2024/08/PREPARE-Italy-National-Report_FINAL.pdf
26. Foundation for Environmental Education. (2023). *Green Key Criteria and Audit Procedures*. Copenhagen: FEE. Retrieved from https://www.greenkey.global/self-assessment
27. Green Key International. (2024). *Annual Statistics Report*. Copenhagen: FEE. Retrieved from https://www.greenkey.global/green-key-toolbox-1
28. Wilco W. Chan; Environmental measures for hotels' environmental management systems: ISO 14001. *International Journal of Contemporary Hospitality Management* 10 July 2009; 21 (5): 542–560. https://doi.org/10.1108/09596110910967791
29. Cornell Hotel Sustainability Benchmarking Index. (2024). *CHSB 2024 Annual Report*. Cornell Peter And Stephanie Nolan School Of Hotel Administration Center For Hospitality Research. Retrieved from https://ecommons.cornell.edu/server/api/core/bitstreams/ab66ba83-1ced-4c46-8168-d3b1795b2576/content
30. Chi, C. G., Chi, O. H., Xu, X., & Kennedy, I. (2022). Narrowing the intention-behavior gap: The impact of hotel green certification. *International Journal of Hospitality Management*, *107*, 103305. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103305
31. Alhassan Fatawu, Lydia Adama, & Stanley Cowther. (2024). Impact of Green Certification on Customer Satisfaction, Mediated by Perceived Hotel Quality. *Journal of Social Responsibility,Tourism and Hospitality*, *4*(06), 42–51. https://doi.org/10.55529/jsrth.46.42.51
32. Han, H., & Yoon, H. J. (2015). Hotel customers' environmentally responsible behavioral intention: Impact of key constructs on decision in green consumerism. *International Journal of Hospitality Management*, *45*, 22–33. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2014.11.004
33. Dolnicar, S., Knezevic Cvelbar, L., & Grün, B. (2016). Do Pro-environmental Appeals Trigger Pro-environmental Behavior in Hotel Guests? *Journal of Travel Research*, *56*(8), 988-997. https://doi.org/10.1177/0047287516678089
34. Font, X., & Lynes, J. (2018). Corporate social responsibility in tourism and hospitality. *Journal of Sustainable Tourism*, *26*(7), 1027–1042. https://doi.org/10.1080/09669582.2018.1488856
35. Eurostat. (2024). *Environmental Accounts for Accommodation and Food Service Activities* (env_ac_eneind, env_ac_ainah_r2, env_wasgen). Luxembourg: Eurostat. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AC_AINAH_R2__custom_4682524/default/table
36. Więckowski, Marek & Saarinen, Jarkko. (2019). Tourism transitions, changes, and the creation of new spaces and places in Central-Eastern Europe. *Geographia Polonica*, *92*, 369-377. https://doi.org/10.7163/GPol.0154a
37. Banaszkiewicz M., Graburn N., Owsianowska S. (2017). Tourism in (post)socialist Eastern Europe. *Journal of Tourism and Cultural Change*, *15*(2), 109-121. https://doi.org/10.1080/14766825.2016.1260089
38. Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, *27*(3), 379–423. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
39. Jaynes, E. T. (1957). Information theory and statistical mechanics. *Physical Review*, *106*(4), 620–630. https://doi.org/10.1103/PhysRev.106.620
40. United Nations Environment Programme. *Tourism: Resource efficiency and responsible industry*. Retrieved October 9, 2025, from https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/responsible-industry/tourism

41. Hall, C. M., Gössling, S. & Scott, D. (2015). *The Routledge Handbook of Tourism and Sustainability*. London: Routledge. Retrieved from The Routledge Handbook of Tourism and Sustainability - 1st Edition - M
42. Odum, H. T. (2007). *Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century: The Hierarchy of Energy*. Columbia University Press. Retrieved from https://cup.columbia.edu/book/environment-power-and-society-for-the-twenty-first-century/9780231128865
43. Bezsonnyi, V., Tretyakov, O., Sherstyuk, M., & Nekos, A. (2022). Thermodynamic aspects of the systems approach in ecology. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, (57), 268-281. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-20 (in Ukrainian)
44. Bezsonnyi , V. L. (2023). Method for analyzing the vulnerability of water resources in an unstable environment based on the entropy approach. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (39), 65-76. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-06 (in Ukrainian)
45. European Commission. (2020). *Circular Economy Action Plan* (COM(2020)98 final). Brussels: European Commission. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52020DC0098&

Submission received: 07.09.2025 / Revised: 25.10.2025 / Accepted: 15.11.2025 / Published: 30.12.2025

В. Л. БЕЗСОННИЙ, д-р. техн. наук, доц.,
професор кафедри готельного, ресторанного бізнесу і крафтових технологій
e-mail: vitalii.bezsonnyi@hneu.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8089-7724
Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця,
пр. Науки, 9а, м. Харків, 61165, Україна

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СЕРТИФІКАЦІЇ У СФЕРІ ГОСТИННОСТІ УКРАЇНИ

Мета. Аналіз європейського досвіду впровадження систем екологічної сертифікації у сфері гостинності (ISO 14001, EU Ecolabel, Green Key) та визначити перспективи їх адаптації в Україні. Особливу увагу приділено ролі екологічної сертифікації як інструменту управління сталим розвитком готельно-ресторанного бізнесу, підвищення його екологічної безпеки та конкурентоспроможності.

Методи. Використано системно-аналітичний, порівняльний, статистичний та інформаційно-ентропійний підходи.

Результати. Джерельну базу становлять офіційні європейські реєстри (EU Ecolabel, Green Key, EMAS), дані Eurostat, Hotel Footprinting 2024, а також наукові публікації Scopus і WoS (Velaoras et al., 2025; Abdou et al., 2020; Prakash et al., 2022). Здійснено аналіз кількісних показників енерго- та водоспоживання, викидів CO_2 та рівня сертифікації підприємств HoReCa у країнах ЄС. Встановлено, що у країнах ЄС понад 4200 засобів розміщення мають сертифікат Green Key, а близько 900 – EU Ecolabel; найвищі темпи поширення зафіксовано у Данії, Франції, Іспанії та Італії. Запровадження стандартів ISO 14001 дозволяє знизити енергоспоживання на 15–25 %, водоспоживання – на 20 %, утворення відходів – до 30 %. Виявлено основні бар'єри для України: відсутність економічних стимулів, низький рівень екологічної культури персоналу, нестача сертифікованих аудиторів. Запропоновано модель національної ініціативи «Green Hospitality UA», що базується на принципах EU Ecolabel та Green Deal Policy.

Висновки. Екологічна сертифікація є дієвим механізмом підвищення екологічної безпеки та сталого розвитку готельно-ресторанних підприємств. Адаптація стандартів ЄС в Україні сприятиме зменшенню антропогенного навантаження, зростанню енергоефективності й формуванню позитивного екологічного іміджу українського HoReCa-сектору. Подальші дослідження доцільно зосередити на економічному моделюванні ефектів екосертифікації та інтеграції її в державну політику туризму й екологічного менеджменту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *екологічна сертифікація, сталий розвиток, готельно-ресторанний бізнес, EU Ecolabel, Green Key, ISO 14001*

Конфлікт інтересів

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

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. United Nations Environment Programme. *Emissions Gap Report 2023*. UNEP, 2023. URL: https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2023

2. Gössling, S., Balas, M., Mayer, M., Sun, Y.-Y. A review of tourism and climate change mitigation: The scales, scopes, stakeholders and strategies of carbon management. *Tourism Management*. 2023. Vol. 95. Article 104681. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104681
3. European Commission. *The European Green Deal (COM(2019) 640 final).* Brussels: European Commission. 2019. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640
4. International Organization for Standardization. *ISO 14001:2015 Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use.* Geneva: ISO. 2015. URL: https://www.iso.org/standard/60857.html
5. European Commission. *EU Ecolabel Criteria for Tourist Accommodation (2023/C 330/01). User Manual.* Brussels: European Commission. 2023. URL: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2024-02/TAS_JRC133332_FINAL.pdf
6. Foundation for Environmental Education. *Green Key Global Criteria 2024.* Copenhagen: FEE, 2024. URL: https://www.greenkey.global/criteria
7. Bohdanowicz, P., & Martinac, I. Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels – Case study of Hilton International and Scandic in Europe. *Energy and Buildings*. 2007. Vol. 39. N 1. P.82–95. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.05.005
8. Mensah, I. Environmental management and sustainable tourism development: The case of hotels in Greater Accra Region (GAR) of Ghana. *Journal of Retail & Leisure Property*. 2007. Vol. 6. P. 15–22. https://doi.org/10.1057/palgrave.rlp.5100039
9. Chan, E. S. W. *Barriers to EMS in the hotel industry. International Journal of Hospitality Management*. 2008. Vol. 27. N 2. P.187–196. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2007.07.011
10. Velaoras, K., Menegaki, A. N., Polyzos, S., Gotzamani, K. The Role of Environmental Certification in the Hospitality Industry: Assessing Sustainability, Consumer Preferences, and the Economic Impact. *Sustainability*. 2025. Vol. 17. N 2. Article 650. https://doi.org/10.3390/su17020650
11. Kang, K. H., Stein, L., Heo, C. Y., Lee, S. Consumers' willingness to pay for green initiatives of the hotel industry. *International Journal of Hospitality Management.* 2012.Vol. 31. N 2. P.564–572. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2011.08.001
12. Campos, F., Gomes, C., Malheiros, C., Lima Santos, L. Hospitality environmental indicators enhancing tourism destination sustainable management. *Administrative Sciences*. 2024. Vol. 14. N 3. 42. https://doi.org/10.3390/admsci14030042
13. Abdou, A. H., Hassan, T. H., El Dief, M. M. A description of green hotel practices and their role in achieving sustainable development. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. N 22. 9624. https://doi.org/10.3390/su12229624.
14. Raza, S. A., Khan, K. Impact of green human resource practices on hotel environmental performance: The moderating effect of environmental knowledge and individual green values. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 2022. Vol. 34. https://doi.org/10.1108/IJCHM-05-2021-0553
15. Makoondlall-Chadee, T., Bokhoree, C. Environmental sustainability in hotels: A review of the relevance and contributions of assessment tools and techniques. *Administrative Sciences*. 2024. Vol. 14. N 12. 320. https://doi.org/10.3390/admsci14120320
16. Безсонний В. Використання ентропійного підходу в системах моніторингу водних ресурсів. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2023. N 58. С. 302–320. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-23
17. European Commission. *EU Ecolabel Register Database.* DG Environment, 2024. URL: https://data.europa.eu/data/datasets/eu-ecolabel-products?locale=en.
18. Foundation for Environmental Education. *Green Key Global Database.* Copenhagen: FEE, 2024. URL: https://www.greenkey.global/green-key-sites
19. Danish Environmental Protection Agency. *Årsrapport 2023.* Copenhagen: DEPA, 2023. URL: https://mst.dk/media/nadju3w0/aarsrrapport-2023.pdf
20. He, W., Tian, G., Li, Q., Liu, L. B., Zhou, J. Examining the relationships between student teacher professional identity tensions and motivation for teaching: Mediating role of emotional labor strategies in China. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. N 19. 12727. https://doi.org/10.3390/su141912727
21. Minich, I. Economic security of tourism and hospitality enterprises in the context of global challenges. *Modern Economics*. 2025. Vol. 52. P. 122–127. https://doi.org/10.31521/modecon.V52(2025)-17
22. International Organization for Standardization. *Environmental management – The ISO 14000 family of international standards.* Geneva: ISO, 2022. URL: https://www.iso.org/standards/popular/iso-14000-family
23. Dias, F., Lavaredas, A. M., Esteves, P. *What is the value of an environmental certification label in tourism industry? Is it worth the effort? Sustainability*. 2024. Vol. 16. N 19. 8587. https://doi.org/10.3390/su16198587
24. European Commission. *EU Ecolabel User Manual for Tourist Accommodation.* Brussels: Publications Office of the European Union, 2023. URL: https://environment.ec.europa.eu/publications/tourist-accommodation-user-manual_en
25. Scolozzi, R., Franco, E., Catelani, S., Alberelli, M., Armenia, S. *National Report: Italy (Version 4.0) [Project deliverable]*. In *PREPARE – Promoting Environmental Protection and Learning on Climate Change (Grant Agreement No. 2022-1-TR01-KA220-YOU-000087199).* SYDIC, 2023. URL: https://prepareproject.eu/TURKCE/wp-content/uploads/2024/08/PREPARE-Italy-National-Report_FINAL.pdf
26. Foundation for Environmental Education. *Green Key Criteria and Audit Procedures.* Copenhagen: FEE, 2023. URL: https://www.greenkey.global/self-assessment

27. Green Key International. *Annual Statistics Report.* Copenhagen: FEE, 2024. URL: https://www.greenkey.global/green-key-toolbox-1
28. Chan, W. W. Environmental measures for hotels' environmental management systems: ISO 14001. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 2009. Vol. 21. N 5. P. 542–560. https://doi.org/10.1108/09596110910967791
29. Cornell Hotel Sustainability Benchmarking Index. *CHSB 2024 Annual Report.* Cornell Peter and Stephanie Nolan School of Hotel Administration, Center for Hospitality Research, 2024. URL: https://ecommons.cornell.edu/server/api/core/bitstreams/ab66ba83-1ced-4c46-8168-d3b1795b2576/content
30. Chi, C. G., Chi, O. H., Xu, X., Kennedy, I. Narrowing the intention–behavior gap: The impact of hotel green certification. *International Journal of Hospitality Management*. 2022. Vol. 107. 103305. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103305
31. Fatawu, L. A., Cowther, S. *Impact of green certification on customer satisfaction, mediated by perceived hotel quality. Journal of Social Responsibility, Tourism and Hospitality*. 2024. Vol. 4. N 6. P. 42–51. https://doi.org/10.55529/jsrth.46.42.51
32. Han, H., Yoon, H. J. Hotel customers' environmentally responsible behavioral intention: Impact of key constructs on decision in green consumerism. *International Journal of Hospitality Management*. 2015.Vol. 45. P. 22–33. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2014.11.004
33. Dolnicar, S., Knežević Cvelbar, L., Grün, B. Do pro-environmental appeals trigger pro-environmental behavior in hotel guests? *Journal of Travel Research*. 2016. Vol. 56. N 8. P. 988–997. https://doi.org/10.1177/0047287516678089
34. Font, X., Lynes, J. Corporate social responsibility in tourism and hospitality. *Journal of Sustainable Tourism*. 2018. Vol. 26. N 7. P. 1027–1042. https://doi.org/10.1080/09669582.2018.1488856
35. Eurostat. *Environmental Accounts for Accommodation and Food Service Activities (env_ac_eneind, env_ac_ainah_r2, env_wasgen).* Luxembourg: Eurostat, 2024. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AC_AINAH_R2__custom_4682524/default/table
36. Więckowski, M., Saarinen, J. *Tourism transitions, changes, and the creation of new spaces and places in Central-Eastern Europe. Geographia Polonica*. 2019.Vol. 92. P. 369–377. https://doi.org/10.7163/GPol.0154a
37. Banaszkiewicz, M., Graburn, N., Owsianowska, S. Tourism in (post)socialist Eastern Europe. *Journal of Tourism and Cultural Change*. 2017. Vol. 15. N 2. P. 109–121. https://doi.org/10.1080/14766825.2016.1260089
38. Shannon, C. E. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 1948. Vol. 27. N 3. P. 379–423. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
39. Jaynes, E. T. Information theory and statistical mechanics. *Physical Review*. 1957.Vol. 106. N 4. 620–630. https://doi.org/10.1103/PhysRev.106.620
40. United Nations Environment Programme. *Tourism: Resource efficiency and responsible industry*. 2025. URL: https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/responsible-industry/tourism
41. Hall, C. M., Gössling, S., Scott, D. *The Routledge Handbook of Tourism and Sustainability.* London: Routledge, 2015. URL: https://www.routledge.com/The-Routledge-Handbook-of-Tourism-and-Sustainability/Hall-Gossling-Scott/p/book/9781138013279
42. Odum, H. T. *Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century: The Hierarchy of Energy.* New York: Columbia University Press, 2007. URL: https://www.routledge.com/The-Routledge-Handbook-of-Tourism-and-Sustainability/Hall-Gossling-Scott/p/book/9781138071476?srsltid=AfmBOopu-vRGggHV4xTGmVH47m4ErThx9JfaLNHGfofbahx1gLfi5e6JD
43. Безсонний, В., Третьяков, О., Шерстюк, М., Некос, А. Термодинамічні аспекти системного підходу в екології. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*,. 2022. N 57. С. 268–281. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-20
44. Безсонний В. Л. Метод аналізу вразливості водних ресурсів у нестабільному середовищі на основі ентропійного підходу. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2023. Вип. 39. С.65–76. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-06
45. European Commission. *Circular Economy Action Plan (COM(2020)98 final).* Brussels: European Commission, 2020. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52020DC0098

Отримано: 07.09.2025 / Переглянуто: 25.10.2025 / Прийнято: 15.11.2025 / Опубліковано: 30.12.2025

ЗАПОВІДНА СПРАВА

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-15
UDC (УДК): 502.72:712.25:911.9(477)

N. V. MAKSYMENKO[1], DSc (Geography), Prof.,
Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: maksymenko@karazin.ua ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-7921-9990

O. O. PARKHOMENKO[1],
Master Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management,
e-mail: olyaparkhom060804@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-9968-0393
[1]*V. N. Karazin Kharkiv National University*,
4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

ASSESSMENT OF COMPLIANCE WITH THE NORMATIVE ZONING RATIO OF NATIONAL NATURE PARKS IN UKRAINE

Purposes. To assess the compliance of the actual functional zoning of the territories of national nature parks of Ukraine with the current regulatory requirements.

Methods. System analysis, statistics, cartographic modeling.

Results. The world experience of zoning was analyzed, and a comparative analysis of the actual zoning of all 26 national natural parks of Ukraine was carried out with the state building standards DBN B.2.2-12:2019 "Planning and development of territories", according to which each park must have a clearly defined share of the area of the zones: reserve, regulated recreation, stationary recreation and economic zone.. Six groups of parks were identified according to the degree of compliance of zoning with the standards: "Satisfactory" - 6, "Close to satisfactory" - 2, "Less close to satisfactory" - 5, "Far from satisfactory" - 5, "Completely unsatisfactory" - 4. It was not possible to assess zoning in 4 NNPs due to differences in official sources. It was found that the functional zoning of 70% of the national nature parks of Ukraine does not meet the established regulatory requirements, An interactive map of zoning of Ukrainian NNPs was created; recommendations for improving zoning were proposed.

Conclusions. The non-compliance of functional zoning with established regulatory requirements negatively affects the effectiveness of the protection of natural areas. The situation in each park depends on natural conditions, the level of recreational pressure, and the socioeconomic context, but having clear and reasonable zoning is essential to achieving the main goal of preserving ecosystems, ensuring sustainable use of natural resources, and developing ecotourism.

KEYWORDS: *National Nature Park, functional zoning, regulations, strict protection zone, regulated recreation zone, stationary recreation zone, economic zone, interactive map*

Як цитувати: Maksymenko N. V., Parkhomenko O. O. Assessment of compliance with the normative zoning ratio of national nature parks in Ukraine. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 201-216. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-15

In cites: Maksymenko, N. V., & Parkhomenko, O. O. (2025). Assessment of compliance with the normative zoning ratio of national nature parks in Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 201-216. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-15

Introduction

Effective zoning of the territories of environmental institutions is an important component of sustainable management of natural resources and ensuring long-term conservation of biodiversity. International practice shows that a clear delineation of functional zones allows not only to protect valuable natural complexes, but also to organize sustainable recreational activities and integrate local communities into the management of territories. This section analyzes the international experience of zoning protected areas, including the recommendations of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) and examples of the application

© Maksymenko, N. V., Parkhomenko O. O., 2025

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

of a multi-level zoning system in certain countries, which can serve as a guide for improving approaches in Ukraine.

The system introduced in Canada, in particular within the Aulavik National Park, is interesting and illustrative. [1] The management plan for this park provides for a clearly defined multi-level zoning system that includes five functional zones, each of which performs its own environmental, social or management function.

The most protected zone is Zone I, which is intended for the absolute preservation of the most sensitive and valuable natural or cultural sites. Visiting, transportation and any form of interference are completely prohibited in this part of the park. It serves as a kind of ecological core, providing a basic level of preservation of unique natural processes. In this aspect, it is analogous to the protected zone in Ukrainian national parks, according to DBN B.2.2-12:2019, although the Canadian model is often even stricter in terms of access.

Zone II covers the majority of the park's area and plays the role of a buffer zone, where natural processes are preserved without significant anthropogenic interference. This area is intended for wild natural landscapes, where minimal intervention is allowed only in case of emergency. Recreational use is possible here, but in a limited format - only in compliance with the regime of visits without infrastructure. This zone can be compared to the regulated recreation zone in Ukraine, although the Canadian interpretation is more conservative.

The third zone, the natural environment zone, is a transitional zone between wild natural areas and areas with a higher level of anthropogenic impact. It is possible to use basic infrastructure, install navigation signs, build trails and campsites here. The main goal of this zone is to provide an opportunity to get acquainted with natural values without the threat of their degradation.

The fourth zone is defined as the active recreation zone, which includes places with a more developed infrastructure for receiving visitors. It is designed for short-term visits, organized tours, excursions, and services. Campsites, information centers, and service facilities can be built here. This zone can be compared to the Ukrainian zone of stationary recreation.

The fifth zone, Park Services, is reserved for administrative and service facilities necessary for the park's operation. The construction of technical facilities, warehouses, staff quarters, and transportation infrastructure is allowed here. This zone is analogous to the economic zone in the Ukrainian approach to zoning. Its area is small, but it is critical for ensuring the viability of the management system.

The zoning system in Aulavik Park not only demonstrates a multi-level approach to nature conservation, but also provides flexible management of the territory depending on the level of ecological value, recreational load, and logistical needs. [1] It is important to emphasize that the Canadian experience clearly reflects the desire to preserve the integrity of natural landscapes at the level of the entire ecosystem, with minimizing human impact in most of the park. For Ukrainian national nature parks, this can serve as an example of an effective spatial structure where priority is given to biodiversity conservation rather than the exploitation of recreational potential. Particularly valuable is the principle of strict protection of the most sensitive areas, and it is implemented not declaratively, but through real management mechanisms, including access restrictions, a clear division of functions and responsibilities, and constant monitoring of the natural environment.

The global practice of zoning protected areas is gradually shifting from formal division to assessing the effectiveness of this zoning in terms of achieving environmental, social and management goals.

The functional zoning of national parks varies significantly from country to country or region to region, due to differences in natural conditions, geographical location, socio-economic development, and management approaches. For example, the United States uses a classical zoning model with a clear distinction between natural and anthropogenic zones, as well as a detailed approach to managing each of them. In Italy, the zoning structure is more differentiated - it covers from three to six types of functional zones, which indicates the flexibility and complexity of the system. In New Zealand, functional zoning involves the use of the concepts of "special zones" and "management zoning," which allows for adaptation of approaches to specific environmental goals. [2]

A thorough study conducted by an international group of authors in 2024 is dedicated to a global analysis of the effectiveness of zoning in biosphere reserves, one of the highest formats of protected areas in the international system (UNESCO MAB). [3] The paper systematizes

more than 100 publications on the implementation of the zoning concept on five continents. Biosphere reserves, unlike classical national parks, have a more comprehensive model of functioning based on the principle of coexistence of nature conservation and sustainable development. Traditionally, they are divided into three main zones: core zone, buffer zone, and transition zone. The core zone is intended exclusively for the preservation of natural ecosystems, the buffer zone is for scientific research, environmental education and ecotourism, while the transition zone provides for sustainable economic activities of the local population. The authors emphasize that the mere existence of zoning does not guarantee the achievement of environmental goals. The effectiveness depends on the clarity of the boundaries, the legal status of the zones, interaction with local communities, and the resources involved in management. In many countries, there are cases where the formal designation of a core or buffer is not accompanied by real restrictions, which leads to the loss of the values of these areas. This is especially true in countries with insufficient control or an unstable political situation. Considerable attention is paid to examples of adaptive zoning, which changes depending on the results of monitoring, environmental conditions, or socioeconomic conditions. This allows for a more flexible and dynamic management system that meets real threats and needs. The publication also discusses the impact of local community participation on the effectiveness of zoning implementation. Active cooperation with communities, involving them in decision-making and sharing the benefits of ecotourism significantly increases the level of conservation in buffer and transition zones. [3]

Clear and functionally sound zoning can significantly enhance the effectiveness of biodiversity protection within protected areas. One of the most widely used models in the world is the zoning concept adopted by the Man and the Biosphere (MAB) program. [3] This concept is actively used in many countries, such as Australia, Canada, China, Germany, Mexico, Spain, and the United States. Although the names and specific management regimes may vary, the basic principle remains the same: differentiating the territory by function, from the strictest environmental protection regime to the zone of permissible human intervention. The purpose of this approach is to reduce pressure on the most valuable areas of the territory from the point of view of conservation, while ensuring the possibility of sustainable use of resources in less vulnerable areas. However, global analysis shows that the effectiveness of this approach is not unambiguous. In some cases, functional zoning has indeed demonstrated positive results, for example, by limiting infrastructure development to the transition zone or by striking a balance between conservation and socioeconomic development. However, there are also a significant number of studies that have revealed serious shortcomings: even in strictly protected core areas, significant human interventions are often recorded, and the level of this impact is only increasing over time. These cases demonstrate the risk of formalizing zoning when it exists only "on paper" without actually enforcing the restrictions. This situation leads to the fact that the principles of zoning are not implemented in reality, and the protection regime remains declarative. It is also important to note that the effectiveness of zoning depends not only on the cartographic division of the territory, but also on the level of management: stronger management structures are better able to control deforestation and other threats. One of the main problems is the lack of information park managers have about the actual state of protected areas. In most cases, managers do not have clear data that would allow them to determine whether functional zones are appropriately delineated. There is also a lack of integrated regional data on the state of ecosystems, which makes it impossible to make informed management decisions. In this regard, modern approaches require regular analysis of the effectiveness of zoning in terms of achieving conservation goals, conservation of target species and habitats, and social acceptability of measures. [4]

Thus, mere compliance with formal zoning regulations (e.g., core or buffer areas) does not guarantee effective protection. More important is the mechanism for implementing zoning: clear boundaries, monitoring compliance, community involvement, and flexibility of the system to take into account changes in the environment and social environment. These conclusions are extremely relevant for the analysis of zoning in Ukrainian NNPs, where there is currently a similar tendency to declarativeness and a lack of systematic monitoring of functional zones. The processed information on the world experience of zoning is grouped in Table 1.

Table 1

World experience in zoning National Parks

Country / Region	Functional areas	Principle of zoning and features	Notes.
Canada (Aulavik National Park)	1. Zone of absolute safety 2. Buffer zone of wildlife 3. Natural environment zone 4. Zone of active recreation 5. Park Services	The zones are divided according to the level of anthropogenic pressure and ecological value. Zone 1 – complete prohibition of access. Zone 2 – minimal intervention. Zone 3 – light infrastructure. Zone 4 – tourist infrastructure. Zone 5 – maintenance.	High level of control. Real access restrictions, functional management, and adaptive management are provided.
Biosphere reserves (UNESCO, global practice: Germany, Spain, Mexico, China, etc.)	1. Core 2. Buffer 3. Transition	Differentiation by function: core – nature protection, buffer – research and ecotourism, transition – sustainable development.	It is widely used in the Man and the Biosphere program. There are often problems with the formality of zoning without a real regime.
Ukraine (according to DBN B.2.2-12:2019)	1. Protected area (≥20%) 2. Regulated recreation area (≥35%) 3. Zone of stationary recreation (≥10%) 4. Economic zone (15-35%)	Allocation according to regulatory requirements and type of use. Protected – scientific observations, no interventions. Regulated – recreation with restrictions. Stationary – campsites, etc. Economic – support of the park's vital activity.	There is often declarative nature and lack of monitoring. The actual zoning does not always comply with the norms. Management approaches need to be modernized.

Problem Statement

In today's environment of deepening environmental crisis, increasing anthropogenic pressure on natural resources and active development of recreational tourism, the issue of effective management of protected areas is becoming particularly relevant.

One of the key tools of such management is functional zoning, which allows optimizing the spatial structure of national nature parks (NNPs), ensuring the preservation of valuable ecosystems and at the same time meeting the needs of society in recreation, education, research and sustainable use of natural resources. Given that there are more than fifty NNPs in Ukraine, it is important not only to formally define their functional zones, but also to ensure that zoning complies with established standards, control their compliance, and monitor the effectiveness of the spatial organization of territories.

Objective: to assess the compliance of the actual functional zoning of the territories of national nature parks of Ukraine with the current regulatory requirements.

Methodology of Study

The ratio of zones of the National Nature Parks in Ukraine is regulated by the DBN B.2.2-12:2019 Planning and Development of Territories. [5] When designing the territories of NNPs, the following functional zones should be distinguished:

- protected, which should cover an area of 20% of the park's territory;
- regulated recreation - should be 35% or more of the park's territory;
- stationary recreation should cover 10% or more of the park's territory;
- economic zone – may consist of settlements, industrial, municipal, infrastructure facilities, land plots to meet the needs of the park (5-10%). In total, the zone may comprise 15-35% of the park's territory.

The following sources were used to collect primary information on the state of zoning of national nature parks: official websites of the NNPs of Ukraine; open scientific sources and publications; geospatial data available in the public domain; materials from planning and organizational documents approved by the admin-

istrations of the NNPs. Special attention was paid to officially confirmed or published data only.
To perform calculations and create tables, we chose the Google Sheets program, which allows us to process the required amount of data and structure the information.

Stages of the study:

1. Selection of national parks for analysis.
2. Collection of data on functional zoning.
3. Calculation of the normative areas of functional zones based on the total area of the NNP.
4. Comparison of actual and standard areas.
5. Analysis of zoning compliance with the established standards.
6. Systematization and visualization of the results.

Research Results

The zoning of national parks performs a very important function - ensuring the preservation of particularly valuable landscapes and, at the same time, the realization of other functions - scientific, educational, enlightening, recreational, social, etc. That is why the percentage norms of the area of each zone approved by the regulatory authorities correspond to their main tasks:

1. Protected area (20%): This percentage is necessary to provide a large enough space to preserve natural ecosystems, rare species of flora and fauna, and to conduct scientific research. It should be isolated from human activity, allowing ecosystems to develop without human intervention.
2. Regulated recreation (35%): This zone allows maximum use of the territory for tourism and recreation, but subject to the requirements for minimizing the negative impact on nature. It is taken into account that for sustainable tourism development, a significant part of the territory should be allocated for recreational activities with restrictions.
3. Stationary recreation (10%): A dedicated part of the park is needed to provide the necessary infrastructure for vacationers (campsites, recreation centers, hotels). It should be sufficient to accommodate people, but also maintain a balance without harming the environment.
4. Economic zone (15-35%): The economic use zone is necessary to ensure the proper operation of the park, maintain infrastructure and provide basic needs such as power, water, administrative buildings, etc. This ensures the vital activity of the national park without violating environmental requirements.

Legal aspects of functional zoning. The legal aspects of functional zoning of national nature parks are regulated by a number of legislative and regulatory acts:

- The Law of Ukraine "On the Nature Reserve Fund of Ukraine" establishes the basis for the protection of natural areas, regulates the issues of protected areas and their protection [6].
- DBN B.2.2-12:2019 "Planning and Development of Territories" - provides specific guidelines for the design of NNP territories, including the allocation of functional zones, which allows for nature protection while integrating human activities [5].
- Resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine and other bylaws - regulates issues related to the use of land within protected areas, organization of environmentally friendly recreational activities and sustainable development [6].

Using a search on the official websites of the NNPs and open sources posted on the Internet, we managed to obtain data on functional zoning for 26 out of 56 NNPs. Among these parks, most published information on zoning on their official websites(21). The other 5 parks (Velykyi Luh, Verkhovynskyi, Ichnianskyi, Kamianska Sich, Shatskyi) did not have the necessary information on their official websites, but we managed to find this information in third-party sources.

By tabulating the data and making calculations according to the methodology, 26 parks were conditionally divided into 6 groups, depending on the correspondence of the actual areas of functional zones to the calculated (normative) ones.

Group 1 ("Azov-Sivash", "Azov", "Syniogora", "Carpathian", "Verkhovyna", "Ichnianskyi") [7, 8, 9, 10, 11, 12] includes 6 NNPs with satisfactory protected areas. Among them, Azov-Sivash is the leader in terms of the protected area (75.2% of the total park area), Ichnianskyi is the leader in terms of the area of the regulated recreation zone (75.8% of the total park area), and Syniogora NNP has the closest to the normative functional zones (Fig. 1). Their location is somewhat unusual - the protected area is located on the border of the NNP, but given that it is the area adjacent to the top of the mountain range, the distribution of functional zones is logical.

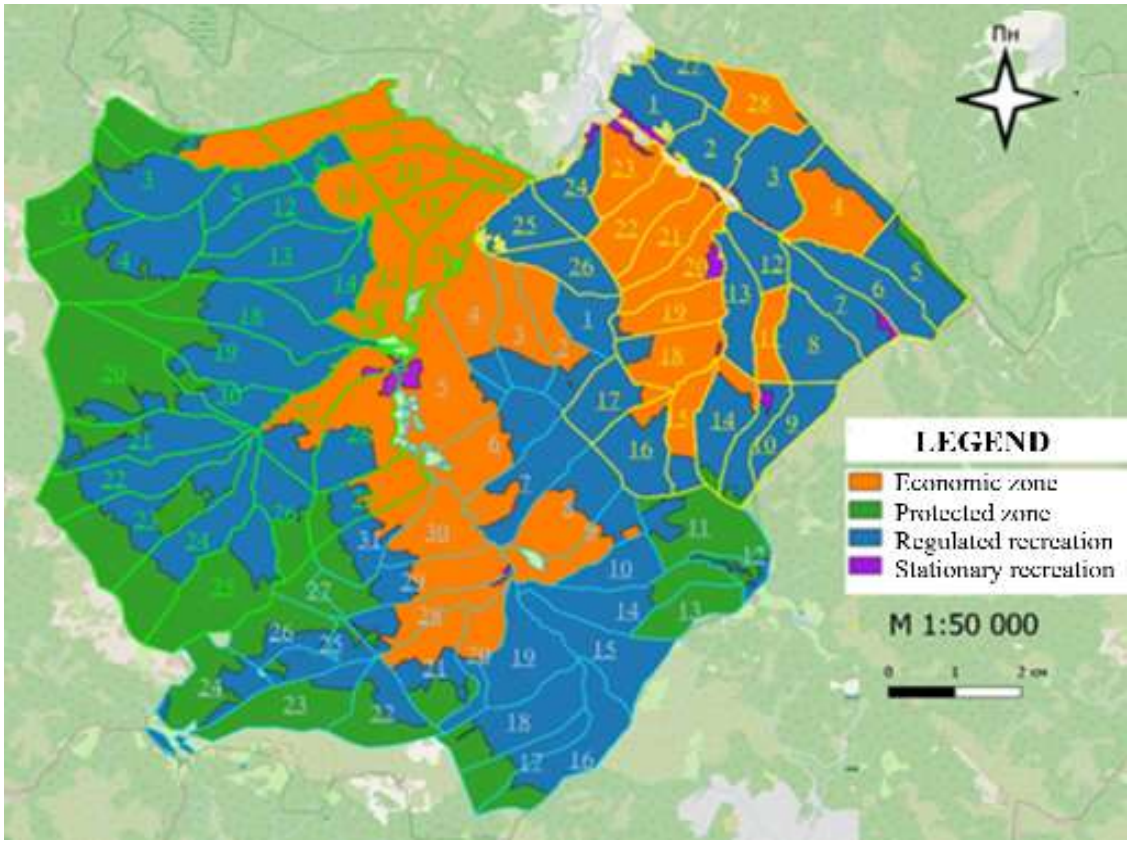


Fig. 1 – Example of group 1. Functional zoning of the Syniogora National Park [10]

The next group 2 includes 2 NNPs "Galytskyi" and "Skole Beskydy" [13, 14], which have close to satisfactory areas of functional zones. The zoning of the Galytskyi Park cannot be called completely satisfactory due to the smaller than the normative area of the regulated recreation zone (30% instead of 35+% of the total park area) and slightly larger than the normative area of the economic zone (35.1% instead of 15-35% of the total park area). The areas of the protected zone and the regulated recreation zone correspond to the normative ones, but the area of the stationary recreation zone is overestimated (40.9% instead of 15-35% of the total area of the park (Fig. 2).

Group 3 is characterized by less satisfactory zoning, which is less close to the normative areas of functional zones and includes 5 parks ("Vyzhnytskyi", "Hetmanskyi", "Tuzly Estuaries", "Korolivski Beskydy", "Velykyi Luh"). [Two of them exceed the area of the economic zone ("Tuzly Estuaries" - 46.3%, "Velykyi Luh" - 44.6%). The Hetmansky NNP is characterized by a large area of the regulated recreation zone - 80.7% of the total area and an insufficient area of the protected zone - 16.2% (Fig. 3.). The NNP "Vyzhnytskyi" also has an insufficient protected area - 18.7%, but the zones of regulated recreation and economic use meet the normative values (44.4% and 30.3%, respectively). The Korolivski Beskydy NNP is characterized by a significant excess of the area of the stationary recreation zone (42.5% instead of 10% of the total park area).

Group 4 includes 5 NNPs ("Hutsulshchyna", "Dvorichanskyi", "Desniansko-Starohutskyi", "Sviati Hory", "Tsumanska Pushcha"), [20, 21, 22, 23, 24] whose zoning is classified as "far from satisfactory". In the case of four parks, the area of the economic zone exceeds the normative values ("Hutsulshchyna" - 50.7%, "Dvorichanskyi" - 57.2%, "Desniansko-Starohutskyi" - 36.0%, "Tsumanska Pushcha" - 69.7%) (Fig. 4). The areas of regulated recreation in the Desniansko-Starohutskyi and Hutsulshchyna NNPs are satisfactory (48.2% and 41.2% respectively), in the Sviati Hory Park this area is 79.4%, and in the Tsumanska Pushcha NNP this area is completely absent. Other areas of the functional zones of the three NNPs are smaller than the normative ones (Protected zones: "Dvorichanskyi - 17.5%, Desniansko-Starohut

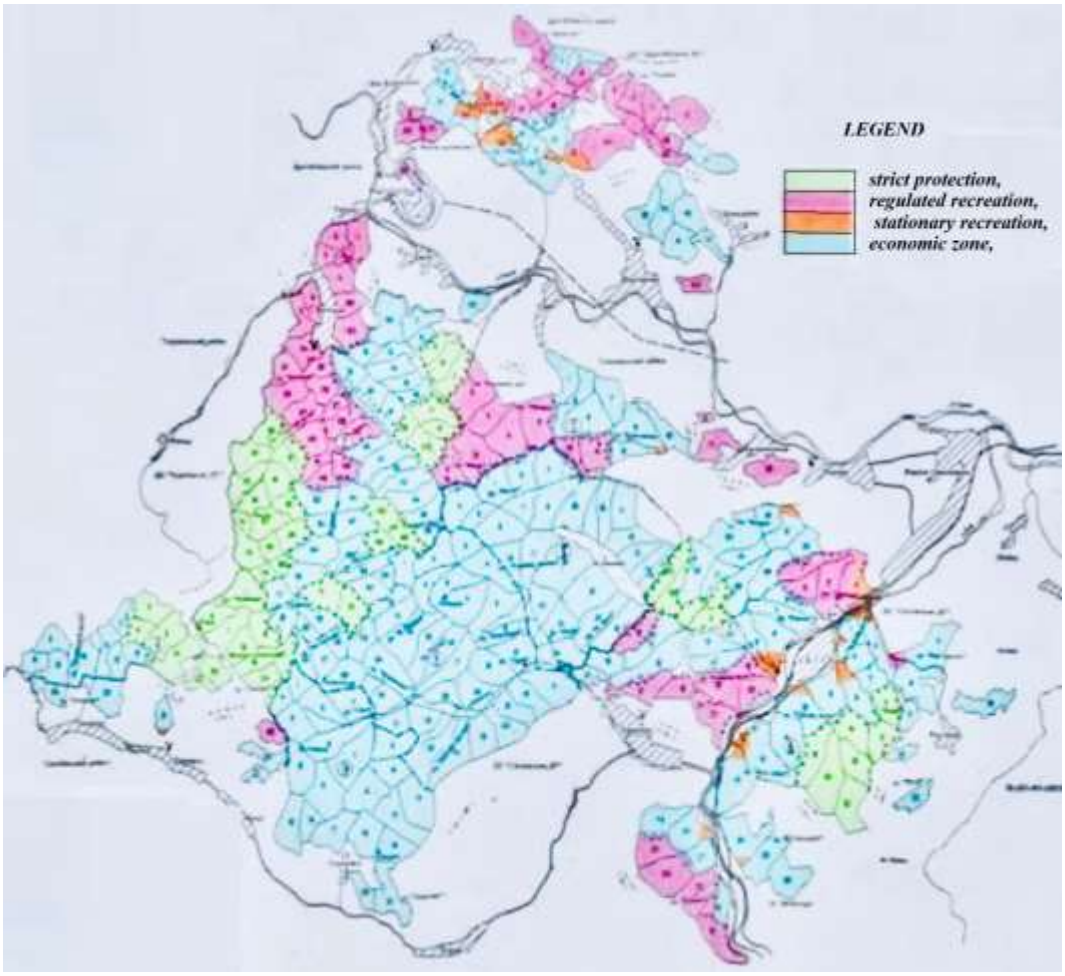


Fig. 2 – Example of group 2. Functional zoning of Skole Beskydy National Park [14]

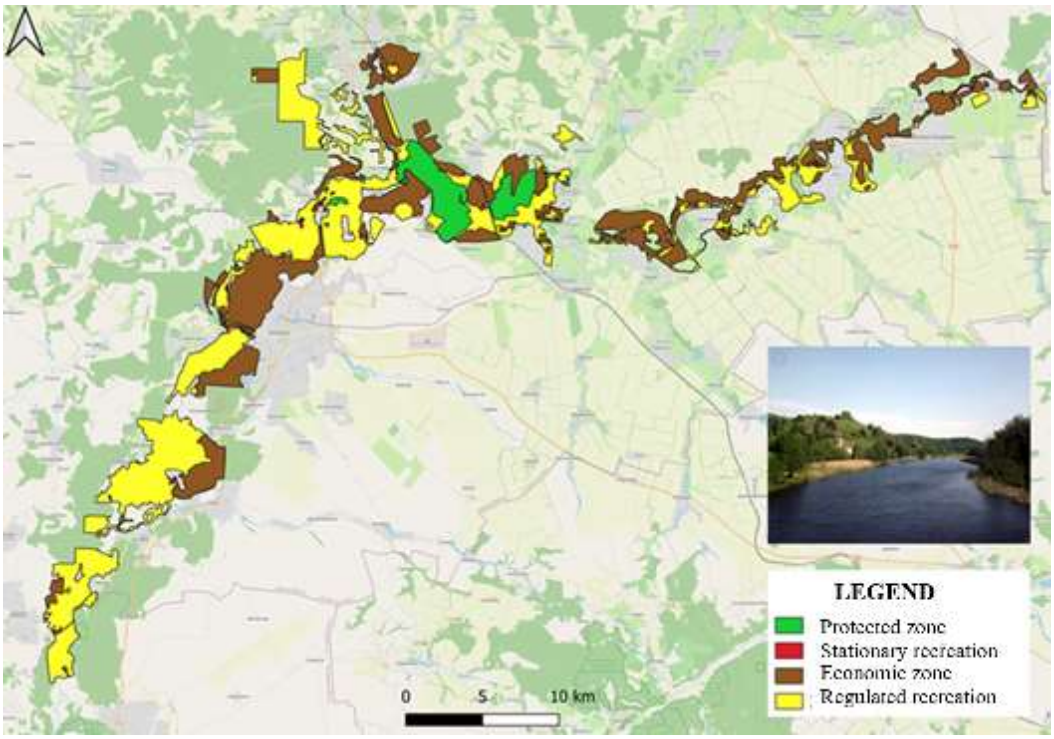


Fig. 3 – Example of Group 3: Functional zoning of the Hetmanskyi National Park. [16]

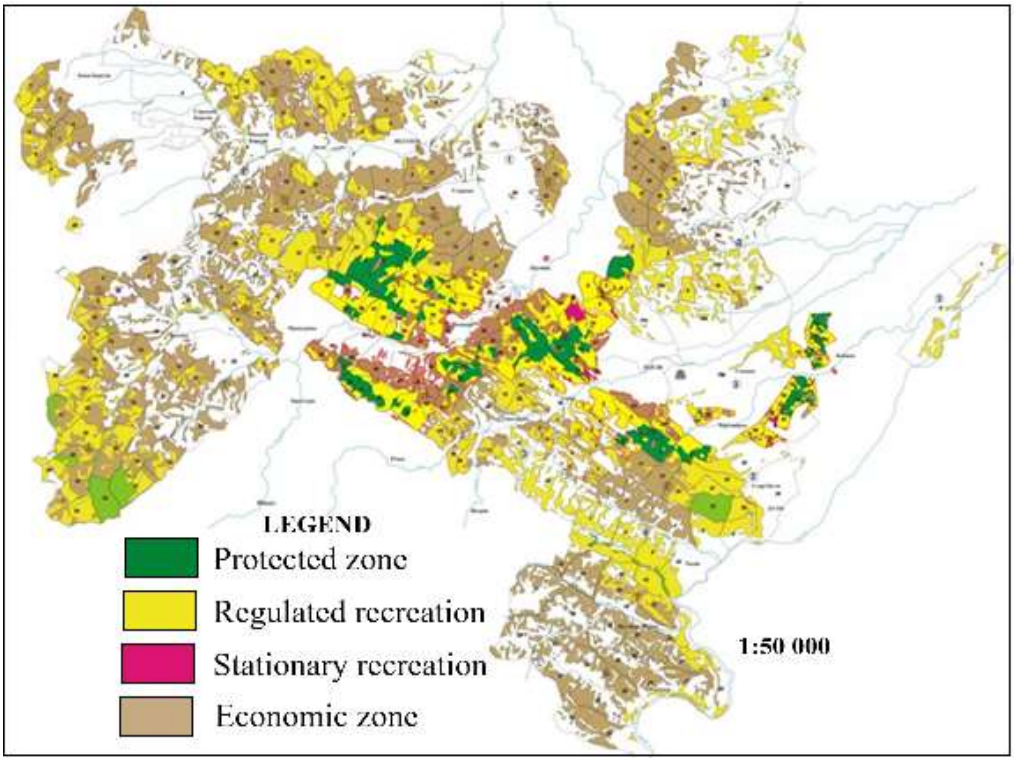


Fig. 4 – Example of group 4. Functional zoning of the Hutsulshchyna NNP [20].

skyi - 15.7%, Sviati Hory - 6.5%, Hutsulshchyna - 7.7%, instead of 20% of the total park area. And the area of regulated recreation "Dvorichansky" - 23.0% instead of 35+%).

The following 4 parks ("Gomilshanski forests", "Zalissia", "Podilski Tovtry", "Uzhanskyi") [25, 26, 27, 28] are grouped into the 5th group and are characterized by a complete discrepancy between the actual zoning areas and the normative ones (Fig. 5). All three parks have a significant excess of the area of the economic zone ("Gomilshanski forests" - 75.5%, "Zalissia" - 71.1%, "Podilski Tovtry" - 94.1%, "Uzhanskyi" - 70.7%) at the expense of other functional zones.

The last group of 4 parks (Synevyr, Yavorivskyi, Kamianska Sich, Shatskyi) [29, 30, 31, 32] cannot be analyzed due to the difference in the total area provided in open sources and on official websites and the calculated area obtained by summing all functional zones.

All the information described in this section is summarized in Tables 2 and 3.

Most of the National Nature Parks of Ukraine have not published numerical information on the areas of functional zones, and normative values were calculated for them based on the published information on the total area of the parks' territories. The resulting calculations are presented in Table 4.

Data visualization is a key tool for a deeper understanding of spatial processes, especially in the field of ecology and nature protection. In the context of analyzing the zoning of Ukraine's national nature parks, graphical representation of information allows not only to summarize significant amounts of spatial data but also to make them accessible for interpretation by both specialists and a wide audience. Visualization helps to identify imbalances in the distribution of functional areas. As part of the thesis, an interactive map was created on the ArcGIS platform, which demonstrates the current state of zoning of all Ukrainian national parks. The first map created using the ArcGIS platform with points is the NNPs that provided information on zoning, depending on their geographical location (Fig. 6). The colors of the points provide information on the compliance of the areas of functional zones with the normative ones.

Map created using the ArcGIS platform with red triangles indicating the NNPs that did not provide information on zoning, depending on their geographical location (Fig. 7).

The analysis has shown that most of Ukraine's NNPs have problems with the quality of functional zoning. Satisfactory or close to satisfactory zoning prevails mainly in the Carpathian region and in the south of the country. Instead, the

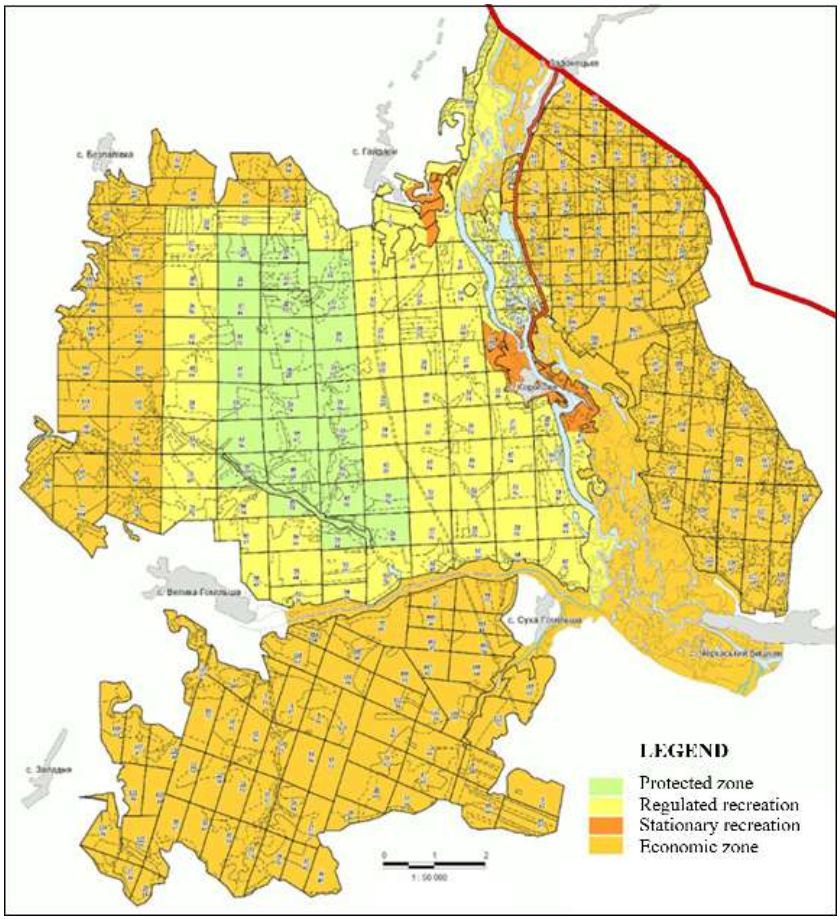


Fig. 5 – Example of group 5. Functional zoning of the NNP Gomilshanski forests [25].

Table 2

Symbols for Table 3

	Mismatch of the total area
	Not satisfactory at all
	Far from satisfactory
	Less close to satisfactory
	Close to satisfactory
	Satisfactory

Table 3

Comparison of the calculated (normative) and actual areas of the functional zones of the Ukrainian NNPs

№ №	Name of NPP	Park area, Total km²|ha	Protected zone 20%			Regulated recreation, >35%			Stationary recreation. 10%			Economic zone, 15-35%			
			real	%	norm	real	%	norm	real	%	norm	real	%	norm from	norm to
1	Azov-Sivash	52154	39231	**75,2**	10430	618	**1,2**	18254	49	**0,1**	5215	12256	**23,5**	7823	18254
2	Priazovsky	78126	16388	**21,0**	15625	33669	**43,1**	27344	40	**0,1**	7813	28029	**35,9**	11719	27344
3	Syniogora	10866	2187	**20,1**	2173	5452	**50,2**	3803	90	**0,8**	1087	3135	**28,9**	1630	3803
4	Carpathian	50495	11401	**22,6**	10099	25964	**51,4**	17673	96	**0,2**	5050	13033	**25,8**	7574	17673
5	**Verkhovinskyi**	12022	5917	**49,2**	2404	3609	**30,0**	4208	26	**0,2**	1202	2470	**20,5**	1803	4208
6	**Ichnyanskyi**	9666	2140	**22,1**	1933	7324	**75,8**	3383	35	**0,4**	967	166	**1,7**	1450	3383
7	Galytskyi	14684	5105	**34,8**	2937	4405	**30,0**	5139	14	**0,1**	1468	5160	**35,1**	2203	5139
8	Skole Beskids	35684	8350	**23,4**	7137	12596	**35,3**	12489	1427	**4,0**	3568	14594	**40,9**	5353	12489
9	Vyzhnytskyi	11238	2107	**18,7**	2248	4992	**44,4**	3933	745	**6,6**	1124	3394	**30,2**	1686	3933
10	Hetmanskyi	11673	1895	**16,2**	2335	9425	**80,7**	4086	115	**1,0**	1167	236	**2,0**	1751	4086
11	Tuzly estuaries	27865	10404	**37,3**	5573	4561	**16,4**	9753	55	**0,2**	2787	12893	**46,3**	4180	9753
12	Korolivski Beskydy	8997	2416	**26,9**	1799	2574	**28,6**	3149	3828	**42,5**	900	179	**2,0**	1350	3149
13	**Velykyi Luh**	16756	8104	**48,4**	3352	1172	**7,0**	5866	0	**0,0**	1676	7479	**44,6**	2514	5866
14	Hutsulshchyna	32248	2480	**7,7**	6450	13295	**41,2**	11287	130	**0,4**	3225	16343	**50,7**	4837	11287
15	Dvorichanskyi	3131	548	**17,5**	626	721	**23,0**	1096	70	**2,2**	313	1791	**57,2**	470	1096
16	Desnyansko-Starogutskyi	16214	2547	**15,7**	3243	7820	**48,2**	5675	2	**0,0**	1621	5844	**36,0**	2432	5675
17	Sviati Hory	40448	2648	**6,5**	8090	32098	**79,4**	14157	1894	**4,7**	4045	3808	**9,4**	6067	14157
18	Tsumanska Pushcha	33 475	9 854	**29,4**	6695	0	**0,0**	11716	300	**0,9**	3348	23320	**69,7**	5021	11716
19	Gomilshanski forests	14314	1022	**7,1**	2827	1380	**9,6**	4947	1100	**7,7**	1413	10811	**75,5**	2120	4947
20	Zalissia	14836	2511	**16,9**	2967	1521	**10,3**	5193	250	**1,7**	1484	10552	**71,1**	2225	5193
21	Podilski Tovtry	261315	2282	**0,9**	52263	12961	**5,0**	91460	208	**0,1**	26132	245843	**94,1**	39197	91460
22	Uzhanskyi	46146	5224	**11,3**	9229	8203	**17,8**	16151	99	**0,2**	4615	32620	**70,7**	6922	16151
23	Sinevyr	40777	5840	**14,3**	8155	21377	**52,4**	14272	8	**0,0**	4078	390	**1,0**	6117	14272
24	Yavorivskyi	7108	1030	**14,5**	1421	1428	**20,1**	2487	40	**0,6**	710	415	**5,8**	1066	2487
25	**Kamianska Sich**	12261	2942	**24,0**	2452	3407	**27,8**	4291	56	**0,5**	1226	2319	**18,9**	1839	4291
26	**Shatskyi**	32 515	5446	**16,7**	6503	12836	**39,5**	11380	1028	**3,2**	3252	29667	**91,2**	4877	11380

Table 4

Estimated normative zoning areas for NNPs without published information

№№	Name of NPP	Park area, Total km²|ha	Protected zone 20%	Regulated recreation, >35%	Stationary recreation. 10%	Economic zone, From 15% to35%	
1	Svyatoslav's Beloberezhye	35223	7045	12328	3522	5283	12328
2	Beloozerskyi	7014	1403	2455	701	1052	2455
3	Boykivshchyna	12240	2448	4284	1224	1836	4284
4	Buzky Gard	6138	1228	2148	614	921	2148
5	Golosiivskyi	10988	2198	3846	1099	1648	3846
6	Dermansko-Ostrozkyi	5448	1090	1907	545	817	1907
7	Dzharylgatskyi	10000	2000	3500	1000	1500	3500
8	Dniester Canyon	10829	2166	3790	1083	1624	3790
9	Enchanted Land	6101	1220	2135	610	915	2135
10	Karmelukove Podillia	16518	3304	5781	1652	2478	5781
11	Kremenets Mountains	6951	1390	2433	695	1043	2433
12	Kreminna forests	7269	1454	2544	727	1090	2544
13	Small Polissya	8762	1752	3067	876	1314	3067
14	Mezinskyi	31035	6207	10862	3104	4655	10862
15	Meotis	20 720	4144	7252	2072	3108	7252
16	Nyzhniodniprovskyi	80177	16035	28062	8018	12027	28062
17	Nyzhniodnistrovskyi	21511	4302	7529	2151	3227	7529
18	Nyzhniosulskyi	18635	3727	6522	1864	2795	6522
19	Nobel	25318	5064	8861	2532	3798	8861
20	Oleshky sands	11 671	2 334	4 085	1 167	1 751	4 085
21	Northern Podillia	15587	3117	5455	1559	2338	5455
22	Pripyat-Stokhid	39315	7863	13760	3932	5897	13760
23	Pyriatynskyi	12028	2406	4210	1203	1804	4210
24	Slobozhanskyi	5244	1049	1835	524	787	1835
25	Khotynskyi	9446	1889	3306	945	1417	3306
26	Cheremoskyi	7117	1423	2491	712	1068	2491

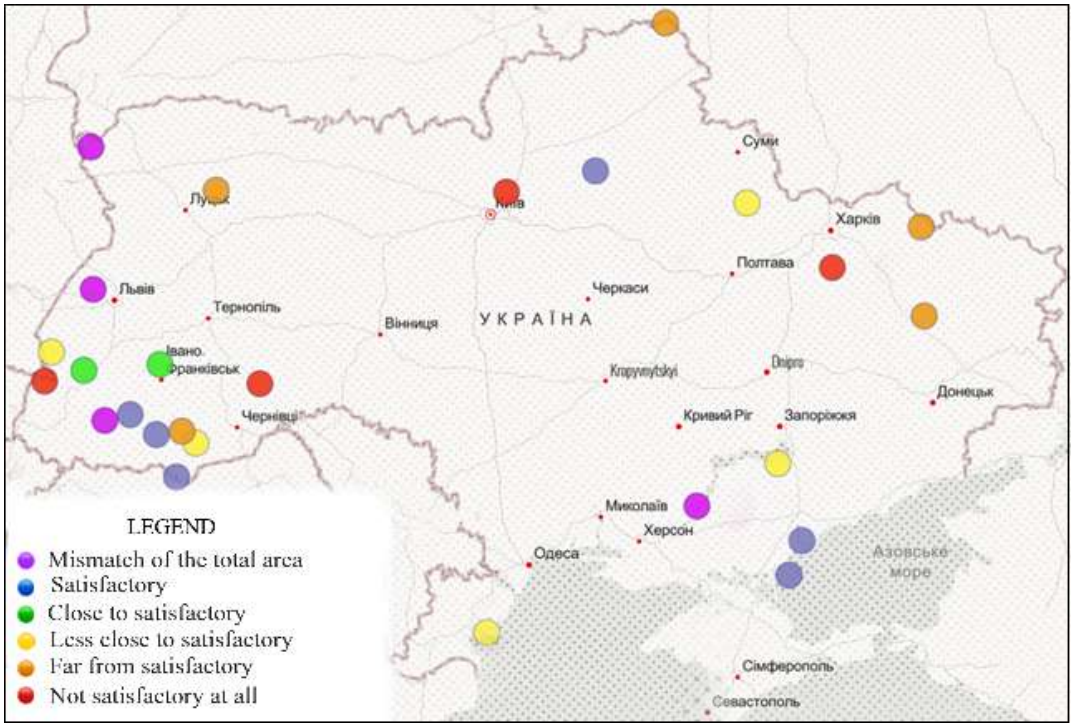


Fig. 6 – Map of the spatial location of NPPs with different levels of compliance with zoning requirements according to DBN B.2.2-12:2019

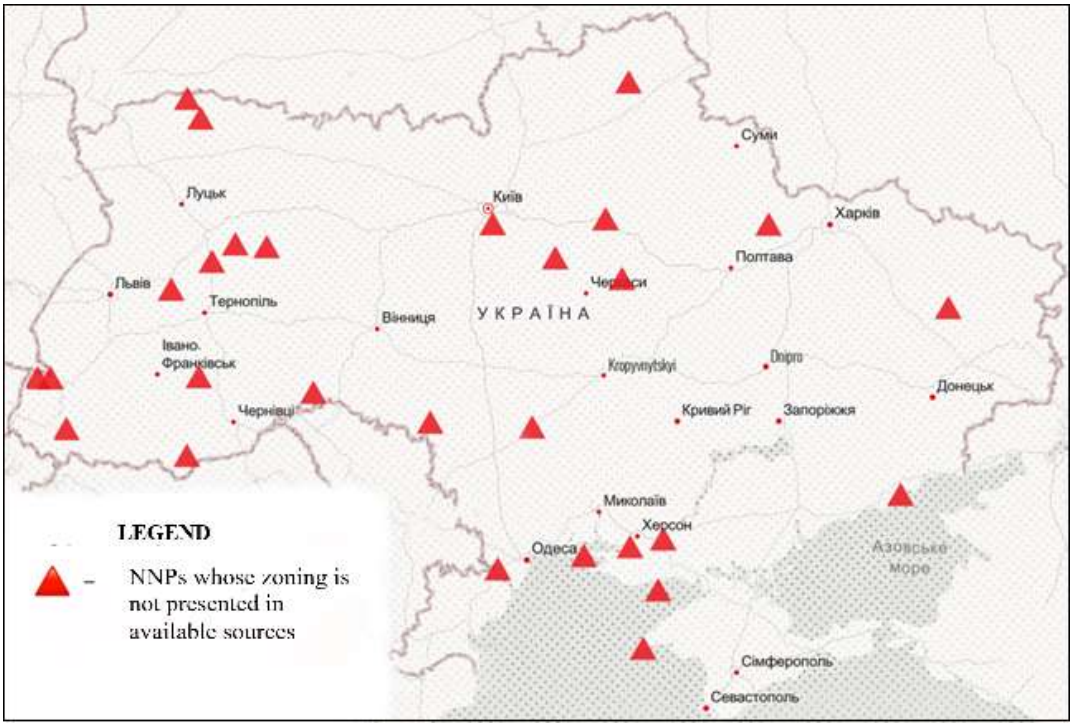


Fig. 7 – Map of the spatial location of NNPs whose zoning is not presented in available sources

central and eastern regions have a significant number of parks with unsatisfactory or very unsatisfactory zoning.

In addition to visual information, the created interactive map allows you to find out about the real (if any) and estimated (regulatory) zoning by clicking on any of the symbols responsible for each national park. Clicking on the mark opens a window with the name of the NNP and a fragment from Tables 1, 2 or 3, respectively, for each object. An example of a window with information can be seen in Fig. 8.

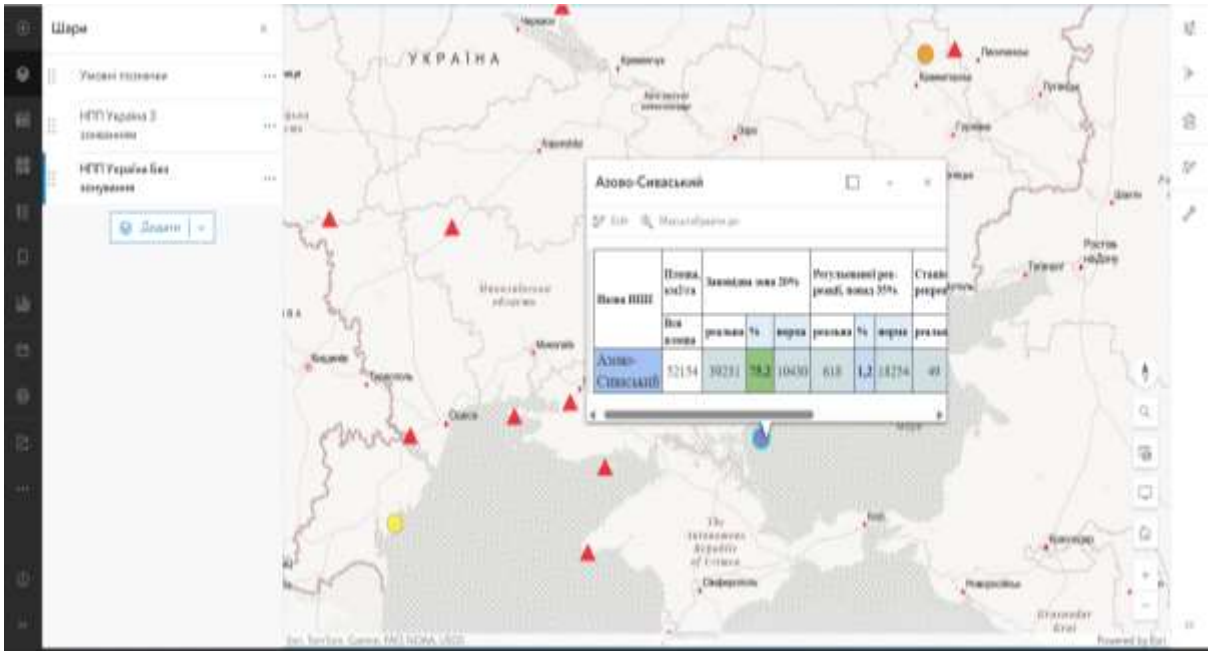


Fig. 8 – Example of a "window" with information on the real and standard areas of functional zones of each park

Conclusions

The study found that the functional zoning of Ukraine's national nature parks often does not meet the established regulatory requirements, which negatively affects the effectiveness of natural area protection. International experience, in particular the practice of Canada and UNESCO biosphere reserves, demonstrates the importance of not only formal zoning, but also real compliance with the regimes of use of the territories, systematic monitoring and adaptive management.

Based on a comparative analysis of the existing zoning in all the National Nature Parks of Ukraine and the normative areas of functional zones according to DBN B.2.2-12:2019, 26 parks were conditionally divided into 6 groups according to the level of compliance of zoning with the standards, except for four parks where discrepancies were found. Six parks were rated as "Satisfactory", 2 as "Close to Satisfactory", 5 as "Less Close to Satisfactory", 5 as "Far from Satisfactory", and 4 as "Completely Unsatisfactory".

An interactive map was developed to visualize the results.

The situation in each park depends on the natural conditions, the level of recreational pressure, and the socio-economic context, but having clear and reasonable zoning is essential to achieve the main goal of preserving ecosystems, ensuring sustainable use of natural resources, and developing ecotourism.

Conflict of Interest

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

***Authors Contribution*:** all authors have contributed equally to this work.

In this study, generative artificial intelligence was not used.

References

1. Aulavik National Park. Zoning in National Parks. (2025, May 07). *Government of Canada*. Retrieved from https://parks.canada.ca/pn-np/nt/aulavik/gestion-management/plan/plan2/sec6
2. Song, X., Wu, V., Chen, S., Wang, L., ... Liu, N. (2024). A framework for functional zoning of national parks based on biocultural diversity assessment. *Global Ecology and Conservation, 51*, e02877. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02877
3. Ferretti-Gallon, K.., Griggs, E., Shrestha, A., & Wang, G. (2021).National parks best practices: Lessons from a century's worth of national parks management. *International Journal of Geoheritage and Parks*. 9(3), 335-346. https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2021.05.004

4. Zhuang, H., Xia, W., Zhang, C., Li, Y., Wanghe, K., Chen, J., Luan, X., Wang, W. (2021). Functional zoning of China's protected area needs to be optimized for protecting giant panda. *Global Ecology and Conservation, 25*, e01392. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01392
5. On approval of the DBN B.2.2-12:2019 Planning and development of territories. (2019). Order of the Ministry of Regional Development, Construction, Housing and Communal Services of Ukraine № 104. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0104858-19#Text (in Ukrainian)
6. On the Nature Reserve Fund of Ukraine. (1992). Law of Ukraine № 2456-XII as of April 4. 2025. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text (in Ukrainian)
7. Onyshchenko, V.A., & Andrienko, T.L. (Eds.). (2012). Phytodiversity of nature reserves and national nature parks of Ukraine. P. 2. National nature parks Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/272999084_Fitoriznomanitta_zapovidnikiv_i_nacionalnih_prirodnih_parkiv_Ukraini_C_2_Nacionalni_prirodni_parki_Phytodiversity_of_nature_reserves_and_national_nature_parks_of_Ukraine_P_2_National_nature_parks (in Ukrainian)
8. National Nature Park "Pryazovskyi". (2025, May 07). Ukrainian Environmental Protection Group. Retrieved from https://uncg.org.ua/npp-pryazovsky/ (in Ukrainian)
9. Syniogora National Nature Park. About the park. (2025, May 07). Retrieved from https://synyogora-park.in.ua/pro-nas/pro-park/ (in Ukrainian)
10. Carpathian National Nature Park. About the park. (2025, May 10). Retrieved from https://karpatskyi-park.in.ua/pro-nas/pro-park/ (in Ukrainian)
11. Verkhovynskyi National Nature Park. Main. (2025, May 07). Retrieved from https://verkhovynskyi-park.in.ua/ (in Ukrainian) (in Ukrainian)
12. Ichnianskyi National Nature Park. (2025, May 10). Retrieved from https://wownature.in.ua/parky-i-zapovidnyky/ichnianskyy-natsionalnyy-pryrodnyy-park/ (in Ukrainian)
13. Galician National Nature Park. (2025, May 10). *Ukraine Incognita*. Retrieved from https://ukrainaincognita.com/galickij-nacionalnij-prirodnij-park (in Ukrainian)
14. Skole Beskydy National Nature Park. About the park. (2025, May 07). Retrieved from https://skolebeskydy-park.in.ua/pro-nas/pro-park/ (in Ukrainian)
15. Stratij, N. (2017). Functional Zoning of National Nature Park "Vizhnitsky" and Forest Productivity in the Zone Context. *Scientific Bulletin of UNFU, 27*(1), 88–91. https://doi.org/10.15421/40270119
16. Functional zoning of the territory and protection regime. Hetman National Nature Park. (2025, May 07). Retrieved from http://getmanski.info/index.php/ukr/territories/zonuvannya-teritoriji/zonuvannya-ta-rozpodil/441-funktsionalne-zonuvannya-teritoriji-ta-rezhim-okhoroni (in Ukrainian)
17. Tuzly Estuaries National Park. Home. (2025, May 10). Retrieved from https://nnationalnaturepar.wixsite.com/tuzlovskilymany (in Ukrainian)
18. Korolivski Beskydy" National Nature Park. About the park. (2025, May 10). Retrieved from: https://korolivskibeskydy.org/pro-nas/pro-park/ (in Ukrainian)
19. Velykyi Luh National Nature Park. (2025, May 07). Vasylivka District State Administration, Zaporizhzhia region. Retrieved from https://vasrda.gov.ua/nacionalnij-prirodnij-park-velikij-lug-14-00-52-12-01-2022/ (in Ukrainian)
20. Hutsulshchyna National Nature Park. (2025, May 07). Retrieved from https://nnph.kosiv.org.ua/#google_vignette (in Ukrainian)
21. Dvorichanskyi National Nature Park. (2025, May 07). inside-ua. Retrieved from https://inside-ua.com/places/dvorichanskyi-npp (in Ukrainian)
22. Desniansko-Starohutskyi National Nature Park. Home. (2025, May 07). Retrieved from http://www.nppds.inf.ua/ (in Ukrainian)
23. Sviati Hory National Nature Park. (2025, May 10). Main. Retrieved from https://ukrainaincognita.com/bogorodychne-slov039yanskyi-raion-2/natsionalnyi-pryrodnyi-park-svyati-gory (in Ukrainian)
24. Kivertsi National Nature Park "Tsumanska Pushcha". (2025, May 07). Retrieved from http://eco.voladm.gov.ua/category/kivercivskiy-nacionalniy-prirodniy-park-cumanska-puscha/ (in Ukrainian)
25. Gomilshanski Forests National Nature Park. (2025, May 07). Ukraine Incognita. Retrieved from https://ukrainaincognita.com/siverskyi-donets/natsionalnyi-pryrodnyi-park-gomilshanski-lisy (in Ukrainian)
26. Zalissia National Park. About the park. (2025, May 07). Retrieved from https://zalissia-park.in.ua/pro-nas/pro-park/ (in Ukrainian)
27. National Nature Park "Podilski Tovtry". Project of territory organization. (2025, May 07). Retrieved from https://www.npptovtry.org.ua/category/pro-park/zagalna-informatsiya/proekt-organizatsiyi-terytoriyi/ (in Ukrainian)
28. Velykyi Luh National Nature Park. (2025, May 07). Vasylivka District State Administration, Zaporizhzhia region. Retrieved from https://vasrda.gov.ua/nacionalnij-prirodnij-park-velikij-lug-14-00-52-12-01-2022/#main_content (in Ukrainian)
29. Synevyr National Nature Park. Home. (2025, May 07). Retrieved from https://synevyr-park.in.ua/ (in Ukrainian)
30. Yavorivskyi Park. (2025, May 07). Retrieved from https://yavorpark.in.ua/ohorona-ta-vidtvorennya/ (in Ukrainian)
31. Kamianska Sich National Nature Park. About us. (2025, May 07). Retrieved from https://www.npp-sich.org.ua/pro-nas/ (in Ukrainian)
32. Shatskyi National Nature Park. (2025, May 07). Retrieved from https://shnp.forest.gov.ua/ (in Ukrainian)

Submission received: 22.09.2025 / Revised: 30.10.2025 / Accepted: 11.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

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

О. О. ПАРХОМЕНКО,
магістрант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-mail: olyaparkhom060804@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-9968-0393
[1]*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,*
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

ОЦІНКА ДОТРИМАННЯ НОРМАТИВНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ ЗОНУВАННЯ НАЦІОНАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ПАРКІВ В УКРАЇНІ

Мета. Оцінити відповідність фактичного функціонального зонування територій національних природних парків України чинним нормативним вимогам.

Методи. Системний аналіз, статистичні, картографічне моделювання.

Результати. Проаналізовано світовий досвід зонування, здійснено порівняльний аналіз фактичного зонування всіх 26 НПП України з державними будівельними нормами ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій», згідно з якими кожен парк повинен мати чітко визначену частку площа зон: заповідної, регульованої рекреації, стаціонарної рекреації та господарської зони. Визначено 6 груп парків за ступенем відповідності зонування нормативам,: «Задовільно» - 6, «Наближене до задовільного» - 2, «Менш наближене до задовільного»- 5, «Далеке від задовільного» - 5, «Зовсім незадовільне» - 4. Оцінка зонування у 4 НПП виявилась неможливою із-за різниці даних у офіційних джерелах. Встановлено, що функціональне зонування 70 % національних природних парків України не відповідає встановленим нормативним вимогам. Створено інтерактивну карту зонування НПП України; Запропоновано рекомендації щодо удосконалення зонування.

Висновки. Невідповідність функціонального зонування встановленим нормативним вимогам негативно впливає на ефективність охорони природних територій. Ситуація в кожному парку залежить від природних умов, рівня рекреаційного тиску, соціально-економічного контексту, проте мати чітке й обґрунтоване зонування вкрай важливо для досягнення головної мети – збереження екосистем, забезпечення сталого використання природних ресурсів та розвитку екологічного туризму.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *Національний природний парк, функціональне зонування, норматив, зона суворої охорони, зона регульованої рекреації, зона стаціонарної рекреації, господарська зона, інтерактивна карта*

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису. Крім того, автори повністю дотримувалися етичних норм, включаючи уникнення плагіату, фальсифікації даних та дублювання публікацій.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Aulavik National Park. Zoning in National Parks *Government of Canada*. URL: https://parks.canada.ca/pn-np/nt/aulavik/gestion-management/plan/plan2/sec6 (дата звернення: 07.05.2025).
2. Song, X., Wu, V., Chen, S., Wang, L. A framework for functional zoning of national parks based on biocultural diversity assessment. *Global Ecology and Conservation*. 2024. Vol. 51. e02877. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02877
3. Ferretti-Gallon, K.., Griggs, E., Shrestha, A., & Wang, G. National parks best practices: Lessons from a century's worth of national parks management. *International Journal of Geoheritage and Parks*. 2021. URL: https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2021.05.004
4. Zhuang, H., Xia, W., Zhang, C., Li, Y., … Wang, W. Functional zoning of China's protected area needs to be optimized for protecting giant panda. *Global Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 25. P. e01392. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01392
5. Про затвердження ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій: наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 26.04.2019 № 104. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0104858-19#Text/ (дата звернення: 06.05.2025).
6. Про природно-заповідний фонд України: Закон України від 16.06.1992 № 2456-XII: станом на 4 квіт. 2025 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text (дата звернення: 08.05.2025).
7. Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч. 2. Національні природні парки URL: https://www.researchgate.net/publication/272999084_Fitoriznomanitta_zapovidnikiv_i_nacionalnih_prirodnih_parkiv_Ukraini_C_2_Nacionalni_prirodni_parki_Phytodiversity_of_nature_reserves_and_national_nature_parks_of_Ukraine_P_2_National_nature_parks (дата звернення: 06.05.2025).

8. Національний природний парк «Приазовський». Українська природоохоронна група. URL: https://uncg.org.ua/npp-pryazovsky/ (дата звернення: 07.05.2025).
9. Національний природний парк “Синьогора” Про парк. URL: https://synyogora-park.in.ua/pro-nas/pro-park/ (дата звернення: 07.05.2025).
10. Карпатський національний природний парк. Про парк. URL: https://karpatskyi-park.in.ua/pro-nas/pro-park/ (дата звернення: 10.05.2025).
11. Національний природний парк "Верховинський". URL: https://verkhovynskyi-park.in.ua/ (дата звернення: 07.05.2025).
12. Ічнянський національний природний парк. URL: https://wownature.in.ua/parky-i-zapovidnyky/ichnianskyy-natsionalnyy-pryrodnyy-park/ (дата звернення: 10.05.2025).
13. Галицький національний природний парк Україна *Інкогніта.* URL: https://ukrainaincognita.com/galickij-nacionalnij-prirodnij-park (дата звернення: 10.05.2025).
14. Національний природний парк “Сколівські Бескиди”. Про парк. URL: https://skolebeskydy-park.in.ua/pro-nas/pro-park/ (дата звернення: 07.05.2025).
15. Stratij, N. Functional Zoning of National Nature Park "Vizhnitsky” and Forest Productivity in the Zone Context *Науковий вісник НЛТУ України*, 2017, т. 27, № 1. С. 88–91. https://doi.org/10.15421/40270119
16. Гетьманский національний природний парк. URL: http://getmanski.info/index.php/ukr/territories/zonuvannya-teritoriji/zonuvannya-ta-rozpodil/441-funktsionalne-zonuvannya-teritoriji-ta-rezhim-okhoroni (дата звернення: 07.05.2025).
17. НПП "Тузлівські лимани". Головна. URL: https://nnationalnaturepar.wixsite.com/tuzlovskilymany (дата звернення: 10.05.2025).
18. Королівські Бескиди національний природний парк. Про парк. URL: https://korolivskibeskydy.org/pro-nas/pro-park/ (дата звернення: 10.05.2025).
19. Національний природний парк «Великий Луг». Василівська РДА, Запорізька область. URL: https://vasrda.gov.ua/nacionalnij-prirodnij-park-velikij-lug-14-00-52-12-01-2022/ (дата звернення: 07.05.2025).
20. Національний природний парк «Гуцульщина». Головна. URL: https://nnph.kosiv.org.ua/#google_vignette (дата звернення: 07.05.2025).
21. Дворічанський національний природний парк. inside-ua. URL: https://inside-ua.com/places/dvorichanskyi-npp (дата звернення: 07.05.2025).
22. Головна. Деснянсько-Старогутський національний природний парк URL: http://www.nppds.inf.ua/ (дата звернення: 07.05.2025).
23. Національний природний парк “Святі гори”. Головна. URL: https://ukrainaincognita.com/bogorodychne-slov039yanskyi-raion-2/natsionalnyi-pryrodnyi-park-svyati-gory (дата звернення: 10.05.2025).
24. Ківерцівський національний природний парк «Цуманська пуща». Головна. URL: http://eco.voladm.gov.ua/category/kivercivskiy-nacionalniy-prirodniy-park-cumanska-puscha/ (дата звернення: 07.05.2025).
25. “Гомільшанські ліси” національний природний парк. Україна Інкогніта. URL: https://ukrainaincognita.com/siverskyi-donets/natsionalnyi-pryrodnyi-park-gomilshanski-lisy (дата звернення: 07.05.2025).
26. Національний парк "Залісся". URL: https://zalissia-park.in.ua/pro-nas/pro-park/ (дата звернення: 07.05.2025).
27. Національний природний парк “Подільські Товтри”. Проект організації території. URL: https://www.npptovtry.org.ua/category/pro-park/zagalna-informatsiya/proekt-organizatsiyi-terytoriyi/ (дата звернення: 07.05.2025).
28. Національний природний парк «Великий Луг» URL: https://vasrda.gov.ua/nacionalnij-prirodnij-park-velikij-lug-14-00-52-12-01-2022/#main_content (дата звернення: 07.05.2025).
29. Національний природний парк "Синевир". URL: https://synevyr-park.in.ua/ (дата звернення: 07.05.2025).
30. Яворівський НПП. Служба державної охорони. URL: https://yavorpark.in.ua/ohorona-ta-vidtvorennya/ (дата звернення: 07.05.2025).
31. Національний природний парк “Кам’янська Січ”. Про нас. URL: https://www.npp-sich.org.ua/pro-nas/ (дата звернення: 07.05.2025).
32. Шацький національний природний парк. URL: https://shnp.forest.gov.ua/ (дата звернення: 07.05.2025).

Отримано: 22.09.2025 / Переглянуто: 30.10.2025 / Прийнято: 10.11.2025 / Опубліковано: 30.12.2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-16
UDC (УДК): 711.4:712.25(474.3)

M. BIHUŇOVÁ, PhD, Assist. prof.,
Institute of Landscape architecture, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering,
e-mail: maria.bihunova@uniag.sk ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1826-1172
Slovak University of Agriculture in Nitra,
Tulipánová 7, Nitra 949 01, Slovakia

A. BREMANE,
Student,
e-mail: annijabremane@inbox.lv ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-8413-8661
Latvia University of Life Sciences and Technologies,
Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001, Latvia

LANDSCAPE ARCHITECTURAL PROPOSAL OF THE LEISURE PATH ALONG THE RIVER GAUJA IN LATVIA

Purpose. To propose the recreational educational trail for the public along the river Gauja.
Methods. Field, landscape and architectural proposal.
Results. The recreational educational trail will lead along riverside and has a start point at an active leisure park ‘’Rāmkalni’’, about 40 km away from the capital of Latvia- Riga and end in Sigulda, about 53 km away from Riga. The planned route includes 8 stops who are currently separated and don’t have a connecting route yet. For the trails and stairs in places of terrain changes, it is planned to use the wood of *Larix* trees, as it rots much more slowly than other trees. The topics of the informational boards in the planned trail are educational about: the trail, Gauja River, Gauja National park, geology of the cliffs, active leisure park ‘’Tarzāns’’, Sigulda city.
Conclusions. The landscape architectural proposal and design of the equipment is simple, minimalistic and natural shapes, with simple bench and information sign structures, mostly using wood material like wooden beams. Most of the places showcase the beauty of the picturesque Gauja Valley, some of them are also designed for outdoor activities.
KEYWORDS: *landscape, educational trail, leisure time, recreation in forest, Gauja river, Latvia*

Як цитувати: Bihuňová M., Bremane A. Landscape architectural proposal of the leisure path along the river Gauja in Latvia. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 217-223. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-16

In cites: Bihuňová, M., Bremane, A. (2025). Landscape architectural proposal of the leisure path along the river Gauja in Latvia. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (44), 217-223. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-16

Introduction

Latvia is a land of forests and wood – our ‘’green gold’’. Almost every Latvian resident is connected to forests, forestry and forest products in various ways. The forest is both deeply rooted in our cultural traditions and provides opportunities for spending free time and earning income. Wood has long been used in construction, making furniture and various household items, and since Latvia regained its independence, the forest sector has become one of the most influential in the national economy. In the development of rural regions of Latvia, the forest is one of the most important resources, providing a livelihood for more than 80 thousand people who work in various fields. To these should be added another 150 thousand Latvian private forest owners who earn irregular income from the forest [1].

Recent research frames forest recreation not as a luxury activity but as a widespread, soci-

© Bihuňová M., Bremane A., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

ally important and economically relevant use of forests [2].

In many European countries the forests are the most attractive areas and they are dominant for short term or long-term recreation of the inhabitants. They are also attractive as a place to visit for foreign visitors [8]. Latvia, a country with >50% forest cover, treats forests as a routine leisure space for walking, short hiking, and informal nature-based activities such as berry/mushroom picking [3, 4]. An important social driver of long-term demand for forest visits is early-life exposure. In nine-country European countries (Austria, Czech Republic, Switzerland, Germany, Denmark, France, Poland, Slovakia, and UK) frequent childhood forest visits and proximity to forest during upbringing is linked with much higher adult visitation rates later in life [5]. Also, more than 80% of Latvian residents regularly relax in the forest, playing sports, picking mushrooms or berries [1].

Educational/interpretive infrastructure is important for offering more complex experiences from the hiking. An eye-tracking study with school-aged youth on forest educational trails in Poland shows that visitors do look at interpretive boards, but attention is uneven. Large visual elements attract initial gaze, while dense text produces many fixations but lower sustained engagement. Overly cluttered layouts reduce comprehension. The educational boards on trails should prioritize simple visual hierarchies, concise explanations, and clear iconography in situ [6]. Other authors also emphasize that boards should be harmonious with the site and tell the story of the site [7].

Globally, protected areas – many of them forest-dominated – receive on the order of eight billion visits per year, generating hundreds of billions of dollars of direct in-country spending annually and indicating very high social demand for contact with semi-natural and natural environments [2].

Material and methodology

Although Latvia is a relatively small country in terms of territory, we have something to be proud of in terms of forests – Latvia is the fourth most forested country (approximately 53% of Latvia's territory is covered by forests) in Europe, only surpassed by Finland (77%), Sweden (76%), and Slovenia (63%).

Forests in Latvia are owned both publicly and privately. The state owns the largest share of the forest land, while private ownership is also significant. The state forests are managed by a state-owned enterprise, *Latvia's State Forests* (Latvijas Valsts Meži, LVM), which manages over 1 million hectares of forestland. Currently, more than 50 local tree and shrub species are found in Latvian forests, of which only nine play a decisive role in the formation of stands. According to statistical inventory data, in 2010, forest stands consisting of 2–3 tree species prevailed in the country – 54%. In second place, occupying 37% of all forest areas, are pure stands. Forest stands consisting of 4–5 tree species occupy 9%, but more than five tree species are found in one stand very rarely – only 0.2% of cases. The majority − 54% of Latvian forests are covered by deciduous trees, the remaining 46% − by coniferous trees [1].

Gauja National Park, established in 1973, is the largest and oldest national park in Latvia, covering over 900 square kilometers. It is renowned for its diverse landscapes, featuring dense forests, rivers, lakes, sandstone cliffs, caves, and valleys carved by the Gauja River. The park is a haven for nature lovers and outdoor enthusiasts, offering opportunities for hiking, cycling, and water sports. In addition to its natural beauty, Gauja National Park is rich in cultural heritage, with medieval castles like Turaida and Sigulda, ancient hillforts, and charming towns like Cēsis. The park is also home to many protected species of flora and fauna, making it an important conservation area. It's a popular destination for ecotourism, combining natural beauty with historical exploratation [9].

The planned route will lead along riverside and has a start point at an active leisure park ''Rāmkalni'', about 40 km away from the capital of Latvia- Riga and end in Sigulda, about 53 km away from Riga. The route along the river is a typical Vidzeme landscape- hilly and covered by trees- 53,8% of Latvia's territory is forested. Sigulda is one of the most picturesque towns in Latvia, thanks to its location next to river Gauja valley. Because of the reddish Devonian sandstone which forms steep rocks and caves on both banks of the river, Sigulda has been called the "Switzerland of Vidzeme".

Gauja River is the longest river entirely in Latvia, stretching about 452 kilometers (281 miles). It flows through the picturesque Gauja National Park, known for its stunning natural

landscapes, sandstone cliffs, caves, and dense forests. The river is popular for outdoor activities like canoeing, rafting, and hiking, especially in the scenic sections near Sigulda and Cēsis. Gauja has a rich history, with ancient settlements along its banks, making it a cultural as well as a natural treasure in Latvia [10].

Two castles standing at a shooting distance from each other – Sigulda Castle and Turaida Castle – are the first objects to be seen by travellers who have approached the primeval valley of the River Gauja. Events related to these castles date back to the 13th century when each bank of the River Gauja remained in the possession of different rulers – Riga Bishop and Order of Sword Brothers. Castle restoration was commenced in 1953 with the reconstruction of the castle tower. Sigulda New Castle is situated next to Sigulda Medieval Castle. It was erected by Duke Kropotkin in 1878 and it was rebuilt in 1936, still retaining the unique interior of national romanticism [11].

Results

Leisure path along the river Gauja in Latvia is located in Vidzeme, a region in Latvia known for river landscapes. The route develops along river Gauja, starting at an active leisure park ‘’Rāmkalni’’ and continuing until Sigulda and is in the territory of Gauja National Park (Fig. 1). The chosen route is located in Vidzeme, a region in Latvia known for river landscapes. The route develops along river Gauja, starting at an active leisure park ‘’Rāmkalni’’ and continuing until Sigulda and is in the territory of Gauja National Park. Intended length of the trail is 19 km, average time needed to finish the trail: 6-8 hours.

Fig. 1 – Localization of the educational trail [12]

The planned route consists of 8 stops which are currently separated. Most of the places show the beauty of the picturesque Gaujavalley, some of them are for active leisure as well. Sigulda provides many more tourist attraction spots, there are plenty of options for both active and passive leisure. The stops are:

1. ‘’Rāmkalni’’ active leisure park,
2. Ziedleju cliffs,
3. The Katlapu rock,
4. ‘’Ķeizarskats’’ (‘’The King’s View’’),
5. Adventure park ‘’Kaķīškalns’’,
6. Sigulda Bobsleigh and Luge track,
7. The Cane Park in Sigulda,
8. Laima clock at Sigulda train station.

There have been identified positive sides of the area, which includes: All stops in the planned route are accessible by car, so in case of accidents, there are possibilities to get help easily. Ķeizarskats already has a good infrastructure-wooden footbridges, information signs, trash bins etc. The chosen route is naturally very beautiful and appealing, thanks to the picturesque valley of Gauja and also easily walkable, as it consists of forest roads, surface along the river and asphalt roads which are in very good quality.

Negatives elements, which was identified are: Ziedleju cliff is getting ruined by visitors who carve names in the cliff, slowly making it smaller. Katlapu iezis, already a very popular

stop for tourists, tends to be quite polluted, as there are no trash bins in the area. In some spots it is difficult to access the river because of the branches carried together by the stream.

The landscape architectural proposal (Fig. 2) and design of the equipment is simple, minimalistic and natural shapes, with simple bench and information sign structures, mostly using wood material like wooden beams. Main inspiration textures- wood and rusted metal as references to Gauja National Park forests and the sandstone cliffs. For the trails and stairs in places of terrain changes, it is planned to use the wood of *Larix* trees, as it rots much more slowly than other trees. It is meant to keep the natural wooden texture shown to mix with the visual look of the river's bank- flowy and natural. Design elements are meant to be both educational and applicable for active leisure as well.

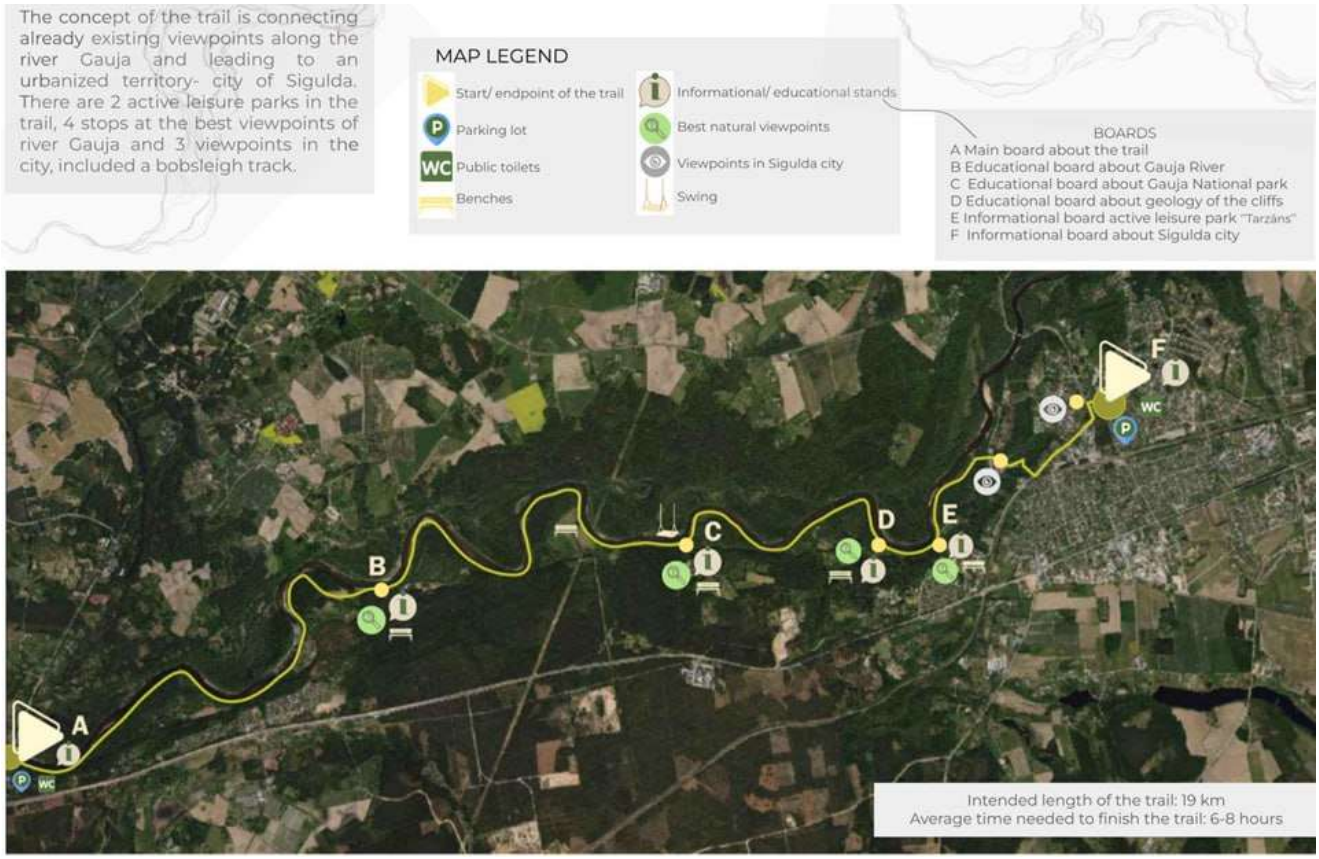


Fig. 2 – Landscape-architectural proposal of the educational trail [12]

The concept of the trail is connecting already existing viewpoints along the river Gauja and leading to an urbanized territory- city of Sigulda. There are 2 active leisure parks in the trail, 4 stops at the best viewpoints of river Gauja and 3 viewpoints in the city, included a bobsleigh track.

The topics of the informational boards in the planned trail are:

1. Main board about the trail,
2. Educational board about Gauja River,
3. Educational board about Gauja National park,
4. Educational board about geology of the cliffs,
5. Informational board active leisure park ‘’Tarzāns’’,
6. Informational board about Sigulda city.

The design elements which was proposed for this trail are swings, informational board and benches (Fig. 3). The swings are planned to be on top of the Katlapu iezis, giving the visitors a great opportunity to make the trip remarkable by providing the feeling the adrenaline of using the swings on the highest point of the terrain, where, looking down, there is a great view of

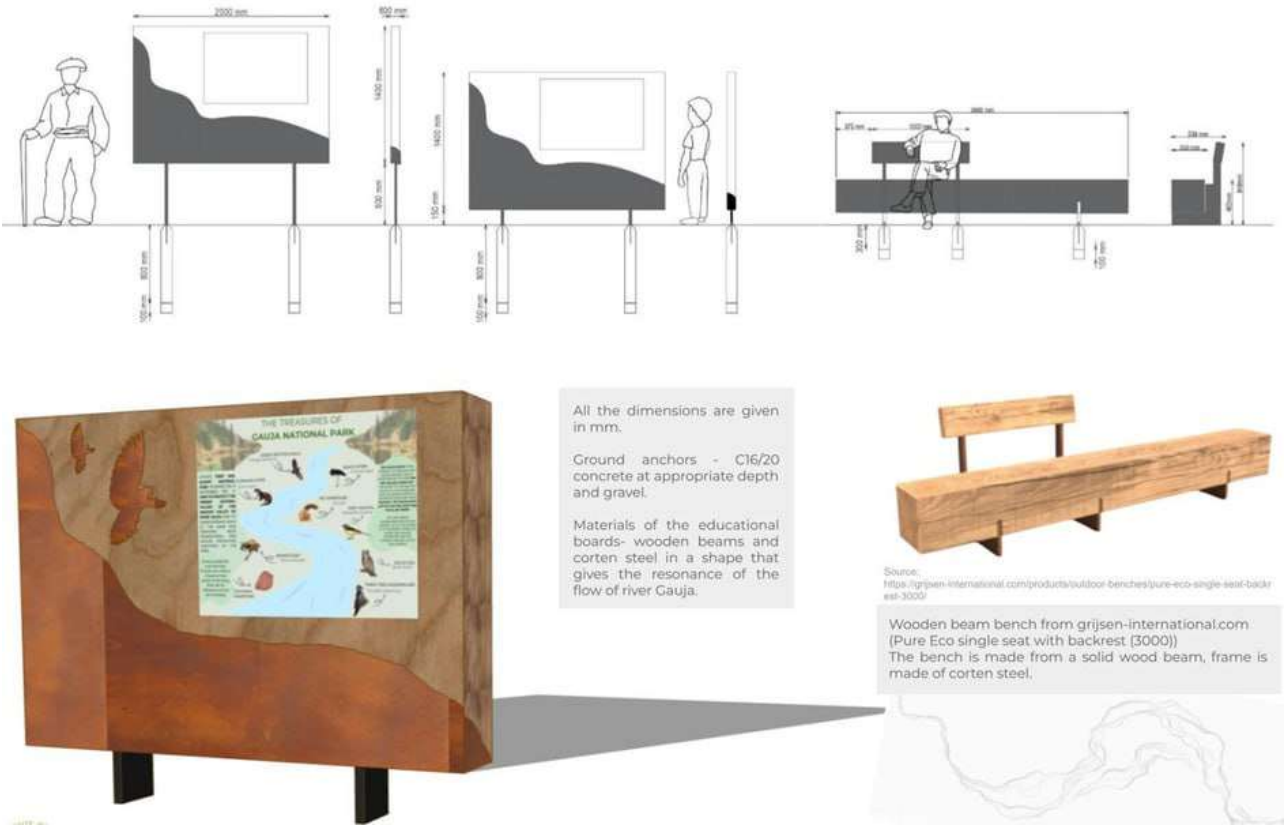


Fig. 3 – Design of the educational board and bench [12]

the river Gauja. Being on a hill allows the swing's user to feel more connected to the open space. This heighten sense of speed and altitude contributes to the fun factor, especially for children. Ground anchors - iron structure connection with hydro isolation in C16/20 concrete at 1 meter depth and then gravel. Materials of the swings - solid oak planks with elaborately spliced rope.

On the top of Katlapu iezis, there is a resting spot with a fireplace for travellers. It is planned to place the swings closer to the edge and redesign the fireplace by adding benches around and trash bins, as currently there is a problem with waste management because of the lack of trash bins. Informative signs of the idea ‘’Take what you came with home’’ will also be added to minimize the trash in the area.

natural landscape and enhances the sensory experience, offering a sense of freedom and

Several educational and informational boards are also to be put throughout the trail. Materials of the educational boards- wooden beams and corten steel in a shape that gives the resonance of the flow of river Gauja. They are planned to be in two heights (one at 2 meters and the other one at 1,45 meters), so both adults and children can read the information given at a comfortable height for them. Ground anchors for the elements - C16/20 concrete at appropriate depth and gravel.

Wooden beam bench is from grijsen-international.com (Pure Eco single seat with backrest (3000)) The bench is made from a solid wood beam, frame is made of corten steel.

Conclusions

Proposed educational trail should increase informational and aesthetical value of the existing path and also offer better comfort for the visitors. It is meant to keep the natural wooden texture shown to mix with the visual look of the river's bank- flowy and natural. Main inspiration textures-wood and rusted metal as references to Gauja National Park forests and the sandstone cliffs.

Most of the places show the beauty of the picturesque Gauja valley, some of them are for active leisure as well. Sigulda provides many more tourist attraction spots, so for those who are interested in staying there after walking the

intended route, there are plenty of options for both active and passive leisure.

This is a popular destination for ecotourism, combining natural beauty, relaxation, and learning.

Forest recreation is an important aspect of Latvia's culture, as forests serve not only as natural resources but also as spaces for relaxation, tourism, and outdoor activities. This recreational value contributes to the well-being of citizens, while also boosting the local economy through eco-tourism and nature-based experiences. Latvia has established a strong legal framework for forest and nature protection, including protected areas like national parks, nature reserves, and Natura 2000 sites, which ensure the preservation of its rich biodiversity, but, despite the progress. There are also some challenges such as illegal logging, pressures from development, and the impacts of climate change.

However, through continued investments in conservation efforts, public awareness, and sustainable practices, Latvia can safeguard its natural heritage, ensuring that forests remain a vital resource for future generations, which is a gift so valuable that we should put a lot of effort in protecting it and only developing it.

Acknowledgement

This Research was supported by the Scientific Grant Agency, grant number VEGA 1/0681/24.

Conflict of Interest

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

***Authors Contribution*:** all authors have contributed equally to this work. The results are original and unique.

In this study, generative artificial intelligence was not used.

References

1. Bekeris, P. (2016). Forest Sector in the 25 Years of Latvia's Independence. Brochure. Association Zalas majas, Retrieved from https://site-335431.mozfiles.com/files/335431/Meza_nozare_25_en_.pdf?1512416154= (14.4.2025)
2. Balmford, A., Green, J.M.H., Anderson, M., Beresford, J., Huang, C.,… Manica, A. (2015). Walk on the Wild Side: Estimating the Global Magnitude of Visits to Protected Areas. *PLoS Biol*, 13(2), e1002074. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002074
3. Jūrmalis, E., Lībiete, Z., & Bārdule, A. (2022). Outdoor Recreation Habits of People in Latvia: General Trends, and Changes during the COVID-19 Pandemic. *Sustainability 14*, 8478. https://doi.org/10.3390/su14148478
4. Bell, S., (2001). Design for Outdoor Recreation. 1st ed., E & F N Spon, London.
5. Taye, F.A., Abildtrup, J., Mayer, M., Ščasný, M., Strange, N., & Lundhede, T. (2019). Childhood experience in forest recreation practices: Evidence from nine European countries, *Urban Forestry & Urban Greening*, *46*, 126471. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126471
6. Dudek, T., Szewczyk, G., Korcz, N. … Jaromi, A. (2025). Evaluation forest educational boards based on eye tracking analysis in a pilot study. *Sci Rep 15*, 25225. https://doi.org/10.1038/s41598-025-10975-2
7. Gross, M., Zimmerman, R., & Buchholz, J. (2006). Signs, trails, and wayside exhibits. Third edition. UW-SP Foundation Press, Inc.
8. Supuka, J., Bihuňová, M. (2018). Tvorba priestorov rekreácie. SUA Nitra.
9. Lai dabiskotu mežaudzes Rāznas Nacionālajā parkā, Dabas aizsardzības pārvalde aicina pieteikties cirsmu izsolēm. Retrieved from https://www.daba.gov.lv
10. ZEM LUPAS. Pētījums «Gaujas ielejas klastisko iežu petrografiskais raksturojums posmā starp Virešiem un Cēsīm». Retrieved from https://www.lu.lv/muzejs/par-mums/zinas/zina/t/62249/
11. Siguldas Jaunā pils. Retrieved from https://www.atrastalatvija.lv/objekts/siguldas-jauna-pils/
12. Bremane, A. (2024). Leisure path along the river Gauja in Latvia. SUA Nitra, Semestral work. Supervisor: Mária Bihuňová. Graphical and text document.

Submission received: 17.10.2025 / Revised: 21.11.2025 / Accepted: 28.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

M. BIHUŇOVÁ, д-р філософії, доц.,
Інститут ландшафтної архітектури, Факультет садівництва та ландшафтної інженерії,
e-mail: maria.bihunova@uniag.sk ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1826-1172
Словацький сільськогосподарський університет у Нітрі,
вул. Туліпанова, 7, Нітра 949 01, Словаччина

A. BREMANE
студентка,
e-mail: annijabremane@inbox.lv ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-8413-8661
Латвійський університет наук про життя і технологій,
вул. Лієла, 2, Єлгава, LV-3001, Латвія

ЛАНДШАФТНО-АРХІТЕКТУРНА ПРОПОЗИЦІЯ РЕКРЕАЦІЙНОЇ СТЕЖКИ ВЗДОВЖ РІЧКИ ГАУЯ В ЛАТВІЇ

Ціль. Запропонувати рекреаційну освітню стежку для громадськості вздовж річки Гауя.

Методи. Польові, ландшафтні та архітектурні.

Результати. Рекреаційна освітня стежка проходитиме вздовж берега річки та матиме початкову точку в парку активного відпочинку «Рамкалні», приблизно за 40 км від столиці Латвії – Риги, та закінчуватиметься в Сігулді, приблизно за 53 км від Риги. Запланований маршрут включає 8 зупинок, які наразі розділені та ще не мають сполучного маршруту. Для стежок та сходів у місцях зміни рельєфу планується використовувати деревину модрини (Larix), оскільки вона гниє набагато повільніше, ніж інші дерева. Тематика інформаційних стендів на запланованій стежці є освітньою, про: стежку, річку Гауя, Національний парк Гауя, геологію скель, парк активного відпочинку «Тарзан», місто Сігулда.

Висновки. Ландшафтно-архітектурна пропозиція та дизайн обладнання прості, мінімалістичні та мають природні форми, з простими лавками та інформаційними знаками, переважно з використанням дерев'яних матеріалів, таких як дерев'яні балки. Більшість місць демонструють красу мальовничої долини Гауї, деякі з них також призначені для активного відпочинку.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *ландшафт, освітня стежка, дозвілля, відпочинок у лісі, річка Гауя, Латвія*

Подяка

Це дослідження було підтримано Агентством наукових грантів, грант № VEGA 1/0681/24.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису. Крім того, автори повністю дотримувалися етичних норм, включаючи уникнення плагіату, фальсифікації даних та дублювання публікацій.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Отримано: 17.10.2025 / Переглянуто: 21.11.2025 / Прийнято: 28.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-17
UDC (УДК): 911.5+504

S. P. SONKO[1], DSc (Geography), Prof.,
Professor of the Department of Ecology and Life Safety
e-mail: sp.sonko@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7080-9564

N. O. HNATIUK[1], PhD (Biology),
Associate Professor of the Department of Ecology and Life Safety
e-mail: natgnatiuk@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4159-9924

V. O. VOIEVODA[1],
PhD Student of the Department of Ecology and Life Safety
e-mail: voevodavolodimir@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2989-276X
[1]*Uman National University,*
1, Instytutska St., Uman, Cherkasy Region, 20305, Ukraine

SPATIAL ORGANIZATION OF AGRICULTURE AS THE BASIS FOR ADMINISTRATIVE AND TERRITORIAL STRUCTURE BASED ON THE PRINCIPLES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Purposes. To study the possibility of using data on the dynamics of agroecosystems in the design of administrative-territorial entities (using the example of the Cherkasy region). The main hypothesis of the study is the possibility of scientifically correct "fitting" the production specialization of individual farms into the corresponding agro-landscapes, and subsequently, on this basis, justifying the administrative-territorial structure.

Methods. Cartographic, comparative-geographical, statistical.

Results. Analysis of the distribution of enterprises across the territory of the Cherkasy region confirms their compliance (or non-compliance) with the main natural and economic patterns. Thus, in place of the former 5th forest-steppe and 3rd steppe (2014) along the southern border of the region, the 1st steppe (2024) agricultural region has formed with signs of more pronounced zonal specialization (crops and industries adapted to the arid climate). Over 10 years, the number of farms has increased almost six-fold, which is associated, firstly, with the intensification of land reform implementation and, secondly, with the strengthening of the trend of "integrating" agroecosystems into natural landscapes. Despite the dominance of traditional technologies in the main zonal areas of specialization, a significant number of farms (about 30%) have responded to climate change over the past 10 years (2014-2024) by gradually introducing cover crops into crop rotations to retain moisture in the soil. Thus, most of the farms specializing in grain production are "tied" to the flat plains of the central part of the region. The Dnipro regions of the region are developing specialization with a focus on the consumer (Cherkasy) and significant irrigation resources – open-field vegetables, dairy and beef cattle breeding, and poultry farming. Only in the western regions of the Uman "cluster" is the most comprehensive crop and livestock specialization developing, which is explained by the relative autonomy of this territory. Based on the identification of production types and taking into account landscape diversity, an analysis of agricultural regions in relation to specific landscapes was carried out.

Conclusions. Compared to 2014, the configuration of agricultural areas has changed significantly, which has been fundamentally influenced by climate change. For the Cherkasy region, the main regional centers remain the cores of agroecosystems located in the middle of the four modern administrative districts (Zolotonosha, Cherkasy, Zvenyhorod, and Uman). A more accurate determination of their location, and, most importantly, the periphery of agroecosystems with subsequent refinement of boundaries, will require additional research, both with the use of special statistics and expedition data.

KEYWORDS: *sustainable development, agroecosystem, agricultural, landscape, zoning, cartographic, Cherkasy region*

Як цитувати: Sonko S. P., Hnatiuk N. O., Voievoda V. O. Spatial organization of agriculture as the basis for administrative and territorial structure based on the principles of sustainable development. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 224-239. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-17

In cites: Sonko, S. P., Hnatiuk, N. O., & Voievoda, V. O. (2025). Spatial organization of agriculture as the basis for administrative and territorial structure based on the principles of sustainable development. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 224-239. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-17

© Sonko S. P., Hnatiuk N. O., Voievoda V. O., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Introduction

From the outset, the concept of sustainable development has been based on an ecological imperative, the pursuit of which is enshrined in the sustainable development strategy. Ideally, the essence of following the ecological imperative in agriculture lies in creating and maintaining a material and energy mechanism of human-nature relations that is inherent in the biosphere and its ecosystem structure [1]. The concept of agroecosystems has become a certain compromise on this path [2].

In modern Ukrainian agroecology and geoecology, there are different ideas about the structure and functional features of agroecosystems [3]. According to O.O. Sozinov, "An agroecosystem is a discrete functional component of the agrosphere, the purpose of which is to obtain agricultural products of the required quality with minimal consumption of non-renewable energy, while preserving the environment and natural resources. The energy of agroecosystems is based on photosynthesis and anthropogenic energy. It is characterized by impoverished biodiversity and is unstable. Without human support, it disintegrates and transforms into natural disturbed biocenoses. It is spatially divided into levels: micro: field, garden plot, farm; meso: functioning within individual farms; macro: covering the entire agricultural landscape. An agroecosystem is the result of targeted human action and is largely determined by socio-economic factors.

According to S.P. Sonko, "An agroecosystem is a natural landscape that has been partially or radically transformed by humans (primarily in terms of material and energy exchange), similar in its ecological essence to an artificial ecosystem, in which material and energy flows are deliberately directed towards maximizing the production and subsequent alienation of biomass. In addition to the ecological proposition that “humans have created their own artificial ecosystem” (M. Golubets), a geographical view of the problem of taxonomy primarily involves the spatial component of the ecosystem in the analysis.

However, the only (but fundamental) difference between the human ecosystem (“artificial,” “semi-natural,” “combined,” “anthropogenic,” “technogenic”) from “pure” natural ecosystems lies in the conscious change by humans (as a species of Homo sapiens) in the process of noosphere formation of the spatial essence of the ecotope.

As agriculture has become more intensive, the scientific and practical problem of matching agricultural specialization with agroclimatic resources has ceased to be a priority, the danger of which has been highlighted in many scientific works [4]. Instead, the laws of the market economy have only increased the gap between the specialization of farms and the existing potential of agroecosystems [1].

The modern revival of scientific interest in this issue is primarily due to the scientific fallacy of the “green revolution” concept, the implementation of which over the past thirty years has mainly resulted in a dangerous decline in soil humus content [5].

This is precisely why the conclusions of contemporary scientific research (both domestic and foreign) emphasize the need to shift the focus of agricultural land use from the usual slogan of “increasing productivity” to the slogan of “preserving biological resources for future generations,” which corresponds to the main slogan of the concept of sustainable development [6].

The authors sincerely believe, as expressed in previous publications, that there is no industry closer to biospheric mechanisms than the agrosphere [1]. Therefore, modern research on the spatial organization and typology of agriculture should be the first step towards harmonizing the relationship between nature and society, and at a new methodological level – with the introduction of environmentally friendly technologies for ecological conversion and scientific provisions of modern synergetics on the invariance of relationships in natural ecosystems. In fact, the biosphere independently eliminates anthropogenic impacts on natural ecosystems that occur in the course of agricultural activities [7]. The “integration” of the specialization of individual farms into natural landscapes is intended not only to reduce the negative anthropogenic impact on natural ecosystems, but also to lay a strong foundation for the administrative-territorial structure of any state [8].

The purpose is to study the possibility of using data on the dynamics of agroecosystems in the design of administrative-territorial entities (using the example of the Cherkasy region).

In terms of the impact on the administrative-territorial structure, in addition to traditional geographical methodological approaches to justifying the specialization of agriculture (E. Kostorvitsky, A. Rakytnikov, I. Mukomel), its methodology should include the main provisions of the theory of the biosphere and the theory of biotic regulation. It is according to them that in natural ecosystems, with the help of self-regulation mechanisms, a state of stable dynamic equilibrium is formed, which is constantly maintained. Accordingly, it is necessary to create environmentally tolerant agro-ecosystems, in which the main material-energy mechanisms are close to natural analogues [9], ecosystem services

Therefore, the basis of modern production typology methods, in addition to traditional ones (spatial organization of society in general and agriculture in particular, cartographic, geoinformation methods), should be landscape planning methods [10, 11], ecological conversion of agriculture [12], ecosystem services [13, 14], adaptation to climate change [15].

The use of these methods will help, in contrast to the predominantly search-theoretical developments inherent in geographical works to date, to translate them into a constructive-practical plane.

For more than 50 years of development of the concept of production types of agriculture and agricultural zoning, the main procedural problem remains to this day the reduction of subjectivity in the allocation of production types and agricultural areas. According to M.D. Pistun, we are talking about the delineation of the boundaries of agricultural areas, which are very often carried out at the sensitive level of the researcher without sufficient scientific argumentation [16].

In a market economy, when a farmer has much more property rights than a collective farmer or even the head of a collective farm, information on each farm can be of significant commercial interest to competitors, and the technologies used can be the subject of intellectual property. In fact, this is precisely what causes the significant impoverishment of agricultural statistics used by the authors. Moreover, the mandatory list of statistical indicators is decreasing every year.

Thus, in 2014, when the resource [17] was operational, it was possible to obtain data on yield, gross harvest and sown area of each farm. In 2024, these indicators could no longer be used. That is why the authors admit that the element of subjectivity in drawing the boundaries of agricultural regions in 2024 increased compared to 2014 and significantly increased compared to the methodology used before 1991. It is because of this that the spatial “binding” of farms of certain production types to the corresponding natural landscapes was carried out only according to the 2014 data, because carrying out a similar procedure for the 2024 data would not add objectivity to such zoning.

Nevertheless, in addition to involving the main indicator in agricultural zoning - the level of agricultural intensity - traditional economic and geographical methodological approaches of center-periphery, consumer orientation, and transport accessibility were used [18]. In addition, in order to reduce the element of subjectivity in substantiating this particular configuration of agricultural areas, the authors performed a spatial “binding” of farms of certain production types to the corresponding natural landscapes.

In fact, this approach also does not completely solve the problem of correctly “fitting” the type of agriculture into the type of natural environment. However, it is identical to the well-known developments in natural-agricultural zoning. Data from natural-agricultural zoning give the most general idea of a certain territory and do not provide for the “fitting” of a small-sized farm territory into local landscapes/ecosystems [19].

We deliberately did not use these data, since according to the authors, the entire territory of Cherkasy region is classified as a forest-steppe zone, although in fact, under the influence of climate change, the border between the steppe and the forest-steppe has shifted north by more than 100 km [20].

However, given the certain inertia (time lag) of the development of such inert components of the landscape as geological structure, soils and hydrographic network (compared to climate), their characteristics will be relevant for a long time.

Therefore, as the main working hypothesis of research on the spatial organization of agriculture, it is advisable to consider the assumption of the possibility of scientifically correct "inclusion" of the production specialization of indi-

vidual farms in the corresponding agricultural landscapes, and further, on this basis, to substantiate the administrative-territorial structure. Approaching the ecological imperative, embedded in the concept of sustainable development, will be possible through achieving maximum ecological compliance of cultivated crops and animals with certain agro-climatic resources, which will contribute to a high level of ecological tolerance.

Research methods: cartographic, comparative-geographic, statistical

Results

According to previous studies [1], the specialization of the main mass of farms in the forest-steppe zone of the Cherkasy region (over 85% of the total number) is approaching monoculture (production of grain and oil crops). This is a consequence of the fact that over the past 20 years, the market economy has objectively "washed out" livestock farming, which traditionally (through the use of organic fertilizers) ensured a certain ecological stability of agroecosystems, from the list of specialized industries. At the same time, modern research on the energy of agroecosystems confirms the possibility of greening agricultural production precisely through the diversification of its specialization [21]. The objective conditions for such diversification are created by nature itself, which "embeds" the appropriate agroclimatic potential in each natural landscape [22], which is the objective basis for the development of the corresponding, strictly determined specialization.

An analysis of the distribution of enterprises across the Cherkasy region confirms their compliance (or non-compliance) with the main natural and economic patterns. Thus, most of the farms specializing in grain production are "tied" to the flat plains of the central part of the region. The Dnipro regions of the region are developing specialization with a focus on the consumer (Cherkasy) and significant irrigation resources – open-ground vegetables, dairy and beef cattle breeding, and poultry farming. Only in the western regions of the Uman "cluster" is the most comprehensive crop and livestock specialization developing, which is explained by the relative autonomy of this territory.

Based on the identification of production types, as well as taking into account landscape diversity [23] [using the "overlay" of the map-mask created by the author (Fig. 1)], an analysis of agricultural regions in their "link" to specific landscapes was carried out.

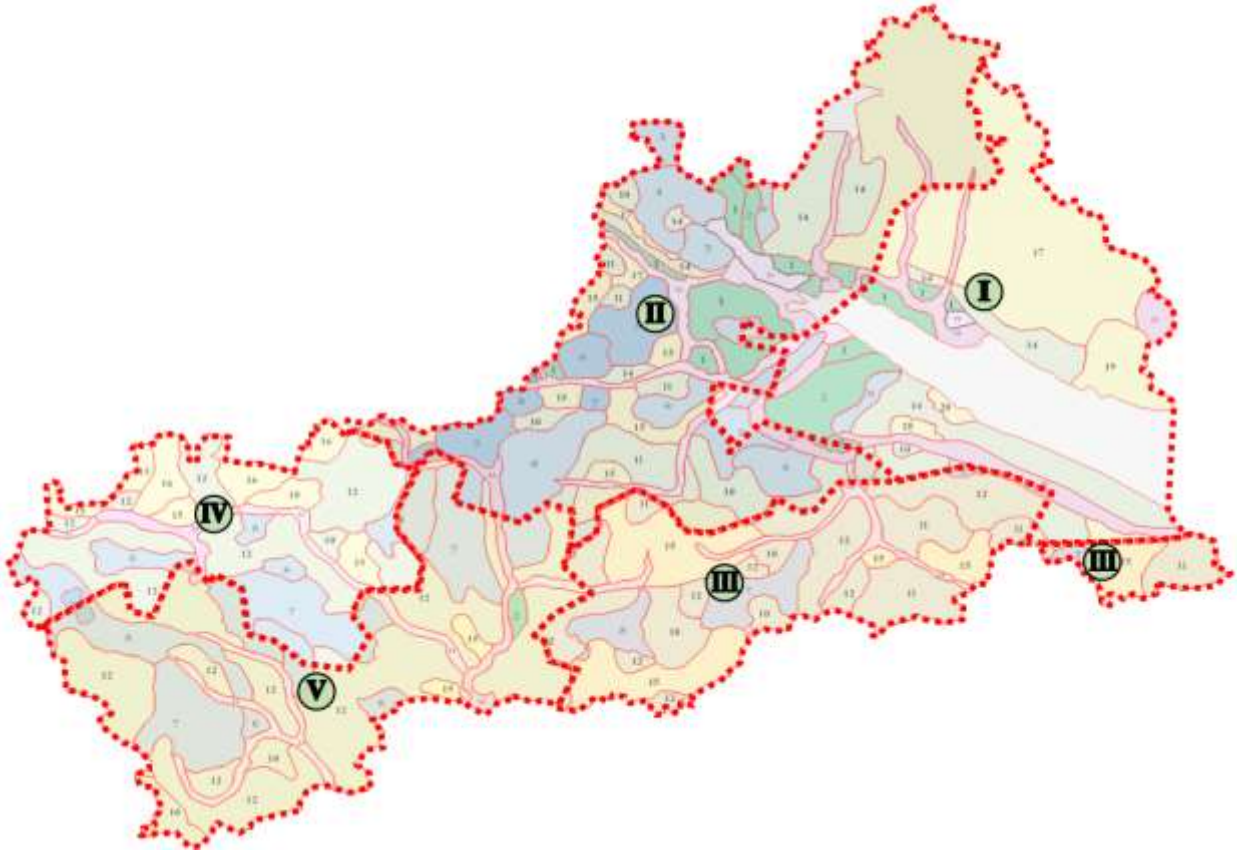
When conducting the typology and zoning of agriculture in the region based on data from 2024, in addition to the intensity criteria defined above, we used data on climate change, since it was these changes that contributed to the "drift" of the border between the Steppe and Forest-Steppe zones northward by more than 100 km with a corresponding change in specialization.

In 2024, 11 main types of agriculture with 75 subtypes were formed (Fig. 2). The following subtypes of agriculture were added to those identified in 2014: Grain farming (cereals, legumes, and corn) combined with industrial oilseeds and fodder crops; Grain farming combined with industrial oilseeds, fodder crops, and vegetable growing; Cultivation of industrial and fodder crops; Grain farming, industrial crops, fodder crops, and horticulture; Grain farming, industrial crops, fodder crops, and vegetable growing; Horticulture and berry growing; Grain farming, industrial crops, fodder crops, horticulture, and vegetable growing; Vegetable growing; Mushroom growing; Grain farming, industrial crops, fodder crops, and vegetable growing; Fruit growing and berry growing; Grain farming, industrial crops, fodder crops, fruit growing, and vegetable growing; Vegetable growing; Mushroom growing; Grain farming combined with industrial crops, vegetable growing, and animal husbandry; Grain farming, cultivation of industrial and fodder crops, vegetable growing, diversified animal husbandry; Vegetable growing, fruit growing, animal husbandry, dairy and beef cattle breeding, and pig breeding; Pig breeding; Fish farming; Cattle breeding; Rabbit breeding; Grain farming, industrial crops, fodder crops, and integrated plant protection; Grain farming, industrial crops, fodder crops, freight transportation;

Grain farming, technical, feed, scientific services; Pig farming and processing of its products. Horticulture and nursery; Seed production of field crops; Forest nursery; Grain farming, cultivation of industrial and fodder crops with dairy and beef cattle breeding and horse breeding; Grain farming, cultivation of industrial and fodder crops with dairy and beef cattle breeding; Grain farming, cultivation of industrial and fodder crops with dairy and beef cattle breeding, pig

farming, and horse breeding; Grain farming, cultivation of industrial and fodder crops, horticulture, and animal husbandry; Grain farming combined with industrial oilseeds, fodder crops, and beekeeping; Grain farming combined with industrial oilseeds, fodder crops, and fish farming; Grain farming combined with industrial oilseeds, fodder crops, and pig farming; Grain farming combined with industrial crops, fodder crops, and animal husbandry; Grain farming combined with industrial crops, vegetable growing, horticulture, and animal husbandry.

We compared the production types of farms in the Cherkasy region in 2014 and 2024 using 12 indicators (an example of one of the districts is given in Table 1).



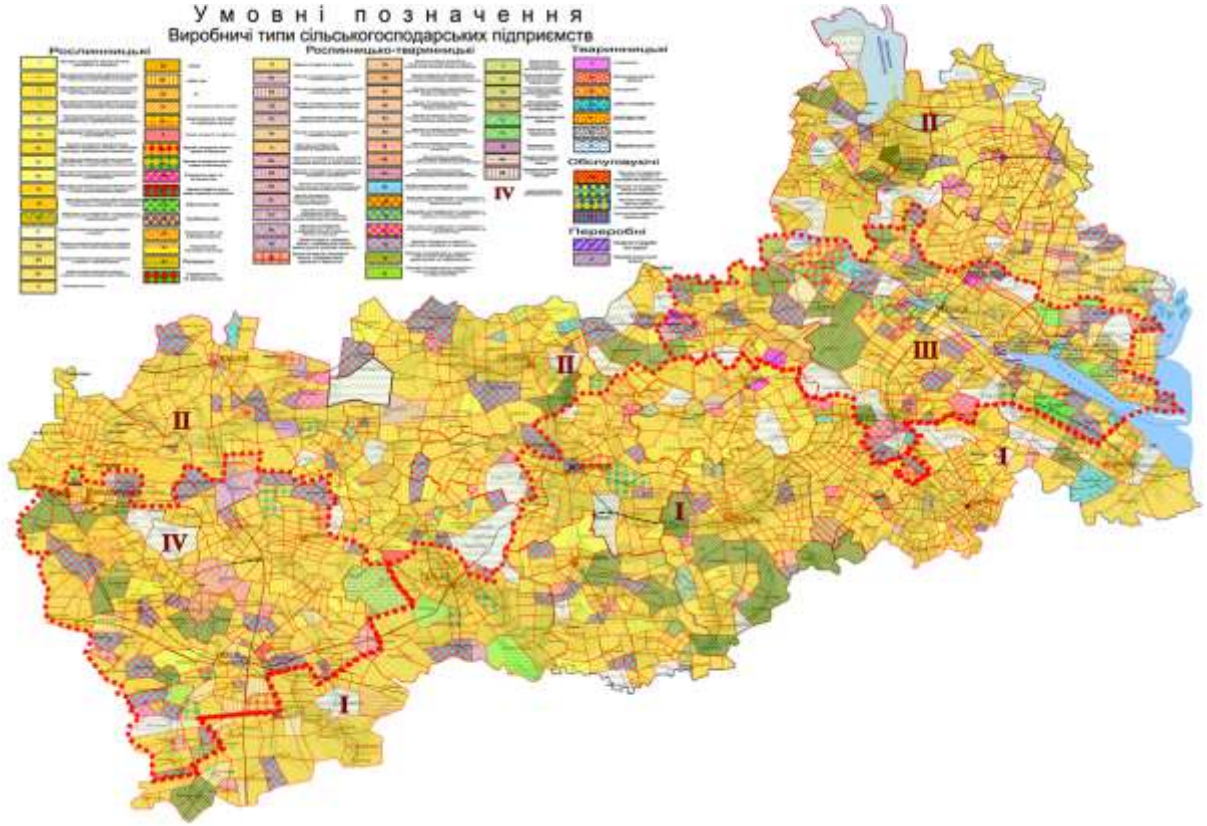
I, II, III and IV indicate the numbers of agricultural districts as of 2014.

Fig. 1 – Landscape map-mask of the Cherkasy region. (Prepared by the authors based on [7])

Table 1

Key indicators of agricultural production types in the Drabiv district

№	Comparable indicator	Value
1	Increase in the number of farms in 2024 compared to 2014 (%)	455
2	Farms with a predominant production type (as a % of the total number in 2024)	85,3
3	Number of farms that added new industries in 2024 (among those operating since 2014) (units)	2
4	Number of farms where old industries disappeared in 2024 (among those operating since 2014) (units)	5
5	Number of farms where drought-resistant industries (or crops) increased in 2024/2014 (units)	3
6	Number of farms where the number of cover crops increased in 2024/2014	8
7	Number of farms where crops and industries that promote greening are represented (units)	4
8	Average area of ecosystem services provided by one farm in 2014 (sq. km)	43,0
9	Average area of ecosystem services provided by one farm in 2024 (sq. km)	9,4
10	Percentage of farms specializing in livestock production in 2014 (%)	48,1
11	Percentage of farms specializing in livestock production in 2024 (%)	13,8
12	Number of farms with highly specialized commodity sectors added in 2024 (units)	9



I, II, III and IV indicate the numbers of agricultural districts as of 2024.

Fig. 2 – Production types and agricultural regions forming in the Cherkasy region in 2024

The main trends from the comparative analysis of production types are as follows:

- The largest number of farms added in 2024 is in the 1st South-Central agricultural region. It is important to note that this same territory covers the area to which the steppe zone has expanded under the influence of climate change [1]. In other words, the main mass of farms (1,274 out of 1,808) is located in a zone of risky agriculture that is affected by climate change. It is likely that, over time, this group of farms will respond to these changes.

- The decrease in the share of crop and livestock farms in the total number of farms in 2024 compared to 2014 did not affect their total number. The largest decrease in the share of such farms occurred in Zolotonosha (by 45%), Uman (by 45%), and Kamyanska (by 52%). However, despite the low percentage (10-18%) of such farms in these districts, in absolute terms there are at least 20 of them. This is on average 3-5 farms more than in 2014. These indicators show generally proportional changes in the ratio of crop and crop-livestock farms over 10 years.

- The smallest changes (both in terms of quantity and specific weight) occurred in the northern forest-steppe zonal types of farms (Kaniv, Zhashkiv, and Korsun-Shevchenkivskyi districts). To a certain extent, this may indicate that the forest-steppe zone farms are more resilient to climate change (compared to the zonal steppe types).

An analysis of fluctuations in individual indicators in agricultural regions revealed the following:

1. "The number of farms increased in 2024 compared to 2014 (%)". The average regional values of this indicator were exceeded in nine districts: Zvenyhorod, Kamianka, Kaniv, Katerynopil, Korsun-Shevchenkivskyi, Lysianka, Mankivka, Monastyryshche, and Smila. At the same time, the values of this indicator exceed the regional average by two times or more in the Kamyansky, Mankivsky, and Smilyansky districts. This excess may indicate the extremely high activity of land share owners, who, after the land market became more active starting in 2020, returned their land shares and registered new farms. Thus, in the Kamyansky district, instead of 9, 114 new farms were established during 2020-2024. At the same time, all newly formed farms have decided on their specialization, the predominant type of which is grain farming (cereals, legumes, and corn) in combination with

technical crops (soybeans, sunflowers, rapeseed). Crop and livestock farms are almost absent among the new ones.

2. "Farms with a predominant production type (as a percentage of the total number in 2024)". To a certain extent, this indicator reflects the level of monocultural specialization of farms, since the number of such farms in 2024 increased by approximately two to three times compared to 2014. According to this indicator, the regional averages are slightly exceeded in the Zvenyhorod, Kamyanske, Mankivske, Monastyryshchenske, Uman, and Shpola districts. Therefore, to a certain extent, it can be assumed that there is a tendency toward monocultural specialization in these districts.

3. "Number of farms that added new industries in 2024 (among those operating since 2014), (units)". This indicator shows that farms operating since 2014 are trying to diversify their production, both under the influence of market factors and by adapting to changing natural conditions (including under the influence of climate change). Of all districts, the values of this indicator exceed the regional average in the Zhashkiv, Zvenyhorod, Zolotonosha, Talne, Uman, Khristynivka, Cherkasy, and Chornobaiv districts. At the same time, this indicator is almost twice as high as the regional average in the Zolotonosha and Khristynivka districts.

4. "Number of farms where old industries disappeared in 2024 (among those operating since 2014) (units)". This indicator to some extent reflects the impact of market factors, which may have reduced the profitability of these industries, which in turn led to a decision not to develop them further. Of all districts, the values of this indicator exceed the regional average in the Gorodishche, Drabiv, Zhashkiv, Mankiv, Talne, Uman, Chornobaiv, and Shpola districts. At the same time, the values in the Zhashkiv, Mankiv, and Uman districts are almost twice the regional average.

5. "Number of farms where drought-resistant industries (or crops) increased in 2024/2014 (units)". This indicator may indicate a certain response of farms to climate change. Among such crops, we include millet and sorghum, and among livestock, sheep farming. Of all regions, the values of this indicator that exceed the regional average are in the following: Zvenyhorodsky, Katerynopilsky, Talnivsky, and Shpola. It is important to note that despite the relatively small number of farms in which these industries are represented, all these farms are located within the "new" steppe zone (I agricultural region, Fig. 3).

6. "Number of farms where the number of cover crops increased in 2024/2014 (units)". This indicator, like the previous one, may indicate the response of farms to climate change, since one of the important functions of cover crops is to retain moisture in the soil [24]. There are about 20 cover crop mixtures. In addition to the traditional lupine, clover, phacelia, mustard, and sudan grass, any grain, radish, and even sunflower can be used [25]. Therefore, without specific data on mixtures, we relied on the data provided by farms, understanding that the use of cover crops/green manure may be one-time – one mixture this year, another next year, and from purchased seed material. Of all regions, the values of this indicator exceeding the regional average are in the following: Drabiv, Zolotonosha, Uman, Khristinivka, Cherkasy, and Shpola. It is important to note that on the analytical map, all of the listed farms are divided into four gradations (by the number of cover crops) and marked with corresponding symbols (Fig. 3).

7. "Number of farms representing crops and industries that promote greening (units)". This indicator shows the potential of a particular farm in terms of greening agriculture, i.e., minimizing or eliminating the use of mineral fertilizers. In particular, crops that leave nitrogen in the soil, such as peas, chickpeas, vetch, and mung beans, or cattle and rabbit breeding as a source of manure—an effective natural fertilizer that does not require large investments to prepare (composting)—were taken into account. We deliberately did not consider pig manure as a fertilizer, as it requires special, costly, and, as a rule, lengthy preparation before application [26, 28]. In addition, the use of pig manure is largely limited for ecological and aesthetic reasons (foul odor). We also did not consider beekeeping as a source of natural plant pollination, firstly, due to the relatively small number of farms where this industry is developed, and secondly, due to the use by the vast majority of farms of hybrid seeds of most field crops [27].

Of all districts, the values of this indicator exceeding the regional average are in the following: Zhashkiv, Zvenyhorod, Zolotonosha, Mankivka, Talne, Uman, Khristynivka, Cherkasy, and Chornobaivka. At the same time, the highest excess values are in the Uman, Talne, and Chornobaivka districts.

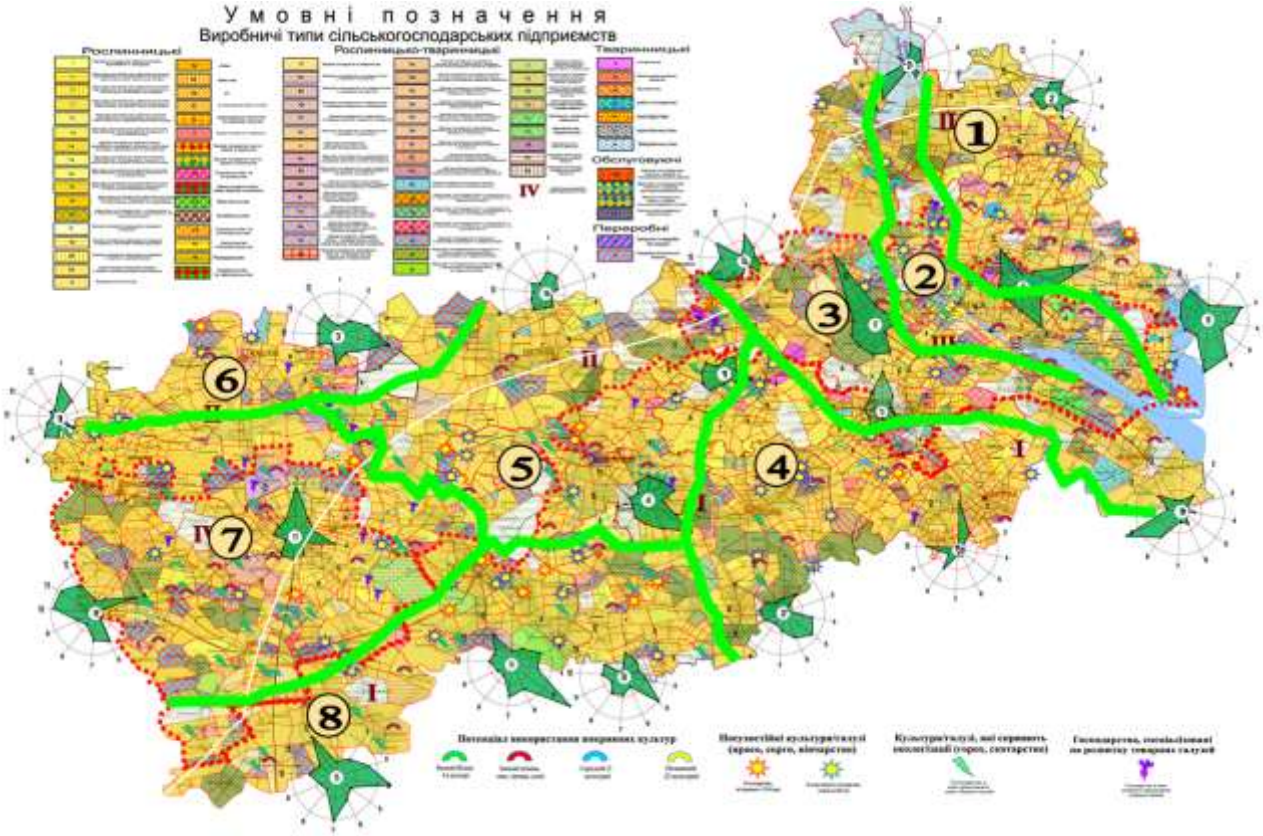


Fig. 3 – Analytical map for comparative analysis of agricultural production typology in 2014 and 2024. (Petal diagrams show fluctuations in key indicators; the white line shows the current boundary between the steppe and forest-steppe zones [32]

8. "Average area of ecosystem services provided by one farm in 2014 (sq km)". Given that agroecosystems are modified ecosystems, we used this indicator to assess their role in providing ecosystem services for a specific area (the area of an administrative district). This indicator is compared with the next one, calculated for 2024. Of all districts, the values of this indicator that exceed the regional average are in the following: Kamyansky, Kanivsky, Korsun-Shevchenkivsky, Mankivsky, Monastyryshchensky, Cherkasy, and Chygyrynsky. The average area provided with ecosystem services by one farm in 2014 by district is distributed as follows: Kaniv (128.3); Chyhyryn (86.9); Cherkasy (84.6); Korsun-Shevchenkivskyi (81.4); Kamyanskyi (80.5); Monastyryshchenskyi (72.0); Mankivskyi (69.5).

The rest of the districts have indicators that fluctuate slightly and are on average lower than the seven districts listed above: Zvenyhorodsky (63.1); Chornobaivsky (59.7); Horodyshchenskyi (58.8); Smilianskyi (58.3); Lysyanskyi (57.3); Katerynopilsky (56.0); Zolotonosha (55.3); Drabiv (43.0); Uman (42.3); Shpola (36.8); Talne (35.2); Khristynivka (35.1); Zhashkiv (30.1).

9. "Average area of ecosystem services provided by one farm in 2024 (sq. km)". Given that the number of farms will increase almost sixfold in 2024, this indicator is expected to decrease, as each farm will account for a smaller area on which ecosystem services are provided. Of all districts, the values of this indicator that exceed the regional average are in the following: Zolotonosha, Kaniv, Korsun-Shevchenkivskyi, Cherkasy, Chyhyryn, and Chornobaivka. The average area covered by ecosystem services provided by one farm in 2024 is distributed among districts as follows: Chornobaivskyi (15.8); Zolotonosha (16.2); Kaniv (19.4); Cherkasy (19.9); Korsun-Shevchenkivskyi (24.8), Chyhyryn (34.7).

The rest of the districts have indicators that fluctuate slightly and are on average lower than the six districts listed above: Gorodishche (13.5); Drabiv (9.4); Zhashkiv (12.5); Zvenyhorodsky (9.5); Kamyansky (5.4); Katerynopilsky (8.2); Lysyansky (9.5); Mankivsky (5.3); Monastyryshchensky (7.1); Smilyansky

(8.8); Talnivsky (9.1); Uman (10.4); Khristinivsky (11.4); Shpola (11.7).

However, given the internal ecological content of this indicator (the area provided with ecological services by one farm), it should be noted that the load per farm in 2024 decreased precisely because of the increase in the number of farms from 375 to 1,808. That is why it is more appropriate to rank administrative districts in order of priority from smaller to larger values: Mankivsky (5.3); Kamyansky (5.4); Monastyryshchensky (7.1); Katerynopilsky (8.2); Smilyansky (8.8); Talnivsky (9.1); Drabivsky (9.4); Zvenyhorodsky (9.5); Lysyansky (9.5); Uman (10.4); Khristinivsky (11.4); Shpola (11.7); Zhashkivsky (12.5); Horodyshche (13.5); Chornobaivka (15.8); Zolotonosha (16.2); Kaniv (19.4); Cherkasy (19.9); Korsun-Shevchenkivskyi (24.8), Chyhyryn (34.7). A comparison of this indicator with 2014 showed the following (Table 2).

Based on the analysis of the data in the table, we can see that the largest decrease in the area providing ecosystem services occurred in

Table 2

Comparison of the area covered by ecosystem services provided by one farm in 2014 and 2024 (km^2)

№	Name of the district	2014	2024	Difference (%)
1.	Mankivsky	69,5	5,3	1311
2.	Kamensky	80,5	5,4	1490
3.	Monastyryshchensky	72,0	7,1	1014
4.	Katerynopilsky	56,0	8,2	683
5.	Smilyansky	58,3	8,8	663
6.	Talnivsky	35,2	9,1	387
7.	Drabivsky	43,0	9,4	457
8.	Zvenigorodsky	63,1	9,5	664
9.	Lysyansky	57,3	9,5	603
10.	Uman	42,3	10,4	407
11.	Khristinivskyi	35,1	11,4	308
12.	Shpolianskyi	36,8	11,7	315
13.	Zhashkivskyi	30,1	12,5	241
14.	Horodyshchenskyi	58,8	13,5	436
15.	Chornobaivskyi	59,7	15,8	378
16.	Zolotonoskyi	55,3	16,2	341
17.	Kanivskyi	128,3	19,4	661
18.	Cherkasy	84,6	19,9	425
19.	Korsun-Shevchenkivskyi	81,4	24,8	328
20.	Chyhyrynskyi	86,9	34,7	250

three administrative districts: Kamyanske (1490%), Mankivske (1311%), and Monastyryshchenske (1014%). Looking at the maps (landscapes, physical, soils (Fig. 1), agroclimatic), it is difficult to attribute this distribution to natural factors. However, comparing these values with the first indicator (Table 1), we find a certain similarity.

10. "Percentage of farms specializing in livestock production in 2014 (%)". Given the higher intensity of livestock farming, this indicator should reflect the intensity of agriculture in 2014, since preliminary estimates show that the percentage of farms specializing in crop and livestock production reached 30-40% that year. Comparing this indicator with the values in 2024 will help to draw conclusions about the growth (or decline) of the overall level of agricultural intensity within individual production types. Of all regions, the values of this indicator that exceed the regional average are in the following: Zolotonosha, Kamyansky, Korsun-Shevchenkivsky, Uman, Khristinivsky, and Chornobaivsky.

Analyzing the table (Table 3), we can see that the Kamyanskyi district has lost the most livestock farming over the past 10 years (-72.6% /-3). During this time, cattle and pig farming have almost completely disappeared, which is most likely explained by the low profitability of these sectors at the beginning of farming activities. After all, the Kamyanskyi district is among the leaders in terms of (1) the increase in farms (1266%).

Table 3.

Comparison of the specific weight and absolute number of enterprises that developed livestock specialization in 2014 and 2024

№	Name of the district	%			Quantity (units)		
		2014	2024	Δ	2014	2024	Δ
1	Mankivsky	46,5	14,4	-32,1	5	10	+5
2	Kamensky	77,0	4,4	-72,6	8	5	-3
3	Monastyryshchensky	10,0	10,1	+0,1	1	10	+9
4	Katerynopilsky	50	17,2	-32,8	6	14	+8
5	Smilyansky	43,8	13,2	-30,6	7	14	+7
6	Talnivsky	50,0	14,8	-35,2	13	15	+2
7	Drabivsky	48,1	13,8	-34,3	13	17	+4
8	Zvenigorodsky	43,7	6,6	-37,1	7	7	0
9	Lysyansky	32,2	14,1	-18,1	4	11	+7
10	Uman	66,6	16,4	-50,2	20	21	+1
11	Khristinivskyi	94,4	30,9	-63,5	9	18	+9
12	Shpolianskyi	56,6	14,8	-41,8	16	14	-2
13	Zhashkivskyi	40,6	16,8	-23,8	13	13	0
14	Horodyshchenskyi	46,6	15,3	-31,3	7	11	+4
15	Chornobaivskyi	69,2	25,5	-43,7	18	24	+6
16	Zolotonoskyi	59,2	21,7	-37,5	17	19	+2
17	Kanivskyi	5	10,4	+5,4	2	7	+5
18	Cherkasy	52,6	24,7	-27,9	10	24	+14
19	Korsun-Shevchenkivskyi	54,5	25,0	-29,5	6	9	+3
20	Chyhyrynskyi	28,5	20,0	-8,5	4	7	+3

11. Almost nothing has changed in the Monastyryshche district over the past 10 years – the percentage (10.0%/10.1%) has remained virtually unchanged, although the number of livestock sectors increased by 9 in 2024. In the Khristinivskyi district, there was a fairly high loss of livestock sectors (-63.5%) with an increase in the number of farms with livestock sectors (+9). In the Shpola district, the absolute number of farms with livestock sectors decreased (16/14) with a significant decrease in the percentage of these sectors (56.6/14.8). In two districts, Zvenyhorod and Zhashkiv, the absolute number of farms has not changed over 10 years, 7/7 and 13/13, respectively.

The remaining regions share a common trend of a decrease in the share of livestock sectors in 2024 (by an average of 30-50%) with a simultaneous increase in the absolute number of these sectors (by an average of 3-9).

12. "The number of farms with highly specialized commodity sectors in 2024 (units)." This indicator may demonstrate the priority of market factors in the formation of the specialization of individual farms. Since the phrase "highly specialized commodity sectors" only roughly defines the list of such sectors, because any crop can be a "commodity," we limited ourselves to plotting beet growing on the analytical map (Fig. 3). Of all regions, the values of this indicator that exceed the regional average are in the following: Zhashkiv, Zolotonosha, Talne, Uman, Khristynivka, Cherkasy, and Chornobaivka. At the same time, in Zolotonosha, Uman, and Cherkasy, these values exceed the regional average by more than half.

The use of data from agricultural typology in the design of the administrative-territorial structure was made possible thanks to the experience accumulated by Prof. S. Sonko in identifying the boundaries of agroecosystems in the Kharkiv region [28]. In particular, we attempted to identify them in the Cherkasy region. A comparison of the results of these studies deserves a separate, more detailed presentation, which we have provided in [1].

Certainly, the identification of "entropy stress zones" in the Cherkasy region as evidence of the noospheric nature of agroecosystems requires further research. However, we were unable to fully utilize the geoecological approach to the identification and further analysis of agroecosystems for several reasons. The first is the lack of data (as mentioned above), which did not allow us to correctly define the natural boundaries of agroecosystems (types of agricultural land organization). The second is the peculiarities of the configuration of the Kharkiv

(closer to a circle) and Cherkasy (closer to a line) regions. The latitudinal elongation of the Cherkasy region confirms traditional ideas about the boundaries of natural zones (and corresponding landscapes). However, in recent years, the drift of the boundaries of the steppe and forest-steppe natural zones to the north (Fig. 3) has "included" almost the entire territory of the region in the Steppe [29].

In addition, the distribution of natural landscapes across the Cherkasy region attests to their significant discreteness. Even within the old boundaries of natural zones (before 2019), separate areas (in the form of "patches") of coniferous-broadleaf forests, broadleaf forests, and especially forest-steppe forests are very often interspersed with steppe landscapes. Therefore, we were unable to identify landscape areas that would have significant continuity with a predominant landscape type over most of the Cherkasy region due to the danger of "mechanistic" (and, therefore, subjective) nature of this procedure.

The only exception is the territory of the 1st agricultural region (2014, eastern part), a significant part of which (almost half) is occupied by a homogeneous landscape of continuous extension (17 - meadow-steppe, slightly dissected with depressions and a beam-hollow system, with typical light and medium loamy chernozems on lowland, accumulative, loess terrace plains (Fig. 1).

As for the economic boundaries of agroecosystems (boundaries of agricultural regions), their configuration in 2014, with a certain degree of convention, allows us to distinguish them by the number of agricultural regions (5). However, the lack of data on the types of agricultural land use allows us to speak only about the spatial identification of agroecosystem cores, which (based on the experience of agricultural zoning in the Kharkiv region [28]) hardly change their spatial location over time (Fig. 4). These are:

I. Prydniprovsko-Cherkasy region (comprising the territories of Cherkasy, Zolotonosha, Chornobaivka, Drabiv, the eastern part of Horodyshche, the northern part of Smila, and the eastern part of Chyhyryn administrative districts).

II. Central Forest-Steppe (comprising the territories of Kaniv, Korsun-Shevchenkivskyi, Zvenyhorodka, Lysyansk, the northern part of Horodyshche, and the northern part of Shpola administrative districts).

III. Southern Forest-Steppe (comprising the southern and western parts of Chyhyryn, the whole of Kamyansky, the southern part of Smilyansky, the central and southern parts of Shpola, and the whole of Katerynopil administrative districts).

IV. North-Western Forest-Steppe (comprising the territories of Zhashkiv, Monastyryshche, and Mankiv administrative districts).

V. South-Western Forest-Steppe (comprising the territories of Talne, Uman, and Khristyniv administrative districts).

As we can see, the number of districts designated in 2014 is close to the number of administrative districts "assigned" in the new administrative reform. According to the reform, there are only four of them: Zolotonosha, Cherkasy, Zvenyhorod, and Uman. We consider this conditional coincidence to be an objective prerequisite for building a new administrative system based on ecosystem principles, which has been discussed in separate works [30].

The above data may refer to the meso level of agroecosystems [30]. However, the results of previous studies allow us to compare the micro level of agroecosystemology, where the primary unit of study is a farm. With regard to the hierarchy of agroecosystems, in the near future, the lowest micro-level, which spatially corresponds to a peasant farm, is "visible" and, from the point of view of ecosystemology, seems to us to be the most important, since it covers the lowest taxa of landscape classification closest to the natural organization – facies, formations, and tracts. As for the composition of the listed agricultural regions, they are also similar, but to natural-agricultural zoning [19].

The dynamics of changes in the production typology of agriculture over 10 years (2014-2024) shows that in most cases, the production types identified in 2014 were joined in 2024 by those that are more narrowly specialized in fruit growing, vegetable growing, certain areas of animal husbandry (fish farming, rabbit breeding, horse breeding), product processing, and services (fertilizers, seed production, seedling production, repair of agricultural machinery) [31].

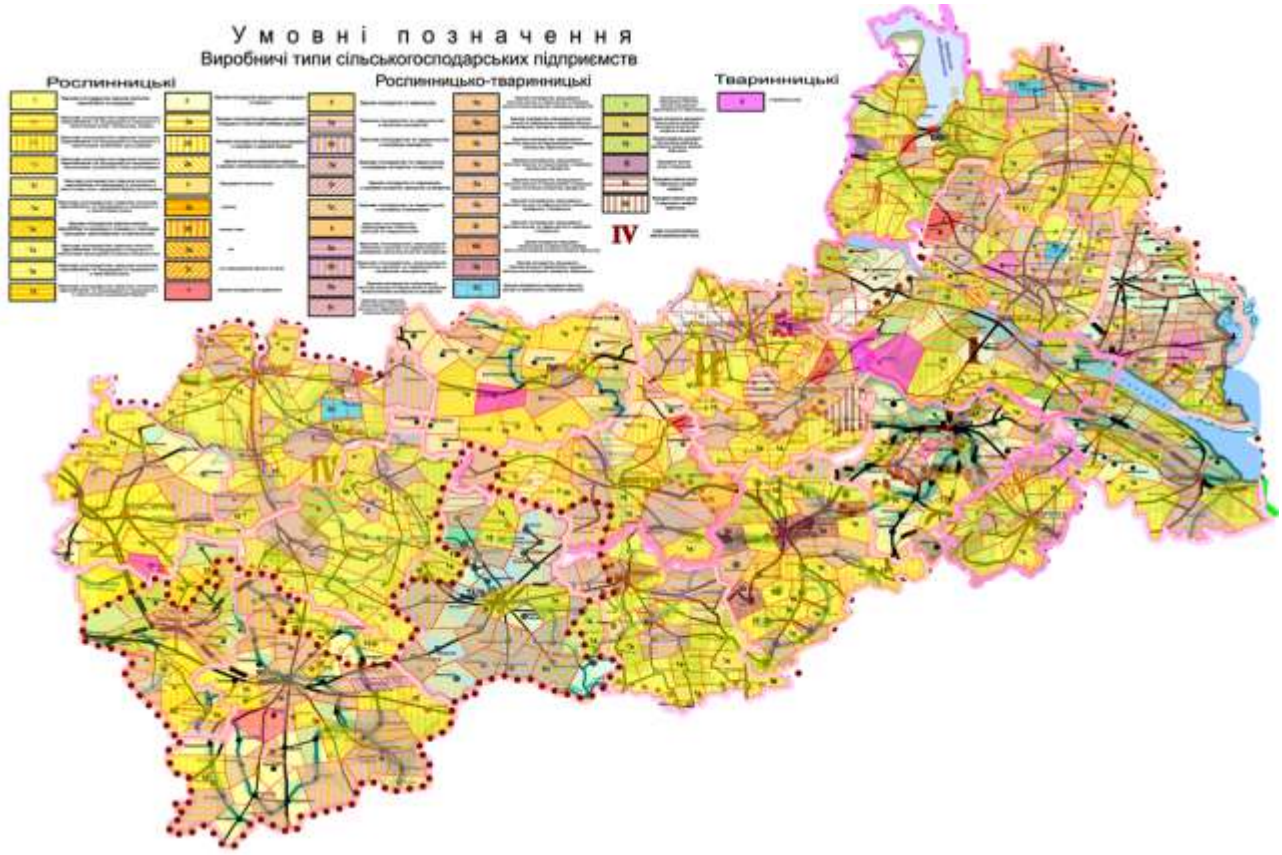


Fig. 4 – Agricultural regions and production types of farms in Cherkasy region (2014)

Conclusions

Compared to 2014, the configuration of agricultural areas has changed significantly, which has been fundamentally influenced by climate change. Thus, in place of the former 5th forest-steppe and 3rd steppe (2014) along the southern border of the region, the 1st steppe (2024) agricultural region has formed with signs of more pronounced zonal specialization (crops and industries adapted to the arid climate). However, over the past 10 years, most farms have deliberately abandoned certain more labor-intensive livestock sectors (cattle breeding, pig breeding, poultry farming), which to a certain extent may indicate a decrease in the environmental friendliness of production due to the lack of manure. Over the past 10 years, the number of farms has increased almost sixfold, which is associated, firstly, with the intensification of land reform and, secondly, with the strengthening of the trend towards "integrating" agroecosystems into natural landscapes, as mentioned above.

Compared to 2014, the number of agricultural entities has increased almost fivefold. In total, there were 375 farms operating in the Cherkasy region in 2014, and 1,808 in 2024. In 2014, nine main types of agriculture with 39 subtypes were identified. In 2024, 11 main types of agriculture with 75 subtypes were formed. This situation is explained primarily by the activation of the land market, when shareholders, having returned their shares, began to form independent farms. From an environmental point of view, the increase in the number of farms may indicate a reduction in the environmental load per farm and, to a certain extent, confirms the need to reduce the area of a single farm, as emphasized by the classics of agricultural science as early as the 19th and 20th centuries. Despite the dominance of traditional technologies in the main zonal areas of specialization, a significant number of farms (about 30%) responded to climate change over a 10-year period (2014-2024) by gradually introducing cover crops into crop rotations to retain moisture in the soil.

Thus, in "constructing" agroecosystems, on the basis of which it will be possible to improve the administrative-territorial structure on the principles of sustainable development, in addition to the level of the agricultural region (2024), it is advisable to "ap-

proach" from two distinct "poles" of understanding of the agroecosystem – agroecological (according to O.O. Sozinov) and natural-agricultural zoning. However, for more effective implementation of any management actions from the level of the highest state authorities down to the level of rural communities, the most suitable level is that of agroecosystems, which are formed by types of agricultural enterprises.

For the Cherkasy region, the main regional centers remain the cores of agroecosystems located in the middle of the four modern administrative districts (Zolotonosha, Cherkasy, Zvenyhorod, and Uman). A more accurate determination of their location, and, most importantly, the periphery of agroecosystems with subsequent clarification of boundaries, will require additional research, both with the use of special statistics and expedition data.

Conflict of interest

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

***Authors Contribution*:** all authors have contributed equally to this work.

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Sonko, S. P., & Zozulia, I. O. (2024). Ecologically balanced agroecosystems – a guarantee of sustainable development. *Man and Environment. Issues of neoecology.* (41), 57–69. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-04 (in Ukrainian)
2. Khvesyk, M., & Bystriakov, I. (2012). A paradigmatic view of the concept of sustainable development of Ukraine. *Economy of Ukraine*, (6), 4–12. (in Ukrainian)
3. Sozinov, O. O., Sonko, S. P. (2006). Agroecosystem. In A. V. Tolstokhov (Ed.). Ecological Encyclopedia (Vol. 1, p. 14). Kyiv: Center for Environmental Education and Information LLC. (in Ukrainian)
4. Prymak I. D. and Hamaliy I. P. (Eds.) (2024). Agroclimatology. Vinnytsia: TVORY LLC. (in Ukrainian)
5. Berezhnyak, E. M., Naumovska, O. I., & Berezhnyak, M. F. (2022). Degradation processes in Ukrainian soils and their negative impact on the environment. *Biological Systems: Theory and Innovation*, *13*(3–4), 96–109. (in Ukrainian)
6. Lanovenko, O. G., Ostapishina, O. O. (2013). Stable (sustainable) development. Dictionary-reference book on ecology. Kherson: PP Vyshemirsky V. S. Retrieved from https://web.archive.org/web/20180619190047/http:/ekhsuir.kspu.edu/bitstream/123456789/1563/1/%D0%A1%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%9D%D0%98%D0%9A%20%E2%80%93%20%D0%94%D0%9E%D0%92%D0%86%D0%94%D0%9D%D0%98%D0%9A.pdf (in Ukrainian)
7. Gorshkov, V., & Makarieva, A. (2018). Time in life, technology and physics. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35964.59528
8. Makarov, G. (2022). The ethnic factor in reforming the administrative-territorial structure: the experience of European democratic states. *Aspects of Public Administration*, *10*(5), 54–61. https://doi.org/10.15421/152235 (in Ukrainian)
9. Sonko, S. P., Maksymenko, N. V., Vasylenko, O. V., Hurskyi, I. M., Shyian, D. V., & Zozulia, I. O. (2022). The concept of agroecosystems as a theoretical basis for environmentally tolerant nature management. *Man and Environment. Issues of Neoecology.* (37), 71–81. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-37-07 (in Ukrainian)
10. Maksymenko, N. V. (2017). Landscape and ecological planning: theory and practice: monograph. Kharkiv. (in Ukrainian)
11. Golubtsov, O. G. (2021). Landscape planning: basic provisions and experience of implementation in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, *1*(113), 63–72. https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.063 (in Ukrainian)
12. Demianuk, O. S., Gumenyuk, I. I., Levishko, A. S., Vakulenko, S. O., & Poltava, O. P. (2022). Ecological aspects of forming sustainable food systems. *Balanced nature management*, (4). 119–128. https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2022 (in Ukrainian)
13. Soloviy, I., & Kuleshnyk, T. (2021). Comprehensive evaluation of ecosystem services in forest-agricultural landscape. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, (22), 209-216. https://doi.org/https://doi.org/10.15421/412119 (in Ukrainian)
14. Shvorak, A., & Filiuk,D. (2021). The impact of ecosystem services on the intensification of agricultural production. *Economic journal of Lesya Ukrainka Volyn National University*. *1*(25), 37–51. https://doi.org/10.29038/2786-4618-2021-01-37-51 (in Ukrainian)
15. Snizhko, S., Ryabchenko, O., & Tripolska, G. (2021). Technology needs assessment for climate change adaptation preparing a technology action plan. Retrieved from https://unfccc.int/ttclear/TNA/UKR-TAP-TAP_Adaptation_2021.pdf

16. Pistun, M. D., Gutsal, V. O., Provotar N. I. (1997). Geography of agro-industrial complexes. Kyiv: Lybid, (in Ukrainian)
17. *AnyFoodAnyFeed* Retrieved from http://www.anyfoodanyfeed.com
18. Piotrowska, I. (2025). Geography as a Compass for Understanding the World. In: Piróg, D., Świętek, A. (eds) Future-Ready Geography. Key Challenges in Geography. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81268-2_1
19. Martyn, A. G., Osypchuk, S. O., & Chumachenko, O. M. (2015). Natural and agricultural zoning of Ukraine: monograph. Kyiv: CP "Komprint". (in Ukrainian)
20. Zozulia, I. (2024). Geographical features of agriculture in the Cherkasy region in the context of climate change. *Problems of continuous geographical education and cartography*, (40). 68–79. https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-08 (in Ukrainian)
21. Polyovyi, A. M. (2017). Formation and functioning of the agroecosystem. Odesa. (in Ukrainian)
22. Chimi, P. M., Fobane J.L... & Mala, A.W. (2025). A bibliometric analysis of agroecological practices: trends, impacts, and future directions. *Environmental Systems Research.* Preprint. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4861038/v1
23. Report on the development of a regional eco-network scheme for the Cherkasy region. (2014). Department of Ecology and Natural Resources of the Cherkasy Regional State Administration. Cherkasy. (in Ukrainian)
24. Orlov, O. (2023). Cover crops: advantages and features of effective use. Proposal. Retrieved from https://propozitsiya.com/ua/pokryvni-kultury-perevagy-ta-osoblyvosti-efektyvnogo-vykorystannya (in Ukrainian)
25. Filatov, V. (2024). Siderates as a way of survival. *Farming systems "ROOT VS. IRON"*. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=gBGZ8yS8DWw (in Ukrainian)
26. Karatyeeva, O. I., Koval, O. A., & Groza, V. I. (2018). Technology for processing household and agricultural waste. Mykolaiv: MNAU. (in Ukrainian)
27. What is the difference between varieties and hybrids? (2025). *Lucky Seed*. Retrieved from https://luckyseed.ua/ua/articles/chem-otlichayutsya-sorta-ot-gibridov (in Ukrainian)
28. Sonko, S. P. (2018). Agricultural zoning of the Kharkiv region: geographical problem – ecological consequences. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, *26*(1), 165-175. https//doi.org/10.15421/111818 (in Ukrainian)
29. Adamenko, T. (2019). Climate change and agriculture in Ukraine: what farmers need to know. German-Ukrainian Agricultural Policy Dialogue. Retrieved from https://www.apd-ukraine.de/fileadmin/user_upload/Hanbuecher/Zmina_klimatu_v_Ukrajini_web3.pdf (in Ukrainian)
30. Hnatiuk, O. M., & Melnychuk, A. L. (2020). Territorial patterns of changes in the administrative structure of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, (3.), 46 – 55. https://doi.org/10.15407/ugz2020.03.046 (in Ukrainian)
31. Zozulia, I. O. (2024). Changes in the specialization of agriculture in the Cherkasy region over 10 years. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (42). 147–160. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-10 (in Ukrainian)

Submission received: 10.09.2025 / Revised: 14.11.2025 / Accepted: 20.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

С. П. СОНЬКО[1], д-р географ. наук, проф.,
професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності
e-mail: sp.sonko@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7080-9564

Н. О. ГНАТЮК[1], канд. біол. наук, доц.,
доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності
e-mail: natgnatiuk@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4159-9924

В. О. ВОЄВОДА[1],
аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності
e-mail: voevodavolodimir@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-2989-276X
[1]*Уманський національний університет,*
вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., 20305, Україна

ПРОСТОРОВА ОРГАНІЗАЦІЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ЯК ОСНОВА АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНОГО УСТРОЮ НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Мета. Можливість використання даних з динаміки агроекосистем при конструюванні адміністративно-територіальних утворень (на прикладі Черкаської області), можливість науково коректного «вписання» виробничої спеціалізації окремих господарств у відповідні агроландшафти, а надалі, на цій основі обґрунтування адміністративно-територіального устрою.

Методи. Картографічний, порівняльно-географічний, статистичний.

Результати. Аналіз розподілу підприємств по території Черкаської області підтверджує відповідність (або невідповідність) головним природним та господарським закономірностям. На місці колишніх 5-го лісостепового і 3-го степового (2014) вздовж південного кордону області сформувався 1-й степовий (2024) сільськогосподарський район з ознаками більш яскравої зональної спеціалізації (культури та галузі, адаптовані до посушливого клімату). За 10 років кількість фермерських господарств зросла майже вшестеро, що пов'язане, по-перше, з активізацією впровадження земельної реформи і, по-друге, з посиленням тенденції «вписання» агроекосистем у природні ландшафти. Незважаючи на панування традиційних технологій в головних зональних галузях спеціалізації, помітна кількість фермерських господарств (близько 30%) за 10 років (2014-2024 р.р.) відреагувала на зміни клімату поступовим введенням у сівозміни покривних культур, які зберігають вологу у ґрунті. Так, більша частина господарств з зерновою спеціалізацією «прив'язана» до плакорних пласких місцевостей центральної частини області. Придніпровські райони області розвивають спеціалізацію з орієнтацією на споживача (м. Черкаси) і на значні ресурси зрошення – овочі відкритого ґрунту, молочно-м'ясне скотарство, птахівництво. Лише в західних районах Уманського «куща» розвивається найбільш комплексна рослинницько-тваринницька спеціалізація, що пояснюється певною автономністю цієї території. На підставі виділення виробничих типів, а також з урахуванням ландшафтного різноманіття здійснений аналіз сільськогосподарських районів в їх «прив'язці» до конкретних ландшафтів.

Висновки. Порівняно з 2014 роком суттєво змінилась конфігурація сільськогосподарських районів, на яку докорінно вплинула зміна клімату. Для Черкаської області головними районоутворюючими осередками залишаються ядра агроекосистем, які знаходяться в середині сучасних 4-х адміністративних районів (Золотоніського, Черкаського, Звенигородського та Уманського). Більш точне визначення їхньої локації, і, головно, периферії агроекосистем з наступним уточненням кордонів, вимагатиме проведення додаткових досліджень, як з залученням спеціальної статистики, так і експедиційних даних.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *сталий розвиток, агроекосистема, сільське господарство, ландшафт, районування, картографічний, Черкаська область*

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Сонько С. П., Зозуля І.О. Екологічно збалансовані агроекосистеми – запорука сталого розвитку. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2024. Вип. 41. С. 57-69. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-04
2. Хвесик М., Бистряков І. Парадигмальний погляд на концепт сталого розвитку України. *Економіка України*. 2012. № 6. С. 4-12.
3. Созінов О.О., Сонько С.П. Агроекосистема. Редколегія: А.В.Толстоухов (головний редактор) та ін К.:ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2006.-Т.1. С.14.
4. Примак І.Д., Гамалій І.П., Мартинюк І.В., Лозінський М.В., Федорук Ю.В., Покотило І.А., Лозінська Т.П., Присяжнюк Н.М., Павліченко А.А., Хахула В.С., Устинова Г.Л., Горчанок А.В., Савенко Н.М. Агрокліматологія : підручник / за ред. І.Д. Примака та І.П. Гамалій. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2024. 263 с.
5. Бережняк, Є. М., Наумовська О. І., Бережняк М. Ф.. Деградаційні процеси в ґрунтах України та їх негативні наслідки для довкілля» *Біологічні системи: теорія та інновації* 2022: Т. 13. №3-4. С. 96-109.
6. Лановенко О. Г., Остапішина О. О. Розвиток стабільний (що підтримується). Словник-довідник з екології: Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2013. С. 157. URL: https://web.archive.org/web/20180619190047/http:/ekhsuir.kspu.edu/bitstream/123456789/1563/1/%D0%A1%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%9D%D0%98%D0%9A%20%E2%80%93%20%D0%94%D0%9E%D0%92%D0%86%D0%94%D0%9D%D0%98%D0%9A.pdf
7. Gorshkov, V., & Makarieva, A. Time in life, technology and physics. 2018. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35964.59528
8. Макаров, Г. (2022). Етнічний чинник реформування адміністративно-територіального устрою: досвід європейських демократичних держав. *Аспекти публічного управління,* Т. 10. № 5. С. 54-61. https://doi.org/10.15421/152235
9. Сонько С.П., Максименко Н.В., Василенко О.В., Гурський І.М., Шиян Д.В., Зозуля І.О. Концепція агроекосистем як теоретична основа екологічно толерантного природокористування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2022. Вип. 37. С.71-81. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-37-07
10. Максименко Н.В. Ландшафтно-екологічне планування: теорія і практика: монографія. Харків, 2017. 216 с

11. Голубцов О. Г.. Ландшафтне планування: основні положення та досвід реалізації в Україні. *Укр. геогр. журн*. 2021. Т.1. №113. С. 63-72. https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.063
12. Дем'янюк, О. С., Гуменюк, І. І., Левішко, А. С., Вакуленко, С. О., Полтава, О. П. Екологічні аспекти формування стійких продовольчих систем. *Збалансоване природокористування*. 2022. № 4. С.119-128 https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2022
13. Soloviy, I., & Kuleshnyk, T. Комплексне оцінювання послуг екосистем лісоаграрного ландшафту. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2021. № 22. С.209-216. https://doi.org/https://doi.org/10.15421/412119
14. Shvorak, A., Filiuk, D Вплив екосистемних послуг на активізацію розвитку сільськогосподарського виробництва. *Економічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2021. Т.1. № 25 С.37–51. https://doi.org/10.29038/2786-4618-2021-01-37-51
15. Snizhko S., Ryabchenko O., Tripolska G. Technology needs assessment for climate change adaptation preparing a technology action plan. URL: https://unfccc.int/ttclear/TNA/UKR-TAP-TAP_Adaptation_2021.pdf
16. Пістун М. Д. Гуцал В.О., Провотар Н. І. Географія агропромислових комплексів. К. : Либідь, 1997.
17. *AnyFoodAnyFeed*. URL: http://www.anyfoodanyfeed.com
18. Piotrowska, I. Geography as a Compass for Understanding the World. In: Piróg, D., Świętek, A. (eds) Future-Ready Geography. Key Challenges in Geography. 2025. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81268-2_1
19. Мартин А.Г., Осипчук С.О., Чумаченко О.М Природно-сільськогосподарське районування України: монографія. К. : ЦП «Компринт» 2015. 328 с.
20. Зозуля І. Географічні особливості сільського господарства Черкаської області в умовах змін клімату. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 68–79. https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-08
21. Польовий А. М. Формування та функціонування агроекосистеми Одеса:, 2017. 120 с.
22. Chimi, P. M., et al. A bibliometric analysis of agroecological practices: trends, impacts, and future directions. *Environmental Systems Research*. 2025. 14.1 4. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4861038/v1
23. Звіт з розробки регіональної схеми екомережі Черкаської області. Департамент екології та природних ресурсів Черкаської облдержадміністрації. Черкаси, 2014. 138 с.
24. Орлов О. Покривні культури переваги та особливості ефективного використання. URL: https://propozitsiya.com/ua/pokryvni-kultury-perevagy-ta-osoblyvosti-efektyvnogo-vykorystannya
25. Філатов, В. Сидерати як спосіб виживання. Системи землеробства «КОРІНЬ ПРОТИ ЗАЛІЗА». 2024. URL: https://www.youtube.com/watch?v=gBGZ8yS8DWw
26. Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства : курс лекцій для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія». Миколаїв: МНАУ, 2018. 190 с.
27. У чому різниця між сортами та гібридами? URL: https://luckyseed.ua/ua/articles/chem-otlichayutsya-sorta-ot-gibridov
28. Сонько С.П. Сільськогосподарське районування Харківської області: географічна проблема – екологічні наслідки. *Журнал з геології, географії та екології.*, 2018. Т. 26. № 1. С.165-175. https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111818
29. Адаменко Т. Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? Німецько-український агрополітичний діалог. 2019. 36 с. URL: https://www.apd-ukraine.de/fileadmin/user_upload/Hanbuecher/Zmina_klimatu_v_Ukrajini_web3.pdf
30. . Гнатюк О.М., Мельничук А.Л.. Територіальні закономірності змін адміністративного устрою України. Український географічний журнал. 2020 № 3. С. 46-55. https://doi.org/10.15407/ugz2020.03.046
31. Зозуля І. О. Зміни у спеціалізації сільського господарства Черкаської області за 10 років. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2024. Вип. 42. С.147- 160. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-10

Отримано:10.09.2025 / Переглянуто: 14.11.2025 / Прийнято: 20.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-18
UDC: 633.854.78:632.51

M. V. SHEVCHENKO[1], DSc (Agronomy), Prof.
Head of the Department of Agriculture and Herbology named after O.M. Mozheyko
e-mail: nniagbio@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4915-1435

A. V. OLENCHENKO[1]
PhD Student of the Department of Agriculture and Herbology named after O.M. Mozheiko
e-mail: Olenshenko.com99@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-0598-5904
[1]*State Biotechnological University,*
44, Alchevskikh St., Kharkiv, 61002, Ukraine

IMPACT OF WEED INFESTATION ON PROJECTIVE SOIL COVER CHANGES DURING THE SUNFLOWER VEGETATION PERIOD

Weed infestation is one of the key factors influencing the formation of plant cover in agroecosystems. In the context of sunflower cultivation, projective soil cover varies depending on the intensity of weed competition, especially during critical periods of vegetation.

Purpose. To determine the effect of varying levels of weed competition on the dynamics of projective cover in sunflower crops throughout the growing season.

Methods. Field experimentation, laboratory-analytical methods, and statistical analysis.

Results. An increase in the duration of weed competition led to a consistent reduction in plant biometric parameters (height, leaf area), projective crop cover, and yield. The highest yield was recorded under full-season weed control, which served as the benchmark for evaluating other treatments. Even short-term weed competition caused a notable yield reduction. Extending the weed-free period improved growth indicators but did not fully compensate for productivity losses. The first month of vegetation was identified as the critical competition period. Limiting weed infestation during the first 30–45 days after emergence significantly improved plant growth, leaf area development, and projective soil cover. The most effective projective cover and biomass accumulation were observed when weed competition was entirely eliminated during this early phase—crucial for ensuring full crop development. Weed spread in later stages had a less pronounced impact on plant morphology but impeded harvesting and increased the risk of secondary field infestation. In contrast, prolonged weed competition suppressed crop development, reduced leaf area, and decreased yield.

Conclusions. The findings confirm the importance of weed control during critical biomass formation periods to support the soil-protective function of crops and ensure stable production. The proposed approaches can be used to improve sunflower cultivation technologies, taking into account environmental conditions.

KEYWORDS: *sunflower, weed infestation, competition, projective cover, biometric indicator, yield*

Як цитувати: Shevchenko M. V., Olenchenko A. V. Impact of weed infestation on projective soil cover changes during the sunflower vegetation period. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.*2025. Вип. 44. С. 240-248. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-18

In cites: Shevchenko, M. V., & Olenchenko, A. V. (2025). Impact of weed infestation on projective soil cover changes during the sunflower vegetation period. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (44), 240-248. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-18

Introduction

One of the key conditions for the effective cultivation of agricultural crops is the control of weed infestation in agrocenoses, particularly in industrial crops such as sunflower. Weeds not only reduce yields by competing for moisture, light, and nutrients but also alter the spatial structure of the phytocenosis, especially its projective cover. This indicator serves as a marker of crop stand condition and allows for the assessment of competitive interactions between crops and weeds. Furthermore, the dynamics of projective cover throughout the growing season can reflect the effectiveness of agronomic weed control measures and indicate the agroecological balance within the phytocoenosis.

© Shevchenko M. V., Olenchenko A.V., 2025

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Despite a considerable body of research on weed management in agroecosystems, the relationship between weed infestation levels and changes in the projective cover of sunflower during the growing season remains insufficiently explored. This underscores the need for further investigation into the spatial structure of agrocenoses under weed pressure, with the aim of optimizing sunflower cultivation technologies and improving their agroecological efficiency.

The problem of weed infestation in sunflower crops remains relevant both in Ukraine and internationally. Weeds not only reduce yields but also negatively affect the morphological traits of crops. International studies emphasize the importance of identifying critical periods for effective weed control. For instance, E. Stefanic et al. found that the duration of this critical period in sunflower varies depending on weed density and environmental conditions; failure to manage it appropriately can result in significant yield losses [1]. In a study by J. Peña-Barragán et al., multispectral aerial imagery was used to analyse the relationship between sunflower yield, terrain elevation, and weed infestation. The findings indicated that higher yields were recorded in areas with lower elevation and lower weed density [2].

It is worth noting that Ukrainian research has also increasingly adopted unmanned aerial vehicles (UAVs) to monitor weed infestation in sunflower fields. For example, A. B. Achasov et al. demonstrated the effectiveness of UAVs in assessing weed pressure and crop condition, enabling timely responses to agrocenosis changes [3]. Furthermore, a study conducted in the Steppe zone of Ukraine revealed a substantial negative impact of the quarantine weed Ambrosia artemisiifolia on sunflower yield: at a density of 5 plants/m², yield losses reached 0.41 t/ha, increasing to 1.09 t/ha at 10 plants/m² [4].

Purpose: to determine the effect of varying levels of weed competition on the dynamics of projective cover in sunflower crops throughout the growing season.

Methodology

The study was conducted from 2021 to 2023 on the experimental field of the Department of Agriculture and Herbology named after O. M. Mozheiko.

The soil at the experimental site is classified as typical heavy loam Chernozem developed on loess-like loam, with the following agrochemical characteristics: a salt extract pH ranging from 6.4 to 7.0 and a humus content of approximately 5% in the arable layer.

The research was carried out within a crop rotation that included the following sequence:

1. Fallow
2. Winter wheat
3. Safflower + corn
4. Winter rye
5. Sunflower

The sunflower hybrid used in the study was Cruiser LG59580. Each treatment was replicated three times. The total plot area for sowing was 30 m^2, while the accounting (sampling) plot measured 10 m^2. Weed infestation was assessed on 1.0 m^2 subplots at the beginning of the growing season and prior to harvest using the quantitative-weight method with three replications.

The experimental design included the following treatments:

1. Weed-free throughout the entire growing season (weed-free control)
2. Weeds removed during the first 15 days after sunflower emergence
3. Weeds removed during the first 30 days after emergence
4. Weeds removed during the first 45 days after emergence
5. Weeds present during the first 15 days after emergence, then left unmanaged
6. Weeds present during the first 30 days after emergence, then left unmanaged
7. Weeds present during the first 45 days after emergence, then left unmanaged
8. Continuous weed competition throughout the growing season (weedy control)

To simulate different intensities of weed competition, manual weeding was used. This method allowed for the creation of both temporarily weed-free conditions and continuous weed presence at specific crop development stages.

Projective cover was visually assessed using a grid frame 1 cm^2 in size on permanent monitoring plots at the stages of 2–3 pairs of true leaves and at budding. Assessments were conducted separately for sunflower plants and weeds, allowing for the analysis of competitive interactions and structural changes in vegetation cover throughout the season.

All collected data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) with a standard

statistical software package. The results were interpreted based on mean values, standard deviations, and the significance of differences at $p \leq 0.05$.

Results and Discussion

The results of the study show that the duration of weed competition significantly affects the condition of sunflower crops, in particular, the weediness of the agrocenosis and biometric indicators of the crop. Sunflower weediness depending on the period of weed competition (average values of the number of weeds at the time of emergence and before harvesting for the period 2021-2024) is given in Table 1.

The lowest number of weeds at harvest was recorded in the treatments with a weed-free period of 45 days—5 plants/m², with perennial weeds accounting for only 1 plant/m^2. This indicates the effectiveness of limiting competition specifically during the first 4–6 weeks of crop development. In contrast, under conditions of continuous weed competition (treatment 8), the number of annual weeds at harvest reached 27 plants/m^2, which is 2.7 times higher than in the 15-day weed-free treatment and 5.4 times higher than in the 45-day weed-free treatment. This confirms the strong regenerative ability of weeds to restore their biomass following early-season hand weeding.

Table 1

Weed infestation of sunflower depending on the period of weed competition (average for 2021–2024)

Variants	Number of weeds, pcs/m^2			
	For the time of germination		Before harvesting	
	1	2	1	2
Weed-free throughout the entire growing season (weed-free control)	–	–	–	–
Weeds removed during the first 15 days after sunflower emergence	–	–	16	3
Weeds removed during the first 30 days after emergence	–	–	10	1
Weeds removed during the first 45 days after emergence	–	–	5	1
Weeds present during the first 15 days after emergence, then left unmanaged	11	–	–	–
Weeds present during the first 30 days after emergence, then left unmanaged	13	–	–	–
Weeds present during the first 45 days after emergence, then left unmanaged	12	–	–	–
Continuous weed competition throughout the growing season (weedy control)	11	–	27	2

Note: 1 – annual weeds; 2 – perennial weeds

As the duration of weed competition increased, a clear trend of decreasing sunflower biometric indicators was observed (Table 2). The plant height in the weed-free control treatment (treatment 1) reached 166.6 cm, while under full-season weed competition (treatment 8), it decreased to 134.0 cm. A similar trend was observed for leaf area: the maximum value was recorded in treatment 1, and the minimum in treatment 8. The difference between these two extremes was 54.1%, indicating a high degree of suppression of the crop's photosynthetic apparatus due to weed pressure.

It is noteworthy that the 30-day weed-free treatment resulted in nearly the same plant height – 164.4 cm – as the full weed-free control, and the leaf area was only 12% lower than the maximum recorded value. This suggests that the first 30 days after crop emergence are critical for the development of a viable leaf canopy in sunflower.

Similar findings have been reported in international studies [4, 5], which emphasize the importance of preventing weed competition during the early growth stages of the crop to minimize yield losses.

Projective cover is an important indicator characterizing the degree of soil surface shading by the plant canopy. This parameter closely relates to the development of phytomass of both crops and weeds, as well as determining the microclimatic conditions within the agrocenosis – such as temperature regime, moisture conservation, photosynthetic intensity, and soil erosion resistance.

Table 2

Effect of weed infestation on sunflower biometric indicators under different durations of competitive interaction (average for 2021–2024)

Variants	Plant height, cm	Leaf area, cm^2
Weed-free throughout the entire growing season (weed-free control)	166.6	6368
Weeds removed during the first 15 days after sunflower emergence	159.3	4586
Weeds removed during the first 30 days after emergence	164.4	5590
Weeds removed during the first 45 days after emergence	164.2	5947
Weeds present during the first 15 days after emergence, then left unmanaged	156.7	4482
Weeds present during the first 30 days after emergence, then left unmanaged	150.6	4096
Weeds present during the first 45 days after emergence, then left unmanaged	143.5	3184
Continuous weed competition throughout the growing season (weedy control)	134.0	2924

In this study, changes in projective cover were directly correlated with weed infestation and the duration of competitive interactions. Treatments with complete weed control (variant 1) or weed suppression for 30–45 days after emergence (variants 3 and 4) developed full projective cover due to a well-developed leaf area of sunflower plants (5590–6368 cm^2). This ensured uniform and dense soil shading, positively influencing moisture retention, reducing temperature fluctuations in the rhizosphere, and inhibiting weed regrowth.

Conversely, in treatments with early or prolonged weed competition (variants 5–8), projective cover at early stages was primarily formed by weeds. For instance, treatments with competition lasting 15–30 days (variants 5 and 6) exhibited rapid initial soil coverage by weeds; however, after their removal, the cover did not fully recover due to weakened sunflower growth (leaf area 4096–4482 cm^2), contributing to a secondary weed infestation wave before harvest.

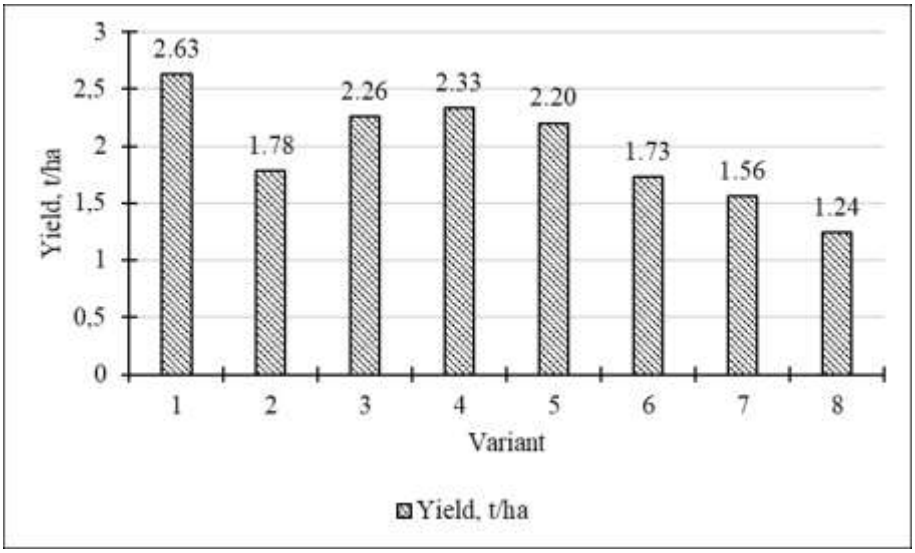
Previous studies also indicate that the effectiveness of projective cover formation depends on both the sunflower growth stage and weed presence. Specifically, complete absence of weeds during early vegetation stages resulted in better leaf coverage and reduced secondary weed infestation [6, 7]. Projective cover significantly influences the soil microclimate, including temperature and humidity, which affects weed growth [8]. Similar findings were reported under Central Ukrainian conditions, where partial weed suppression during the first 30 days post-emergence promoted crop recovery of projective cover [9].

The lowest projective cover was observed under constant weed competition (variant 8), with the smallest sunflower leaf area (2924 cm^2) and high weed density (27 annual and 2 perennial plants/m^2). This resulted in unstable, fragmented soil cover throughout the season, causing moisture fluctuations, surface overheating, intensified micro-erosion, and substantial yield reduction to 1.24 t/ha. During weed presence (particularly in variants 5–8), a significant soil area was covered by weed biomass. Average weed densities of 11–13 plants/m^2 in the first 15–45 days, especially without weeding, suggest that projective cover during this period was predominantly weed-derived.

Considering weed morphology (e.g., broadleaf species such as *Chenopodium album* and *Polygonum lapathifolium*), under medium to high infestation, weeds contributed 35–60% to temporary projective cover, partially providing soil protection by reducing runoff, insolation, and evaporation. However, such cover is temporally unstable. Due to interspecies competition, weeds were either suppressed (variants 5–6) or proliferated excessively (variant 8), creating shading that disrupted crop development. By canopy closure (approximately days 45–60),

weeds either disappeared or remained as a low but dense understory, impeding full projective cover formation by sunflower. Consequently, the highest ecological efficiency of projective cover was in treatments with early weed suppression (up to 30–45 days), where sunflower rapidly covered the soil, conserving moisture and suppressing further weed waves. Prolonged weed pressure led to unstable, fragmented cover insufficient for agroecosystem protection.

The highest yield (2.63 t/ha) was achieved with complete weed control, serving as the benchmark (Fig. 1). Limiting weed competition to 15 days reduced yield to 1.78 t/ha (67.7% of control). Extending the weed-free period to 30 and 45 days resulted in higher yields – 2.26 and 2.33 t/ha (85.9–88.6% of control), confirming the first month of vegetation as the critical competition period. Similar trends were found where crops grew with weed pressure for 15, 30, and 45 days: 15-day competition slightly reduced yield (2.20 t/ha), but 30-day and 45-day competition lowered yields more substantially (1.73 and 1.56 t/ha respectively), reflecting growth suppression. The lowest yield (1.24 t/ha, 47.1% of control) occurred under constant weed competition, where pre-harvest weed density was highest (27 annual and 2 perennial plants/m^2), indicating a stable and aggressive weed community.



Variant:1 – Weed-free throughout the entire growing season (weed-free control);
2 – Weeds removed during the first 15 days after sunflower emergence;
3 – Weeds removed during the first 30 days after emergence;
4 – Weeds removed during the first 45 days after emergence;
5 – Weeds present during the first 15 days after emergence, then left unmanaged;
6 – Weeds present during the first 30 days after emergence, then left unmanaged;
7 – Weeds present during the first 45 days after emergence, then left unmanaged;
8 – Continuous weed competition throughout the growing season (weedy control).

Fig. 1 – Effect of weed infestation on sunflower yield, t/ha (2021–2024)

Yield reduction is closely associated with a decrease in leaf area to 2924 cm^2 (in variant 8) and plant height to 134.0 cm. This indicates limitations in photosynthesis processes and the assimilative capacity of the crop.

Similar conclusions were presented in the work of T. D. Israel et al. [5], who reported a direct influence of weed infestation levels on leaf area index and final yield of oilseed crops. Comparable trends were observed in other studies. Specifically, B. J. Johnson [10] found that the maximum sunflower yield is achieved in the absence of weeds during the first 4–6 weeks after sowing. In the study by L. M. Alcântara et al. [11], it was noted that competition from weeds such as Urochloa decumbens and Panicum maximum negatively affects early sunflower development by reducing leaf area and plant height. Furthermore, research demonstrated that effective weed management during the first 30–45 days after emergence is critical for ensuring optimal sunflower growth and achieving high yields. This aligns with findings by M. Sattin and A. Berti [12], who emphasized the importance of weed control within the first 25–40 days after emergence to prevent significant yield losses.

Weed infestation in crops is influenced by a complex of factors, among which crop rotation and preceding crop play a decisive role [13, 14, 15], as well as the primary tillage system [16, 17, 18], nutrient regime [19], and others.

Conclusions

The formation of a stable projective cover requires effective weed control for at least the first 30–45 days after emergence. It is during this period that the structural foundation of sunflower phytomass is established, which ensures soil coverage, suppression of subsequent weed waves, and agroecological stability of the crop stand. Projective soil cover in sunflower crops is an important indicator of the effectiveness of weed control and the overall condition of the agrocenosis. Treatments with complete weed control or with weed suppression for 30–45 days after emergence developed dense projective cover due to a well-developed leaf area of sunflower. This provided uniform soil shading, contributed to moisture retention, and inhibited weed regrowth.

The duration of weed competition significantly affects the formation of projective soil cover during sunflower vegetation. The best leaf area and projective cover indices were observed in treatments with weed limitation during the first 30–45 days after emergence. Prolonged weed competition reduces biometric parameters of sunflower (plant height, leaf area) and leads to significant yield decline, confirming the importance of timely weed control during the formation of the crop's main biomass. The obtained data can be used to improve sunflower weed management systems, taking into account the specific features of projective soil cover, which will ensure increased productivity and soil fertility preservation. The results of the study underscore the necessity of implementing weed control measures during the initial stages of sunflower development, using techniques aligned with the technological requirements of crop management. This strategy maintains crop productivity, promotes the formation of effective projective cover, and enhances the agrocenosis's capacity for soil protection.

Conflict of Interest

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

***Authors contribution*:** authors have contributed equally to this work.

The work does not use artificial intelligence resources.

Reference

1. Stefanic, E., Rasic, S., Lucic, P., Zimmer, D., Mijic, A., Antunovic, S., Japundzic-Palenkic, B., Lukacevic, M., Zima, D., & Stefanic, I. (2023). The critical period of weed control influences sunflower (Helianthus annuus L.) yield, yield components but not oil content. *Agronomy*, 13(8), 2008. https://doi.org/10.3390/agronomy13082008
2. Pena-Barragán, J. M., López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., & García-Torres, L. (2010). Sunflower yield related to multi-temporal aerial photography, land elevation and weed infestation. *Precision agriculture*, *11*, 568–585. https://doi.org/10.1007/s11119-009-9149-6
3. Achasov, A. B., Sedov, A.O., & Achasova, A.O. (2016). Assessment of a contamination of crops of sunflower by means of unmanned aerial vehicles. *Man and environment. Issues of neoecology,* (26), 69–74. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2016-26-08 (in Ukrainian)
4. Gavrilyuk, Y., Aksyonov, I., Matsay, N., Beseda, A., & Aksyonova, I. (2023). Dissemination of the quarantine weeds of the genus Ambrosia in the steppe zone of Ukraine. *Acta agriculturae Slovenica*, *119*(2), 1-9. https://doi.org/10.14720/aas.2023.119.2.2492
5. Israel, T. D., Bates, G. E., Mueller, T. C., Waller, J. C., & Rhodes Jr, G. N. (2016). Effects of Aminocyclopyrachlor Plus Metsulfuron on tall fescue yield, forage quality, and ergot alkaloid concentration. *Weed Technology*, *30*(1), 171-180. https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00122.1
6. Polyakov, O. I., Nikitenko, O. V., & Karaputa, S. K. (2015). *Effect of sowing dates and crop management practices on weed infestation and yield of the sunflower hybrid Region*. Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops of NAAS of Ukraine, (22), 140–148. (in Ukrainian)
7. Shrestha A., Hembree K.J., Va, N. (2007). Growth stage influences level of resistance in glyphosate-resistant horseweed. *California Agriculture, 61*, 67–70. http://dx.doi.org/10.3733/ca.v061n02p67
8. Osipitan, O. A., Dille, A., Assefa, Y., Radicetti, E., Ayeni, A., Knezevic, S. Z. (2019). Impact of cover crop management on level of weed suppression: a meta-analysis. *Crop Science*, *59*(3), 833–842. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0589

9. Tkalich, Yu. I. (2018). Assessment of the biological and economic effectiveness of herbicides in sunflower crops. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops of NAAS of Ukraine,* (26), 98–107. https://doi.org/10.36710/ioc-2018-26-11 (in Ukrainian).
10. Johnson B. J. (1971). Effect of weed competition on sunflowers. *Weed Science. 19*(4). 378–380. https://doi.org/10.1017/S0043174500049183
11. Alcântara, L. M. da S., Lisboa, L. A. M., Storti, S. M. M., Lima, A. E. da S., Crispim, N. P. de O., Silva, G. G. da, & Cardoso, A. dos S. (2018). Initial Development of Sunflower (Helianthus annuus L.) under Weed Competition with Different Species of Grasses. *Journal of Experimental Agriculture International*, *29*(2), 1–11. https://doi.org/10.9734/JEAI/2019/45613
12. Sattin M., Berti A. (2001). Parameters for weed-crop competition. *Food and Agriculture Organization of the United Nations.* Retrieved from https://www.fao.org/4/y5031e/y5031e04.htm
13. Shevchenko, M. S., Shevchenko, O. M., & Parlikokoshko, M. S. (2010). Factors of weed control in crops and productivity of maize hybrids. *Bulletin of the Institute of Grain Farming*, (38), 25–29 (in Ukrainian)
14. Voitovyk, M. (2023). Weed infestation in sunflower agrocenoses under short-rotation crop rotations. *Foothill and Mountain Agriculture and Animal Husbandry*, (74)1, 8–21. https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-1-1 (in Ukrainian)
15. Borovyk, S. O., & Budionnyi, V. Yu. (2024). Potential weed infestation of winter rye depending on predecessors and tillage methods. Agrarian Innovations, (23), 26–31. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.4 (in Ukrainian)
16. Hutianskyi, R. A., Popov, S. I., Kostromitin, V. M., Kuzmenko, N. V., & Hlubokyi, O. M. (2021). Influence of primary tillage and fertilization on weed infestation in sunflower crops. Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region, (1), 60–68. https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109) (in Ukrainian)
17. Masyk, I., Lutsyk, R., Ustymenko, V., Lytvynenko, S., & Nedbailo, V. (2022). Weed infestation in sunflower crops under different pre-sowing tillage systems in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Proceedings of the III International Scientific and Theoretical Conference «Science of XXI century: development, main theories and achievements» (December 2, 2022; Helsinki, Finland), 52–53. https://doi.org/10.36074/scientia-02.12.2022 (in Ukrainian)
18. Laslo, O. (2023). Impact of deep and shallow primary tillage methods on potential and actual weed infestation in sunflower crops. SWorldJournal, (21-02), 15–21. https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-21-02-011 (in Ukrainian)
19. Tkachuk, O. P., & Bondaruk, N. V. (2024). Weed infestation in sunflower crops depending on fertilization. *Agrarian Innovations,* (27), 113–118. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.16 (in Ukrainian)

Submission received: 30.06.2025 / Revised: 02.08.2025 / Accepted: 10.09. 2025 / Published: 30.12. 2025

М. В. ШЕВЧЕНКО[1], д-р с.-г. наук, проф.
завідувач кафедри землеробства та гербології ім. О. М. Можейка
e-mail: nniagbio@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4915-1435

А. В. ОЛЕНЧЕНКО[1],
аспірант кафедри землеробства та гербології ім. О. М. Можейка
e-mail: Olenshenko.com99@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-0598-5904
[1]*Державний біотехнологічний університет,*
вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна

ВПЛИВ ЗАБУР'ЯНЕНОСТІ НА ЗМІНУ ПРОЕКТИВНОГО ПОКРИТТЯ ҐРУНТУ ПРОТЯГОМ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ СОНЯШНИКУ

Забур'яненість є одним із ключових факторів, що впливають на формування рослинного покриву в агроценозі. У контексті вирощування соняшнику проективне покриття ґрунту змінюється залежно від інтенсивності конкуренції з боку бур'янів, особливо в критичні періоди вегетації.

Мета. Визначити вплив різного рівня конкуренції бур'янів на динаміку проективного покриття посівів соняшнику протягом вегетаційного періоду

Методи. Польові, лабораторно-аналітичні, статистичні.

Результати. Зі зростанням тривалості конкуренції з боку бур'янів спостерігалося систематичне зниження біометричних показників рослин (висоти, площі листкової поверхні), проективного покриття культури, а також урожайності. Найвищу врожайність забезпечив повний контроль забур'яненості протягом усього вегетаційного періоду, який використано як еталон для порівняння. За короткотривалого

обмеження конкуренції бур'янів урожайність суттєво знижувалася. Подовження періоду чистоти посівів сприяло покращенню показників, проте повністю не компенсувало втрати. Вирішальне значення першого місяця вегетації як критичного періоду конкуренції з бур'янами. Встановлено, що обмеження забур'яненості протягом перших 30–45 днів після сходів сприяє кращому росту рослин, формуванню листкової поверхні та підвищенню проективного покриття ґрунту. Найефективніше формування проективного покриття й біомаси соняшника забезпечується за відсутності конкуренції з боку бур'янів упродовж перших 30–45 днів після появи сходів. Цей період можна вважати критичним для забезпечення повноцінного розвитку культури. Подальше поширення бур'янів на пізніших етапах має менш виражений вплив на морфологічні характеристики, але істотно ускладнює збирання врожаю та сприяє вторинному засміченню поля. Натомість тривала конкуренція з боку бур'янів пригнічує розвиток культури, знижує площу листків і врожайність.

Висновки. Отримані результати підтверджують важливість контролю забур'яненості у критичні періоди формування біомаси для забезпечення ґрунтозахисної функції посівів та стабільного виробництва. Запропоновані підходи можуть бути використані для удосконалення технологій вирощування соняшнику з урахуванням екологічних чинників.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *соняшник, забур'яненість, конкуренція, проективне покриття, біометричний показник, урожайність*

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу/

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Stefanic, E., Rasic, S., Lucic, P., et al. The critical period of weed control influences sunflower (Helianthus annuus L.) yield, yield components but not oil content. *Agronomy*. 2023. 13(8). 2008. https://doi.org/10.3390/agronomy13082008
2. Pena-Barragán J. M., López-Granados F., Jurado-Expósito M., García-Torres L. Sunflower yield related to multi-temporal aerial photography, land elevation and weed infestation. *Precision Agriculture.* 2010. Vol. 11 P. 568–585. https://doi.org/10.1007/s11119-009-9149-6
3. Ачасов А. Б., Седов А. О., Ачасова А. О. Оцінка забур'яненості посівів соняшника за допомогою безпілотних літальних апаратів. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2016. № 3–4(26). С. 69–74. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2016-26-08
4. Gavrilyuk Y., Aksyonov I., Matsay N., Beseda A., Aksyonova I. Dissemination of the quarantine weeds of the genus Ambrosia in the steppe zone of Ukraine. *Acta agriculturae Slovenica*. 2023. Vol. *119*(2). P. 1-9. https://doi.org/10.14720/aas.2023.119.2.2492
5. Israel T. D., Bates G. E., Mueller T. C., Waller J. C., Rhodes Jr, G. N. Effects of aminocyclopyrachlor plus metsulfuron on tall fescue yield, forage quality, and ergot alkaloid concentration. *Weed Technology*. 2016. Vol. 30(3). P. 171–180. https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00122.1
6. Поляков О. І., Нікітенко О. В., Карапута С. К. Вплив строків сівби та агроприйомів по догляду за рослинами на забур'яненість посівів соняшнику гібриду Регіон та його врожайність. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2015. № 22. С. 140–148.
7. Shrestha A., Hembree K.J., Va, N. Growth stage influences level of resistance in glyphosate-resistant horseweed. *California Agriculture*. 2007. Vol. 61. P. 67–70. http://dx.doi.org/10.3733/ca.v061n02p67
8. Osipitan O. A., Dille A., Assefa Y., et al. Impact of cover crop management on level of weed suppression: a meta-analysis. *Crop Science*. 2019. Vol. 59(3). P. 833–842. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0589
9. Ткаліч Ю. І. Оцінка біологічної та господарської ефективності гербіцидів в посівах соняшнику. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2018. № 26. С. 98–107. https://doi.org/10.36710/ioc-2018-26-11
10. Johnson B. J.Effect of weed competition on sunflowers. *Weed Science.* 1971. Vol. 19(4). P. 378–380. https://doi.org/10.1017/S0043174500049183
11. Alcântara L. M. da S., Lisboa L. A. M., Storti S. M. M, et al. Initial development of sunflower (Helianthus annuus L.) under weed competition with different species of grasses. *Journal of Experimental Agriculture International.* 2018. Vol. 29(2). P. 1–11. https://doi.org/10.9734/JEAI/2019/45613
12. Sattin M., Berti A. Parameters for weed-crop competition. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2001. URL: https://www.fao.org/4/y5031e/y5031e04.htm

13. Шевченко М. С., Шевченко О. М., Парлікокошко М. С. (2010). Фактори контролювання забур'яненості посівів і продуктивність гібридів кукурудзи. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2010. Вип. 38. С. 25–29.
14. Войтовик М. Забур'яненість агроценозів соняшнику в короткоротаційних сівозмінах. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 74 (1). С. 8–21. https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-1-1
15. Боровик С. О., Будьонний В. Ю. Потенційна забур'яненість жита озимого залежно від попередників та способів обробітку грунту. *Аграрні інновації*. 2024. Вип. 23. С. 26–31. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.4
16. Гутянський Р. А. , Попов С. І., Костромитін В. М., Кузменко Н. И., Глибокий О.М. Вплив основного обробітку ґрунту та удобрення на забур'яненість посівів соняшнику. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 1 С. 60–68. https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)
17. Масик І., Луцик Р., Устименко В., Литвиненко С., Недбайло В. Забур'яненість посівів соняшнику за використання різних систем передпосівного обробітку грунту в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Collection of scientific papers «SCIENTIA»*. 2022. С. 52–53. https://doi.org/10.36074/scientia-02.12.2022
18. Ласло О.О. Вплив способів різноглибинного основного обробітку ґрунту на потенційну і актуальну забур'яненість посіві соняшника. *SWorldJournal*. 2023. Вип. 21, № 2. С. 15–21. https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-21-02-011
19. Ткачук О. П., Бондарук Н. В. Забур'яненість посівів соняшнику залежно від удобрення. *Аграрні інновації*. 2024. Вип. 27. С. 113–118. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.16

Отримано: 30.06.2025 / Переглянуто: 02.08.2025 / Прийнято: 10.09. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-19
UDC (УДК): 502.75:582

G. SHARMA[1],
SACT of the Department of Zoology
e-mail: gopalsharma121986@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-3269-7988

R. ROUTH[1],
Assistant Professor of the Department of Zoology
e-mail: rajarouthbhbl@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-4512-2779

A. CHHETRI[1]
SACT of the Department of Zoology
e-mail: ashishsivakoti@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-3196-0637

G. BARMAN[1]
Assistant Professor of the Department of Zoology
e-mail: gyandebbarman@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7206-209X
[1]*Kalimpong College*,
Kalimpong, West Bengal, India

REVIEW NEMATODES IN TEA CULTIVATION: PATHOGENESIS AND PLANT DÉFENSE RESPONSES

Purpose. To identify the complex relationship between tea plants and important plant-parasitic nematodes, focusing on the severe damage these pests inflict on roots, as well as the sophisticated defense strategies employed by tea plants, particularly their synthesis of protective secondary metabolites to combat nematode attacks

Results. Plant-parasitic nematodes pose a serious economic danger to *Camellia sinensis*, the world's most important tea crop, resulting in yield losses of 11–55% and up to $1 billion yearly. Stunting, wilting, and decreased tea output are caused by around 80 nematode species that harm roots, including *Pratylenchus, Radopholus, Meloidogyne*, and *Hemicriconemoides.* Due to their immobility, tea plants have developed complex defense mechanisms. These include the formation of nematicidal secondary metabolites (polyphenols, alkaloids, terpenoids), systemic signaling pathways triggered by phytohormones (ethylene, jasmonate, and salicylic acid) that activate defense genes, and physical barriers such as lignin and suberin in cell walls. Nematode control is also aided by beneficial soil bacteria.

Conclusions. For sustainable management, it is essential to comprehend relationships. In order to secure the economic future of the tea business, future research should take advantage of natural defences to improve integrated pest control.

KEYWORDS: *Camellia sinensis, plant-parasitic nematodes, plant defense, secondary metabolites, integrated pest management*

Як цитувати: Sharma G., Routh R., Chhetri A., Barman G. Review nematodes in tea cultivation: pathogenesis and plant défense responses. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 249-258. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-19

In cites: Sharma, G., Routh, R., Chhetri, A., & Barman, G. (2025). Review nematodes in tea cultivation: pathogenesis and plant défense responses. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (44), 249-258. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-19

Camellia sinensis (L.) O. Kuntze, commonly known as a tea plant, is a perennial evergreen and a crucial long-term investment for agriculture in tropical and subtropical areas worldwide [1, 2]. Tea first grew in southwestern China [3] Over the following centuries, people from different cultures introduced it to new parts of the world, and it is now grown in over 60 countries on five continents [4]. Tea is enjoyed by people across all social classes, geographies,

© Sharma G., Routh R., Chhetri A., Barman G., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

and cultures. Its widespread appeal stems from its unique flavor and significant health benefits, which are attributed to compounds like tea polyphenols, amino acids, and caffeine [5,6]. Insects and pests are significant factors impacting tea production, leading to yield losses ranging from 11% to 55%. These losses are estimated to result in economic losses amounting to approximately $500 million to $1 billion in the tea industry [7]. Among the many factors limiting tea production, plant-parasitic nematodes pose a significant economic threat [8]. The nematode is a significant pathogen, primarily known for devastating tea plantations throughout Asia [9]. The global tea industry faces threats from a diverse range of plant-parasitic nematodes; Sivapalan (1972) [10] recorded over 40 species across 20 genera, while Chen and Chen (1989) [11] reported an even higher number, identifying 82 species linked to tea plants [12].

Plants, being immobile, have evolved defense mechanisms to safeguard themselves against herbivores and microbial infections [13,14]. Due to their immobility, plants face a range of challenges from both living and non-living factors in their environment, including threats from herbivores, pathogens, drought, salinity, UV exposure, temperature extremes, and nutrient deficiencies [15-17]. The perennial and monoculture nature of tea cultivation contributes to substantial annual crop losses. However, geographical variation in pest diversity is evident, influenced by factors such as climate change, altitude, and plantation age [18].

Two types of pests, namely the piercing-sucking pests and chewing pests, are associated with tea [19].

Plants and insects have coexisted for more than 350 million years, leading to the development of unique survival tactics in both groups as they evolved together [14, 20, 21]. Natural selection has enabled plants to survive changing environments by producing diverse secondary metabolites. These metabolites act as a chemical defense mechanism, protecting the plant from pathogen attack and invasion [22]. This adaptive response enables plants to defend against a wide range of threats, from pathogens and herbivores to environmental stresses like drought, salinity, and extreme temperatures [23, 24].

Classification of Tea pests. Tea pests can be categorized into three groups based on their location of infestation:

1. Root pests such as nematodes, termites, and cockchafer grubs.
2. Stem pests like the red coffee borer and stem borers.
3. Leaf pests including the tea mosquito bug, thrips, jassids, aphids, flush-worms, looper caterpillars, leaf rollers, and various mite species [25].

This review explores the complex relationship between tea plants and important plant-parasitic nematodes, focusing on the severe damage these pests inflict on roots. It also investigates the sophisticated defense strategies employed by tea plants, particularly their synthesis of protective secondary metabolites to combat nematode attacks

Root pests: Pests often affect three layers of plants: the top, midsection, and roots. Pest control often targets the top and intermediate sections of plants, with less emphasis on their roots [26]. Little is known about the interactions of root pests with host plants compared to above-ground insect herbivores [27]. A disturbed soil microflora with limited species diversity and population density of antagonists to fungal root disease agents promotes the spread and incidence of root disease and nematode infections [28]. Deep ploughing and dredging, have been effectively eliminate root pests [29].

Nematodes: Nematodes are the most abundant animals on earth and the dominant component of soil [30]. Nematodes are major pests of tea soil in nurseries and new clearings, invading tea seedlings up to 8-9 months old in young plantations. More than 40 species of plant parasitic nematodes from 20 genera have been found in various tea-growing regions across the world [31]. The activity, diversity, and distribution of soil organisms, including nematodes, are strongly influenced by soil properties. Key physical and chemical parameters such as temperature, moisture, water-holding capacity, pH, and electrical conductivity are vital for soil functioning. These factors directly shape nematode community composition and structure [32].

Nematodes have been shown to lower the leaf area and stem girth of tea plants [33]. Infestation spreads mostly through nursery plants on tea farms [25].

Various types of plant parasitic nematodes have been found in tea soils worldwide. Most of these nematodes have not been shown pathogenic (Table. 1). The following species are

known or believed to be pathogenic to tea. Species include Pratylenchus spp., Radopholus similis, Meloidogyne spp., Hemicriconemoides sp, Rotylenchulus reniformis, Heliotylenchus spp., Paratylenchus curvitatus, Hoplolaimus sp. etc.

Pratylenchus sp: *Pratylenchus* is a parasite of the tea plant in several tea-producing nations like as, the Philippines, China, Bangladesh, Taiwan, India, Vietnam, the, and Australia [34], Sri Lanka, Japan and United States [35]. This nematode is a major parasite of tea in Iran [35, 36, 37, 38], Japan [39] and Korea [40]. This worm is known as the 'upcountry species of nematode' because of its prevalence in high-elevation regions (2200-3000 m a.s.l.) [41].

Mode of damage: Plants respond with apparent symptoms only when a significant portion of their root system is damaged or stops functioning. In extreme circumstances, die-back and death can ensue [25]. The symptoms of tea root-lesion disease caused by *Pratylenchus spp*. infection includes stunting, wilting, yellowing, and a decrease in root length. Such symptoms occur when the nematodes eradicate the root system, resulting in root lesions [8].

Plant response: Tea roots have strong cuticle and cell walls, which impede *Pratylenchus* penetration. Infection-trigger Cell walls to reinforced with lignin and suberin, making the plant difficult to penetrate [42]. Tea plants generate secondary metabolites called polyphenols, which have nematicidal characteristics and impede *Pratylenchus* development and reproduction [43]. Tea plants develop a systemic response to *Pratylenchus* infection by activating defense genes and producing signalling molecules such as salicylic acid [44]. Phytohormones like ethylene and jasmonate also resit the *Pratylenchus* infection [45]. Tea plants interact with helpful bacteria in the soil, helping to reduce Pratylenchus numbers [46].

Radopholus similis: The species was initially identified as a tea pest in Java, Indonesia [47]. R. similis was detected in three locations: Bangka, Gambung in West Java, and on tea plantations elsewhere in Java [48]. Steiner and Buhrer (1933) found tea to be a suitable host for this nematode. it is found in Africa, Asia, North, and South America, Australia, and a few European countries [49]. The *Radopholus similis* was reported from 50m to 1000m altitude [50].

Mode of damage: Tea plants infested with R. similis exhibit symptoms similar to those produced by Pratylenchus loosi, including stunting with twiggy branches, defoliation, early blooming, and fruiting. Infested plants have scant and dry roots, as opposed to healthy plants' white, succulent feeder roots. R. similis causes lesions on tea roots, but they are much less than those caused by P. loosi [51].

Plant response: Plants generate secondary metabolites, which help them defend against worm infections. Secondary metabolites mostly consist of alkaloids, terpenoids, and phenylpropanoids [52]. Due to nematode infection, plants accumulate toxins, modify cell wall, and synthesize phytoalexins [53].

Meloidogyne sp: Root-knot nematodes (RKNs), Meloidogyne spp., are among the oldest and most economically important plant-parasitic nematodes (PPNs). They are serious pests in agricultural production, causing annual global losses of USD 157 billion. [54, 55] *M. javanica*, *M. incognita*, and *M. brevicaua* are common root-knot nematodes (RKN) found in tea plants, particularly in India [33] and tea growing regions of Africa [56].

Mode of damage: *Meloidogyne* enters the root and reaches the growing vascular strands at the elongation zone, resulting in many mitotic cycles without cytokinesis, which leads them to expand and become multinucleated (up to >100 nuclei), leading to the creation of "galls" or "root knots" [57]. Several physiological and morphological changes occur during the formation of root knots and turn them into nematode-feeding sites, which give nutrients for the worm's growth [58]. Seedling plants are more vulnerable to root injury (Tabl.) than vegetatively produced clonal tea plants of the same age, perhaps due to their smaller root mass [59].

Plant response: When RKNs infect a host plant, the plant initiates a defense response, both naturally and artificially, through the coordinated expression of multiple plant signaling pathways, including phytohormones such as salicylic acid, ethylene, and jasmonic acid, pathogenesis-related (PR) proteins, and various plant transcription factors. The outcomes of these highly coordinated signaling responses eventually determine the susceptibility or resistance of plants to RKNs [73]. Resistance to the root-knot nematode can be attributed to the hypersensitive response (HR) and higher phenolic levels, which result in barrier deposition (e.g., lignin) [74].

Hemicriconemoides sp: These nematodes, commonly known as 'sheathoid' nemato-

Table

Tea root Nematodes: Host Spectrum, Species Diversity, and host Interactions

Sn	Name	Distribution	No of species	Host range	Symptom	Host defence
1	*Pratylenchus sp.*	Worldwide except. Antarctica [60]	100 species [61]	400 plant species (ornamental, vegetable, tree etc) [62]	Root development disruption, poorly developed foliage [60]	Polyphenols, salicylic acid, Phytohormones like ethylene and jasmonate
2	*Radopholus sp.*	Worldwide mostly tropical and subtropical areas [63]	Around 20 Species [64]	250 plant species [65] like banana, citrus, pepper, coffee, Cucumber [63], tea [66]	Stunting with twiggy branches, defoliation, early blooming, and fruiting [51]	Alkaloids, terpenoids, phenylpropanoids and phytoalexins
3	*Meloidogyne sp.*	Worldwide [67]	Around 100 species [68]	Broad host range [69]	Gall or root-knot, effect root system, and significant yield losses [67]	Salicylic acid, ethylene, jasmonic acid, Phenolic Compound
4	*Hemicriconemoides sp.*	Worldwide [70]	54 Species [71,72]	Higher plants, primarily woody perennials, and vines [70]	Root rot, leaf necrosis, suppressed root growth, lesions, and coarse roots [70]	Alkaloids, terpenoids, and phenylpropanoids

des due to their smooth-annulated outer accessory sheath, are reported worldwide. They are associated with various higher plants, primarily woody perennials, and vines [68]. Hemicriconemoides spp. (Sheathoid nematodes) are sexually dimorphic plant-parasitic nematodes found mostly in warm areas [75] The genus Hemicriconemoides consists of 54 species [71, 72]. Hemicriconemoides is a significant nematode pest of tea in Japan [39]. The nematode has been detected in Taiwan [10] and Iran [76].

Mode of damage: Common symptoms of infestation by these nematodes include root rot, leaf necrosis, suppressed root growth, lesions, and coarse roots [65, 62]. This ectoparasitic nematode feeds only on tea feeder roots. Continuous feeding by this worm causes the sloughing off of the root cortex, producing a brownish discoloured stele [77]. Plants afflicted with these parasites may exhibit symptoms such as stunting, early wilting, leaf yellowing, root deformity, necrosis of cortical root tissues, and nutritional shortages [78].

Plant response: Plants produce secondary metabolites that help them defend against helminth infections. Secondary metabolites mainly consist of alkaloids, terpenoids, and phenylpropanoids [43].

Conclusion

Globally, tea production and economic value (Camellia sinensis) are damaged and tea production reduced up to 11-55%, with some estimates at $1 billion loss, due to yield loss and production reductions as a result of plant-parasitic nematodes. Pathogenic nematodes, including Pratylenchus, Radopholus, Meloidogyne, and Hemicriconemoides, have a lasting and damaging effect, along with wilting and reduced tea production.

Due to these challenges, the tea plant, and by extension the immobilized plant, has come up with a few layers of the defense strategy. The first part of the defense strategy is the

production of polyphenols, alkaloids, and terpenoids, which are nematicidal, and the activation of 'systemic' defense along the pathways of the 'phytohormones' ethylene, jasmonate, and salicylic acid. and the lignin and suberin pathways. Defense interactions at this level are further supported by the physical structures and beneficial microbiomes in the soil.

To develop effective and sustainable management approaches, plant-nematode interactions must be understood. Future tea production will be building this 'plant intelligence' and boosting the 'defenses.' Added these to the rest of the Integrated Pest Management (IPM) tea systems, the chance of reduced chemical dependence and economic viability increases and remains sustainable in production worldwide.

Conflict of Interest

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

***Authors Contribution*:** all authors have contributed equally to this work.

In this study, generative artificial intelligence was used only to help find and compile recent academic literature on the subject. The authors, who take full responsibility for the work's intellectual content, personally performed the crucial tasks of data analysis, information synthesis, and drawing scientific conclusions.

References

1. Zou, Y., Shen, F., Zhong, Y., Lv, C., Pokharel, S. S., Fang, W., & Chen, F. (2022). Impacts of intercropped maize ecological shading on tea foliar and functional components, insect pest diversity and soil microbes. *Plants*, *11*(14), 1883. https://doi.org/10.3390/plants11141883
2. Han, Z., Zhang, C., Zhang, H., Duan, Y., Zou, Z., Zhou, L., ... & Ma, Y. (2022). CsMYB transcription factors participate in jasmonic acid signal transduction in response to cold stress in tea plant (Camellia sinensis). *Plants*, *11*(21), 2869. https://doi.org/10.3390/plants11212869
3. Xia, E., Tong, W., Hou, Y., An, Y., Chen, L., Wu, Q., ... & Wan, X. (2020). The reference genome of tea plant and resequencing of 81 diverse accessions provide insights into its genome evolution and adaptation. *Molecular plant*, *13*(7), 1013-1026. https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.04.010
4. Yue, C., Peng, H., Li, W., Tong, Z., Wang, Z., & Yang, P. (2022). Untargeted metabolomics and transcriptomics reveal the mechanism of metabolite differences in spring tender shoots of tea plants of different ages. *Foods*, *11*(15), 2303. https://doi.org/10.3390/foods11152303
5. Chen, Y., Cheng, S., Dai, J., Wang, L., Xu, Y., Peng, X., ... & Peng, C. (2021). Molecular mechanisms and applications of tea polyphenols: A narrative review. *Journal of Food Biochemistry*, *45*(10), e13910. https://doi.org/10.1111/jfbc.13910
6. Wang, W., Zhou, X., Hu, Q., Wang, Q., Zhou, Y., Yu, J., ... & Li, X. (2025). Lignin Metabolism Is Crucial in the Plant Responses to Tambocerus elongatus (Shen) in Camellia sinensis L. *Plants*, *14*(2), 260. https://doi.org/10.3390/plants14020260
7. Kachhawa, D., & Kumawat, K. (2018). Oligonychus coffeae: red spider mite of tea: a review. *J Entomol Zool Stud*, *6*(3), 519-524. https://www.academia.edu/download/89555883/6-3-2-927.pdf
8. Rahanandeh, H., Khodakaramian, G., Hassanzadeh, N., Seraji, A., Asghari, S. M., & Tarang, A. R. (2012). Inhibition of tea root lesion nematode, Pratylenchus loosi, by rhizospher bacteria. https://www.researchgate.net/publication/339540753_Inhibition_of_Tea_Root_Lesion_Nematode_Pratylenchus_Loosi_by_rhizospher_bacteria
9. EFSA Panel on Plant Health (PLH), Bragard, C., Baptista, P., Chatzivassiliou, E., Di Serio, F., Gonthier, P., ... & Reignault, P. L. (2024). Pest categorisation of Pratylenchus loosi. *EFSA Journal*, *22*(1), e8548. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8548
10. Sivapalan, P. (1972). Nematode pests of tea. *Nematode pests of tea*. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19722001016
11. Chen, Z. M., & Chen, X. F. (1989). An analysis of world tea pest fauna. *J. Tea Sci*, *9*(1), 13-22. http://www.tscha.org/CN/abstract/abstract16.shtml
12. Paul, S. K., Ahmed, M., & Mamun, M. S. A. (2014). Biopesticides: A potential tool for the management of plant parasitic nematodes in tea. *Tea Journal of Bangladesh, 43*, 24-33. https://www.bjstea.org/tjb_vol_43_2014/5.%2520Biopesticides-%2520A%2520Potential%2520Tool%2520for%2520the%2520Management%2520of%2520Plant%2520Parasitic%2520Nematodes%2520in%2520Tea.pdf
13. Wink, M. (2008). Plant secondary metabolism: diversity, function and its evolution. *Natural Product Communications*, *3*(8), 1934578X0800300801. https://doi.org/10.1177/1934578X0800300801

14. Petschenka, G., Halitschke, R., Züst, T., Roth, A., Stiehler, S., Tenbusch, L., ... & Exnerová, A. (2022). Sequestration of defences against predators drives specialized host plant associations in preadapted milkweed bugs (Heteroptera: Lygaeinae). *The American Naturalist*, *199*(6), E211-E228. https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/719196
15. Freeman, B., & Beattie, G. (2008). An overview of plant defences against pathogens and herbivores. https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/topc/Pages/OverviewOfPlantDiseases.aspx
16. Jan, R., Asaf, S., Numan, M., & Kim, K. M. (2021). Plant secondary metabolite biosynthesis and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. *Agronomy*. *11* (5): 968. https://doi.org/10.3390/agronomy11050968
17. Teklić, T., Parađiković, N., Špoljarević, M., Zeljković, S., Lončarić, Z., & Lisjak, M. (2021). Linking abiotic stress, plant metabolites, biostimulants and functional food. *Annals of Applied Biology*, *178*(2), 169-191. https://doi.org/10.1111/aab.12651
18. Deka, B., Babu, A., Baruah, C., & Barthakur, M. (2021). Nanopesticides: A systematic review of their prospects with special reference to tea pest management. *Frontiers in Nutrition*, *8*, 686131. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.686131
19. Naskar, S., Roy, C., Ghosh, S., Mukhopadhyay, A., Hazarika, L. K., Chaudhuri, R. K., ... & Chakraborti, D. (2021). Elicitation of biomolecules as host defense arsenals during insect attacks on tea plants (Camellia sinensis (L.) Kuntze). *Applied microbiology and biotechnology*, 1-13. https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-021-11560-z
20. War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant signaling & behavior*, *7*(10), 1306-1320. https://doi.org/10.4161/psb.21663
21. Sharma, G., Kumar, A., Naushad, M., Al-Misned, F. A., El-Serehy, H. A., Ghfar, A. A., ... & Stadler, F. J. (2020). Graft copolymerization of acrylonitrile and ethyl acrylate onto Pinus roxburghii wood surface enhanced physicochemical properties and antibacterial activity. *Journal of Chemistry*, May, 1-16. https://doi.org/10.1155/2020/6285354
22. Neves, D., Figueiredo, A., Maia, M., Laczko, E., Pais, M. S., & Cravador, A. (2023). A Metabolome Analysis and the Immunity of Phlomis purpurea against Phytophthora cinnamomi. *Plants*, *12*(10), 1929. https://doi.org/10.3390/plants12101929
23. Koza, N. A., Adedayo, A. A., Babalola, O. O., & Kappo, A. P. (2022). Microorganisms in plant growth and development: roles in abiotic stress tolerance and secondary metabolites secretion. *Microorganisms*, *10*(8), 1528. https://doi.org/10.3390/microorganisms10081528
24. Simsek, M., & Whitney, K. (2024). Examination of primary and secondary metabolites associated with a plant-based diet and their impact on human health. *Foods*, *13*(7), 1020. https://doi.org/10.3390/foods13071020
25. Mamun, M. S. A., Ahmed, M., & Paul, S. K. (2011). Control of plant parasitic nematodes of tea soil using different species of green crops in Bangladesh. *Tea Journal of Bangladesh*, *40*, 1-7. https://www.bjstea.org/tjb_vol_40_2011/1.%2520Control%2520of%2520Plant%2520Parasitic%2520Nematodes%2520of%2520Tea%2520Soil%2520Using%2520Different%2520Species%2520of%2520Green%2520Crops%2520in%2520Bangladesh.pdf
26. Huang, L., Zhuang, Y., & Liu, Q. (2023). A mathematical model study on plant root pest management. *AIMS Mathematics*, *8*(4), 9965-9981. https://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/math.2023504
27. Johnson, S. N., Crawford, J. W., Gregory, P. J., Grinev, D. V., Mankin, R. W., Masters, G. J., ... & Zhang, X. (2007). Non-invasive techniques for investigating and modelling root-feeding insects in managed and natural systems. *Agricultural and Forest Entomology*, *9*(1), 39-46. https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2006.00315.x
28. Zhou, D., Feng, H., Schuelke, T., De Santiago, A., Zhang, Q., Zhang, J., ... & Wei, L. (2019). Rhizosphere microbiomes from root knot nematode non-infested plants suppress nematode infection. *Microbial Ecology*, *78*(2), 470-481. https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-019-01319-5
29. Márquez, M. (2001). Efecto de la mecanización sobre la población de plagas de la raíz en caña de azúcar y su estimación con diferentes tamaños de unidad de muestreo. In: *Memoria X Congreso Nacional de la Caña de Azúcar y II Simposio Nacional de Plagas*. Guatemala, ATAGUA. (pp. 15-20). https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/572719.pdf#page=217
30. Van Den Hoogen, J., Geisen, S., Routh, D., Ferris, H., Traunspurger, W., Wardle, D. A., ... & Crowther, T. W. (2019). Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. *Nature*, *572*(7768), 194-198. https://www.nature.com/articles/s41586-019-1418-6
31. Monjil, M. S. (2024). Current status of nematode problems of crops in Bangladesh. *Nematode Problems in Crops and their Management in South Asia*, 73. https://www.researchgate.net/profile/Shanowly-Mondal-Ghosh/publication/384253890_Nematode_Problems_in_Crops_and_their_Management_in_South_Asia_hard_man_v1_1/links/66f14c6119c9496b1fb7ea77/Nematode-Problems-in-Crops-and-their-Management-in-South-Asia-hard-man-v1-1.pdf

32. Al-Ghamdi, A. A. M. (2021). Relationship between nematodes and some soil properties in the rhizosphere of banana plants. *International Letters of Natural Sciences, 82*. https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.82.1
33. Orisajo, S. B. (2012). Distribution of plant-parasitic nematodes associated with tea in Nigeria. *World journal of Agricultural sciences, 8*(5), 459-463. https://www.idosi.org/ajbas/ajbas5(4)13/5.pdf
34. EFSA Panel on Plant Health (PLH), Bragard, C., Baptista, P., Chatzivassiliou, E., Di Serio, F., Gonthier, P., ... & Reignault, P. L. (2024). Pest categorisation of Pratylenchus loosi. *EFSA Journal, 22*(1), e8548. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8548
35. Amarasena, P. G. D. S., Mohotti, K. M., De Costa, D. M., & Fosu-Nyarko, J. (2020). Morphometric and molecular characterization of isolates of the root lesion nematode, Pratylenchus loosi infecting tea in Sri Lanka. *Tropical Agricultural Research, 31*(1). https://doi.org/10.4038/tar.v31i1.8344
36. Pourjam, E., Kheiri, A., & Geraert, E. (1997). The genus Pratylenchus Filip'jev, 1936 (Tylenchida: Pratylenchidae) from North of Iran. The genus Pratylenchus Filip'jev, 1936 (Tylenchida: Pratylenchidae) from North of Iran., 62(3a), 741-756. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19981700196
37. Pourjame, E., Waeyenberge, L., Moens, M., & Geraert, E. (1999). Morphological, morphometrical and molecular study of Pratylenchus coffeae and P. loosi (Nematoda: Pratylenchidae). https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20001701238
38. Seraji, A., Pourjam, E., Tanha, M. Z., & Safaei, N. (2007). Biology and population dynamics of tea root lesion nematode (Pratylenchus loosi) in Iran. https://sid.ir/paper/48216/en
39. Kaneko, T., & Ichinohe, M. (1968). Notes on the nematode species and their bionomics associated with tea roots in Japan. *Review of Plant Protection Research, 1*, 122-124. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19670801585
40. Park ByeongYong, P. B., Choi DongRo, C. D., Lee JaeKook, L. J., Choi YoungEoun, C. Y., & Shin GilHo, S. G. (2002). An unrecorded species of Pratylenchus loosi Loof (Tylenchida: Pratylenchidae) from tea in Korea. https://koreascience.kr/article/JAKO200211921497549.pdf
41. Kidane, S. A., Meressa, B. H., Haukeland, S., Hvoslef-Eide, T., Magnusson, C., Couvreur, M., ... & Coyne, D. L. (2020). Occurrence of plant-parasitic nematodes on enset (Ensete ventricosum) in Ethiopia with focus on Pratylenchus goodeyi as a key species of the crop. *Nematology, 23*(5), 529-541. https://brill.com/view/journals/nemy/23/5/article-p529_5.xml?language=en&srsltid=AfmBOop1qFraZztdG4cegzlY2t9j59ZbABnU0k-I_krbP0e8tEIvP-NA
42. Vilas, J. M., Romero, F. M., Rossi, F. R., Marina, M., Maiale, S. J., Calzadilla, P. I., ... & Gárriz, A. (2018). Modulation of plant and bacterial polyamine metabolism during the compatible interaction between tomato and Pseudomonas syringae. *Journal of plant physiology, 231*, 281-290. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.09.014
43. Barbosa, P., Faria, J. M., Cavaco, T., Figueiredo, A. C., Mota, M., & Vicente, C. S. (2024). Nematicidal activity of phytochemicals against the root-lesion nematode Pratylenchus penetrans. *Plants*, *13*(5), 726. https://doi.org/10.3390/plants13050726
44. Abd-Elgawad, M. M. (2021). Optimizing safe approaches to manage plant-parasitic nematodes. *Plants*, *10*(9), 1911. https://doi.org/10.3390/plants10091911
45. Sikder, M. M., & Vestergård, M. (2020). Impacts of root metabolites on soil nematodes. *Frontiers in plant science*, *10*, 1792. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01792
46. Rahanandeh, H., Khodakaramian, G., Hassanzadeh, N., Seraji, A., & Asghari, S. M. (2013). Evaluation of antagonistic Pseudomonas against root lesion nematode of tea. http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.3.32-40
47. Campos, V. P., Sivapalan, P., & Gnanapragasam, N. C. (1990). Nematode parasites of coffee, cocoa and tea. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19901146381
48. Djiwanti, S. R. (2019, March). Taxa status of some reported plant parasitic nematodes in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *250*(1), 012100. IOP Publishing. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/250/1/012100/meta
49. Kuhlmann, U., Jenner, W., & Reeder, R. (2023). PlantwisePlus Annual Report 2022. https://www.plantwise.org/Uploads/Plantwise/PlantwisePlus/PlantwisePlus_Annual_Report_2022.pdf
50. Hulupi, R., Mulyadi, M., & Andayani, B. (2006). Distribution of Radopholus Similis and Pratylenchus CoffeaeNematodes in Coffee Plantation. *Pelita Perkebunan, 23*(3), 158458. https://www.neliti.com/publications/158458/distribution-of-radopholus-similisand-pratylenchus-coffeaenematodes-in-coffee-pl
51. Gnanapragasam, N. C. (1983). Incidence of nematode damage in the mid-country caused by the burrowing nematode, Radopholus similis. *Tea Quarterly*, *52*(1). https://sljournals.tripod.com/tea-quaterly-abstracts/tq-abstracts-v52-n1.html#ganapragasam
52. Chitwood, D. J. (2003). Nematicides. *Encyclopedia of agrochemicals*. https://doi.org/10.1002/047126363X.agr171
53. Appel, H. M. (1993). Phenolics in ecological interactions: the importance of oxidation. *Journal of chemical ecology*, *19*, 1521-1552. https://link.springer.com/article/10.1007/BF00984895

54. Abad, P., Gouzy, J., Aury, J. M., Castagnone-Sereno, P., Danchin, E. G., Deleury, E., ... & Wincker, P. (2008). Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode Meloidogyne incognita. *Nature biotechnology*, *26*(8), 909-915. https://www.nature.com/articles/nbt.1482
55. Rusinque, L., Camacho, M. J., Serra, C., Nobrega, F., & Inacio, M. L. (2023). Root-knot nematode assessment: species identification, distribution, and new host records in Portugal. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1230968. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1230968
56. Kamunya, S. M., Lang'at, J. K., Muoki, R. C., Nyabundi, K., Wachira, F. N., Otieno, W., & Sudoi, V. (2008). Performance of tea clones established in root knot nematode host spots under varying treatment regimes. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20103355298
57. Smant, G., Helder, J., & Goverse, A. (2018). Parallel adaptations and common host cell responses enabling feeding of obligate and facultative plant parasitic nematodes. *The Plant Journal*, *93*(4), 686-702. https://doi.org/10.1111/tpj.13811
58. Palomares-Rius, J. E., Escobar, C., Cabrera, J., Vovlas, A., & Castillo, P. (2017). Anatomical alterations in plant tissues induced by plant-parasitic nematodes. *Frontiers in plant science*, *8*, 288614. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01987
59. Gnanapragasam, N. C., & Mohotti, K. M. (2018). Nematode parasites of tea. In *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (pp. 584-616). Wallingford UK: CAB International. https://doi.org/10.1079/9781786391247.0584
60. Kantor, C., Eisenback, J. D., & Kantor, M. (2024). Biosecurity risks to human food supply associated with plant-parasitic nematodes. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1404335. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1404335
61. Handoo, Z. A., Skantar, A. M., Kantor, M. R., Hafez, S. L., & Hult, M. N. (2020). Molecular and morphological characterization of the amaryllis lesion nematode, Pratylenchus hippeastri (Inserra et al., 2007), from California. *Journal of Nematology*, *52*, e2020-58. https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-058
62. Figueiredo, J., Vieira, P., Abrantes, I., & Esteves, I. (2022). Commercial potato cultivars exhibit distinct susceptibility to the root lesion nematode pratylenchus penetrans. *Horticulturae*, *8*(3), 244. https://doi.org/10.3390/horticulturae8030244
63. Bahadur, A. (2022). Vegetables Crops in India. Nematodes: Recent advances, management and new perspectives, 3. https://www.intechopen.com/chapters/77474
64. Trinh, P. Q., Nguyen, C. N., Waeyenberge, L., Subbotin, S. A., Karssen, G., & Moens, M. (2004). Radopholus arabocoffeae sp. n.(Nematoda: Pratylenchidae), a nematode pathogenic to Coffea arabica in Vietnam, and additional data on R. duriophilus. *Nematology*, *6*(5), 681-693. https://brill.com/view/journals/nemy/6/5/article-p681_6.xml
65. Bernard, G. C., Egnin, M., & Bonsi, C. (2017). The impact of plant-parasitic nematodes on agriculture and methods of control. In Nematology-concepts, diagnosis and control. IntechOpen. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2575514
66. Djiwanti, S. R. (2019, March). Taxa status of some reported plant parasitic nematodes in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 250, No. 1, p. 012100). IOP Publishing. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/250/1/012100/meta
67. Rusinque, L., Camacho, M. J., Serra, C., Nobrega, F., & Inacio, M. L. (2023). Root-knot nematode assessment: species identification, distribution, and new host records in Portugal. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1230968. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1230968
68. Subbotin, S. A., Rius, J. E. P., & Castillo, P. (2021). Systematics of root-knot nematodes (Nematoda: Meloidogynidae) (Vol. 14). Brill. https://books.google.co.in/books?hl=en&lr=&id=xs87EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=76.%09Subbotin,+S.+A.,+Rius,+J.+E.+P.,+%26+Castillo,+P.+(2021).+Systematics+of+root-knot+nematodes+(Nematoda:+Meloidogynidae)+(Vol.+14).+Brill&ots=g2eW0hg5SX&sig=CiExGlpd4A8q54llB9oXktn8gy8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
69. Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G., ... & Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, *14*(9), 946-961https://doi.org/10.1111/mpp.12057
70. Sharma, H., & Chaubey, A. K. (2023). Molecular and phenotypic characterization of Hemicriconemoides rosae (Rathour et al., 2003) from mustard rhizosphere in India. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, *84*(1), 16. https://link.springer.com/article/10.1186/s41936-023-00338-6
71. Maria, M., Cai, R., Castillo, P., & Zheng, J. (2018). Morphological and molecular characterisation of Hemicriconemoides paracamelliae sp. n. (Nematoda: Criconematidae) and two known species of Hemicriconemoides from China. *Nematology*, *20*(5), 403-422. https://brill.com/view/journals/nemy/20/5/article-p403_1.xml?srsltid=AfmBOoquG5CRSXJP1NNSxZ52bjdYXIcGJv0PhYPKzSIbckAFeUAKPFen
72. Khan, M. R., Phani, V., Chauhan, K., Somvanshi, V. S., Pervez, R., & Walia, R. K. (2019). Redescription and molecular characterisation of Hemicriconemoides rosae Rathour, Sharma, Singh & Ganguly, 2003 from

rhizosphere of sugarcane in India. *Nematology*, *21*(7), 767-778. https://brill.com/view/journals/nemy/21/7/article-p767_8.xml
73. Li, J., Zou, C., Xu, J., Ji, X., Niu, X., Yang, J., ... & Zhang, K. Q. (2015). Molecular mechanisms of nematode-nematophagous microbe interactions: basis for biological control of plant-parasitic nematodes. *Annual review of phytopathology*, *53*, 67-95. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120336
74. Khanam, S. (2016). Characterisation of the interaction between rice and the parasitic nematode Ditylenchus angustus (Doctoral dissertation, Ghent University). https://core.ac.uk/download/pdf/55817068.pdf
75. Geraert, E. (2010). The Criconematidae of the world: identification of the family Criconematidae (Nematoda). Academia press. https://books.google.co.in/books?hl=en&lr=&id=mnfidGUVitoC&oi=fnd&pg=PA4&dq=63.%09Geraert,+E.+(2010).+The+Criconematidae+of+the+world:+identification+of+the+family+Criconematidae+(Nematoda).+Academia+press&ots=5-oFCgh-CHy&sig=eOM0ovyrqFoabtyaVaZpoS6IgGY&redir_esc=y#v=onepage&q=63.%09Geraert%2C%20E.%20(2010).%20The%20Criconematidae%20of%20the%20world%3A%20identification%20of%20the%20family%20Criconematidae%20(Nematoda).%20Academia%20press&f=false
76. Mirghasemi, N., Fanelli, E., Vovlas, A., Troccoli, A., Jamali, S., & De Luca, F. (2024). First Report of Hemicriconemoides kanayaensis (Nematoda: Criconematidae) on Tea Plantations in Iran. *Journal of Nematology*, *56(*1), 20240044. https://doi.org/10.2478/jofnem-2024-0044
77. Takagi, K. (1969) Nematodes confronts tea plantations in Japan. *Japanese Agricultural Research Quarterly 4*, 27–32. https://www.jircas.go.jp/en/publication/jarq/4/1-27-32
78. McSorley, R., Campbell, C. W., & Goldweber, S. (1981). Observations on a mango decline in south Florida. In *Proceedings of the... annual meeting of the Florida State Horticultural Society* (Vol. 93). https://ufdc.ufl.edu/UF00097625/00093/284

Submission received: 07.09.2025 / Revised: 09.11.2025 / Accepted: 14.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

G. SHARMA[1],
Викладач кафедри зоології
e-mail: gopalsharma121986@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-3269-7988

R. ROUTH[1],
Доцент кафедри зоології
e-mail: rajarouthbhbl@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-4512-2779

A. CHHETRI[1],
Викладач кафедри зоології
e-mail: ashishsivakoti@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-3196-0637

G. BARMAN[1]
Доцент кафедри зоології
e-mail: gyandebbarman@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7206-209X
[1]*Коледж Калімпонг,*
Калімпонг, Західна Бенгалія, Індія

НЕМАТОДИ У ВИРОЩУВАННІ ЧАЮ: ПАТОГЕНЕЗ ТА ЗАХИСНІ РЕАКЦІЇ РОСЛИН (ОГЛЯД)

Мета. Визначити складний зв'язок між чайними рослинами та важливими рослинними паразитичними нематодами, зосереджуючись на серйозній шкоді, яку ці шкідники завдають коріннюю, також складні захисні стратегії, що використовуються чайними рослинами, зокрема їхній синтез захисних вторинних метаболітів для боротьби з атаками нематод.

Результати. Фітопаразитичні нематоди становлять серйозну економічну загрозу для Camellia sinensis, найважливішої чайної культури у світі, що призводить до втрат врожаю на 11–55% та до 1 мільярда доларів щорічно. Затримка росту, в'янення та зниження врожаю чаю спричинені близько 80 видами нематод, які пошкоджують коріння, включаючи Pratylen-chus, Radopholus, Meloidogyne та Hemicriconemoides.

Через свою нерухомість чайні рослини розвинули складні захисні механізми. До них належать утворення нематоцидних вторинних метаболітів (поліфенолів, алкалоїдів, терпеноїдів), системні сигнальні шляхи, що запускаються фітогормонами (етилен, жасмонат та саліцилова кислота), що активують захисні гени, та фізичні бар'єри, такі як лігнін та суберин у клітинних стінках. Контроль нематод також здійснюється корисними ґрунтовими бактеріями.

Висновки. Для сталого управління важливо розуміти взаємозв'язки. Щоб забезпечити економічне майбутнє чайного бізнесу, майбутні дослідження повинні використовувати природні захисні механізми для покращення комплексної боротьби зі шкідниками.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *Camellia sinensis, рослинні паразитичні нематоди, захист рослин, вторинні метаболіти, інтегрована боротьба зі шкідниками*

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

У цьому дослідженні штучний інтелект використовувався тільки для пошуку та компіляції актуальної наукової літератури за цією темою. Автори, несуть повну відповідальність за інтелектуальний зміст роботи, особисто виконували найважливіші завдання аналізу даних, синтезу інформації та формулювання наукових висновків.

Отримано: 07.09.2025 / Переглянуто: 09.11.2025 / Прийнято: 14.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

ХРОНІКА

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-20
УДК (UDC): 504+ 061.3(477)

А. А. ГРЕЧКО[1], д-р філософії з Наук про Землю
доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-mail: a.a.hrechko@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9987-2586

А. А. КЛЄЩ[1], канд. географ. наук,
доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-mail: klieshch@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1379-1043
[1]*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*,
4, Майдан Свободи, Харків, 61022, Україна

ПРО ПРОВЕДЕННЯ XXI ВСЕУКРАЇНСЬКИХ НАУКОВИХ ТАЛІЇВСЬКИХ ЧИТАНЬ

31 жовтня 2025 року проведено першу конференцію в рамках нового структурного підрозділу Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна - Навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку - XXI Всеукраїнські наукові Таліївські читання, які традиційно організувала кафедра екологічного моніторингу та заповідної справи.

Захід проведено у дистанційному форматі на платформі Zoom, що дало змогу залучити широке коло учасників з різних регіонів України. На конференції традиційно заслухано доповіді за наступними темами: вплив війни на компоненти довкілля, сучасні проблеми раціонального природокористування та охорони природи та оцінка екологічного стану компонентів і комплексів довкілля та висвітлено наукові та освітянські проблеми екології та заповідної справи в Україні. Проведена Панельна дискусія за проєктом DOMANI - «Розвиток мікро-кредитних екосистем в Україні та Монголії для конкурентоспроможної та стійкої зеленої економіки».

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *конференція, вплив війни на довкілля, наукова проблема, заповідна справа, раціональне природокористування, Erasmus+, DOMANI проєкт*

Як цитувати: Гречко А. А., Клєщ А. А. Про проведення XXI Всеукраїнських наукових Таліївських читань. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 44. С. 259-267. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-20

In cites: Hrechko A. A., & Klieshch, A. A. (2025). On the XXI All-Ukrainian scientific Taliyiv readings . *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (44), 259-267. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-20

31 жовтня 2025 року відбулася XXI Всеукраїнська наукова конференція «Таліївські читання», присвячена актуальним питанням екології, природокористування та охорони навколишнього середовища [1]. Захід традиційно організовано Навчально-науковим інститутом екології, зеленої енергетики та сталого розвитку Харківського національного університету В. Н. Каразінського.

Зустріч відбулась у дистанційному форматі з використанням платформи Zoom, що дало можливість об'єднати представників з різних регіонів України та створити простір для обміну науковим досвідом і результатами досліджень.

Метою конференції є обговорення результатів новітніх досліджень, що охоплю ють широке коло екологічних проблем – від впливу війни на стан природного середовища до сучасних підходів до охорони біорізноманіття та розвитку екологічної освіти.

Конференція об'єднала 116 провідних науковців, дослідників, викладачів, аспірантів та студентів, які представили результати сучасних екологічних досліджень. та подали матеріали для публікації за такими секціями:

1. Оцінка впливу війни на екологічний стан компонентів і комплексів довкілля.
2. Сучасні проблеми раціонального природокористування та охорони природи.

© Гречко А. А., Клєщ А. А. 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

3. Наукові й освітянські проблеми екології та заповідної справи в Україні.

Організаційний комітет очолила Ганна Тітенко, кандидат географічних наук, доцент, в.о. директора навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку. Заступником голови виступила Надія Максименко, доктор географічних наук, професор, завідувачка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи. До роботи наукового комітету конференції долучились: Андрій Ачасов доктор сільськогосподарських наук, професор, в.о. завідувача кафедри екології та менеджменту довкілля Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, та партнери – Любомир Царик доктор географічних наук, професор, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Сергій Сонько доктор географічних наук, професор, Уманський національний університет, Ірина Шпаківська кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту екології Карпат НАН України, Алла Шумілова кандидат географічних наук, Національний природний парк «Слобожанський». До роботи комітету долучились представники кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи – Ірина Коваль доктор с.-г. наук, провідний науковий співробітник відділу лісівництва та економіки лісового господарства сектору екології лісу УкрНДІЛГА імені Г. Н. Висоцького, Віталій Безсонний - доктор техн. наук, доцент кафедри готельного ресторанного бізнесу і крафтових технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця, Алла Некос - доктор геогр. наук, професор, професор кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи, Олена Гололобова кандидат с.-г. наук, доцент, доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи, Анастасія Клєщ -кандидат геогр. наук, доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи, Світлана Бурченко доктор філософії з Наук про Землю, доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи та Аліна Гречко доктор філософії з Наук про Землю, доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи.

У роботі конференції взяли участь представники таких закладів вищої освіти: Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Українського державного університету імені Михайла Драгоманова, Львівського національного університету імені Івана Франка, Уманського національного університету садівництва, Київського національного університету імені Т. Г. Шевченка, Національного університету «Києво-Могилянська академія», Національного авіаційного університету, Луцького національного технічного університету, Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, а також наукових установ – Інституту екології Карпат НАН України, Державного природознавчого музею НАН України, Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького.

Свої матеріали представили й співробітники Національних природних парків «Бойківщина» (смт Бориня) та «Пирятинський» (м. Пирятин), а також викладачі й студенти Малинського фахового коледжу та Житомирського агротехнічного фахового коледжу.

Конференція відбулась за підтримки проєкту Erasmus+, DOMANI «Developing Micro-credentials Ecosystems in Ukraine and Mongolia for Competitive and Resilient Green Economies» [2]. Проведена Панельна дискусія за проєктом DOMANI - «Розвиток мікрокредитних екосистем в Україні та Монголії для конкурентоспроможної та стійкої зеленої економіки».

До роботи пленарного засідання долучились представники: Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Інституту екології Карпат НАН України, Національного природного парку «Бойківщина», Державного природознавчого музею НАН України, Львівського національного університету імені Івана Франка, Київського національного університету імені Т. Г. Шевченка, Національного університету «Києво-Могилянська академія», Природного заповідника «Медобори».

Пленарне засідання розпочалось англомовною доповіддю доц. Аліни Гречко та Руслана Калашнікова «Сучасні тенденції розвитку органічного землеробства в Україні».

Колектив авторів, до якого входить Оксана Марискевич, Юрій Геряк, Анна Гірна, Катерина Данилюк, Наталія Демчишин, Іра Казибрід, Ігор Пижик, Марина Рагуліна та Ірина Шпаківська з Інституту екології Карпат

НАН України, Національного природного парку «Бойківщина» та Державного природознавчого музею НАН України представили доповідь на тему «Інвентаризація водно-болотного угіддя міжнародного значення «Верхове болото Надсяння» (Українські Карпати)» (доповідач с.н.с. Ірина Шпаківська).

Другий англомовний виступ на тему «Зміна температури в місті Харкові 2015-2020 роках» представив студент Каразінського ННІ екології, зеленої енергетики і сталого розвитку Дмитро Доля в співавторстві з проф. Надією Максименко та ст. вик. Надією Черкашиної (рис. 1).

Львівський національний університет імені Івана Франка під час пленарного засідання представили автори доповіді «Рельєф і природокористування у межах Славської територіальної громади Львівської області» доц. Брусак Віталій та Глюдз Ганна.

Колектив авторів з Київського національного університету імені Т. Г. Шевченка, Національного університету «Києво-Могилянська академія» та Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна у складі проф. Лідії Горошкової, доц. Олександра Меньшова, Станіслава Горошкова та Юлії Корнійчук представили дослідження впливу війни на екологічний стан острову Хортиця та річки Десна.

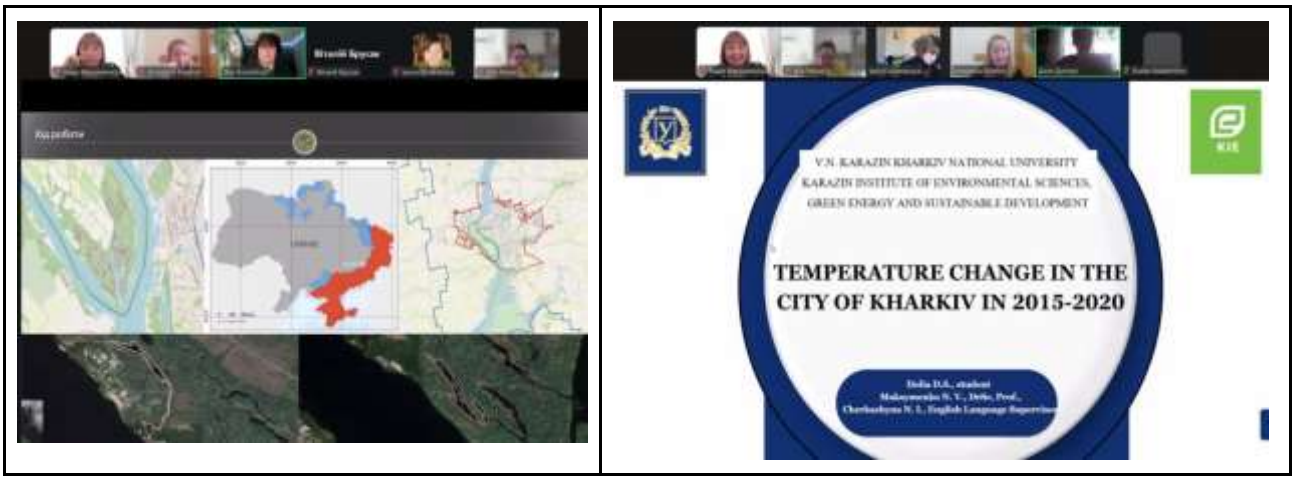


Рис. 1 – Виступи пленарного засідання XXI Всеукраїнських наукових Таліївських читань

Fig. 1- Speeches of the plenary session of the XXI All-Ukrainian Scientific Taliiv Readings

Наукову доповідь «Підземне озеленення як інструмент формування комфортного та стійкого урбаністичного середовища» представили автори Дмитро Лаптєв і доц. Іветта Кривицька.

Дар'я Кашкабаш та доц. Анастасії Клєщ представили спільну роботу «Класифікація земного покриву методами машинного навчання в ГІС-середовищі (на прикладі Індустріального району м. Харкова).

Ще одну спільну роботу Інституту Екології Карпат НАН України з Природним заповідником «Медобори» Ірини Шпаківської, Андрія-Тараса Башти, Анни Гірної, Оксани Леневич, Ігоря Пижика, Інни Царик, Павла Ященко та Арсен Капустинський представила від колективу авторів – снс Ірина Шпаківська на тему «Структурно-функціональна організація природних старовікових лісів природного заповідника «Медобори»».

Своє спільне дослідження з проф. Андрієм Ачасовом представив Олексій Немошкалов на тему «До питання дистанційного моніторингу мілітарного забруднення ґрунтів за даними космічної зйомки».

Кожна доповідь викликала жваву дискусію. Виступаючі запропонували ідею створення онлайн платформи для обговорення нових наукових тематик, методології проведення досліджень та отриманих результатів. Затверджено резолюції про створення наукового-онлайн майданчику для обміну результатами між науковими установами, закладами вищої освіти та об'єктами природно-заповідного фонду.

Робота в секціях. Секція «*Оцінка впливу війни на екологічний стан компонентів і комплексів довкілля*» об'єднала представників провідних університетів і наукових установ України, які представили ґрунтовні дослідження, присвячені сучасним екологічним

проблемам, спричиненим війною, та шляхам їх подолання. Доповіді учасників охоплювали широкий спектр питань – від деградації природних екосистем до впровадження інноваційних технологій моніторингу й післявоєнного відновлення довкілля.

Представники Українського державного університету імені Михайла Драгоманова – проф. Наталія Волошина, Катерина Бондар, та Іван Яцканич – зосередили увагу на стратегічних аспектах відновлення біорізноманіття України після війни. Їхня доповідь розкрила підходи до реабілітації природних комплексів і підкреслила важливість інтеграції екологічних принципів у державну політику повоєнного розвитку.

Алла Віцюк з Міжнародної академії екології та медицини у своїй роботі порушила проблему масштабного забруднення довкілля, спричиненого військовими діями. Авторка наголосила на зростанні рівня хімічних і токсичних речовин у повітрі, воді та ґрунтах, що створює загрозу як для екосистем, так і для здоров'я населення.

Проф. Аліна Дичко (Національний транспортний університет) і Юлія Мінаєва (Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського) представили спільне дослідження, присвячене екологічним наслідкам підриву Каховської ГЕС. У доповіді було висвітлено катастрофічний вплив руйнування гідроспоруди на водні ресурси, ґрунти та біорізноманіття, а також окреслено довгострокові екологічні ризики для Півдня України.

Іван Ковальов та проф. Андрій Ачасов з Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна представили інноваційне дослідження, присвячене використанню супутникових даних для моніторингу стану лісових екосистем. Автори продемонстрували можливості дистанційного зондування Землі для виявлення зон пошкоджень, пожеж та вирубок, що виникли внаслідок бойових дій. Цю тематику продовжили Дарина Кочетига і проф. Надія Максименко з того ж університету, які на прикладі Вовчанської ОТГ оцінили масштаби втрати лісового покриву під час війни, показавши, як антропогенний і військовий вплив призводить до глибоких екологічних трансформацій.

Важливу увагу у межах секції приділено ґрунтам як основному компоненту біосфери, що зазнає потужного руйнування під час війни. Проф. Олексій Крайнюков і Віктор Філатов (Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна) у двох доповідях представили системний аналіз впливу бойових дій на стан ґрунтового покриву, а також описали методики біотестування, які дають змогу об'єктивно оцінювати рівень мілітарного забруднення та токсичності.

Окрему групу становили дослідження, присвячені стійкому розвитку та продовольчій безпеці в умовах війни. Доц. Іветта Кривицька у своїй доповіді наголосила на ролі насінництва як ключового чинника забезпечення продовольчої стабільності та незалежності України в період відновлення.

Завершили секцію Владислав Максименко та проф. Віталій Безсонний, які представили доповідь про гібридну систему моніторингу екологічного стану поверхневих вод із використанням інтелектуального аналізу супутникових даних. Їхня робота показала перспективність поєднання цифрових технологій і природоохоронних методів для оперативного виявлення змін у водних екосистемах.

Узагальнюючи результати роботи секції, можна зазначити, що всі представлені дослідження відзначаються міждисциплінарним характером, поєднанням класичних методів екологічного аналізу з сучасними технологіями моніторингу та моделювання. Вони свідчать про високий рівень наукової взаємодії українських університетів і про прагнення науковців знайти реальні шляхи відновлення природного середовища, збереження біорізноманіття та забезпечення екологічної безпеки країни у післявоєнний період.

Друга секція «Наукові та освітянські проблеми екології та заповідної справи в Україні» представила широкий спектр досліджень, зосереджених на формуванні екологічної свідомості, методах управління природними ресурсами та ролі освіти у розвитку сталого ставлення до довкілля. Учасники секції висвітлили як фундаментальні наукові питання, пов'язані з екологічними процесами в різних регіонах України, так і практичні аспекти підготовки майбутніх фахівців у сфері екології та природоохоронної діяльності.

Марина Карпович (Малинський фаховий коледж) у доповіді «Виховання екологічної свідомості та культури поведінки у здобувачів освіти Малинського фахового коледжу» підкреслила важливість формування відповідального ставлення до довкілля вже на етапі

професійної підготовки, показавши, як освітній процес може інтегрувати знання про екологічні цінності та культуру поведінки.

Проф. Ірина Коваль та Вадим Гололобов у роботі «Порівняння відгуку радіального приросту сосни звичайної та модрини японської на зміну клімату у насадженнях Лівобережного лісостепу» проаналізували вплив кліматичних змін на ріст дерев, демонструючи різницю у продуктивності двох видів хвойних дерев у різних умовах. Аналогічна проблематика розкривається у доповіді проф. Ірини Коваль, Руслана Сербака та Дмитра Ониська «Дослідження букових деревостанів дендрохронологічними методами в Карпатах», де застосування дендрохронології дозволило оцінити річні прирости та довгострокові зміни деревостанів під впливом кліматичних факторів.

Єлизавета Коротецька та проф. Надія Максименко у доповіді «Рекреаційна ємність об'єктів ПЗФ Львівської області» дослідили, наскільки природоохоронні території відповідають потребам населення у рекреації та відпочинку, одночасно зберігаючи екологічний баланс. Доц. Валерій Левченко та Алла Романюк у роботі «Вивчення впливу погодно-кліматичних факторів, періодичності лісових пожеж на продуктивність сосни звичайної в контексті хроматографічного сканування річних приростів у лісорослинних умовах Поліського природного заповідника» показали, як природні чинники, включаючи частоту лісових пожеж, впливають на продуктивність деревостанів і їх екологічну стабільність.

Анна Луценко та проф. Алла Некос у доповіді «Взаємодія людини і довкілля: від античності до сучасної екологічної кризи» проаналізували історичні підходи до взаємодії людини і природи, демонструючи, як розвиток екологічної свідомості відображався у різні епохи і як це формує сучасну екологічну кризу. Марія Москвітіна та доц. Олена Гололобова у роботі «Міжнародний досвід реалізації положень Карпатської конвенції» висвітлили приклади успішного впровадження міжнародних природоохоронних норм, підкресливши важливість співпраці держав для збереження біорізноманіття.

Професори Алла Некос та Віталій Безсонний разом з Максимом Балюком у доповіді «Сучасні аспекти екологічної безпеки людини» та також проф. Алла Некос, проф. Віталій Безсонний, доц. Едуард Кочанов у роботі «Екологічна освіта як стратегічний чинник формування культури майбутнього суспільства» розкрили проблеми охорони здоров'я і безпеки людини, показавши, що екологічна освіта є ключовим фактором формування стійкого ставлення до довкілля.

Олександра Орєхова та проф. Надія Максименко у доповіді «Щодо необхідності фахової підготовки для роботи на об'єктах ПЗФ: студентські роздуми» акцентували на важливості практичної підготовки майбутніх фахівців для ефективного управління природоохоронними територіями. Доц. Маргарита Радомська у своїй роботі показала, як заклади вищої освіти сприяють розвитку екологічної рівності та доступу до природоохоронних знань. Доценти Віталіна та Микола Федонюк у доповіді «Аспекти гуртковой роботи екологічного спрямування у закладах вищої освіти» висвітлили значення позакласної діяльності у формуванні екологічної компетентності та активної громадянської позиції студентів.

Узагальнюючи, можна констатувати, що друга секція відзначалась комплексним поєднанням фундаментальних і прикладних досліджень у галузі екології та природоохоронної справи. Автори підкреслювали значення екологічної освіти, міждисциплінарних підходів та міжнародного досвіду у формуванні стійкого ставлення до довкілля, розвитку екологічної культури та забезпеченні безпечного та збалансованого управління природними ресурсами в Україні.

Секція «Сучасні проблеми раціонального природокористування та охорони природи» охопила надзвичайно широкий спектр екологічних досліджень – від питань водних ресурсів, стану ґрунтів і лісових екосистем до управління екологічними ризиками, сталого агровиробництва та впровадження природоорієнтованих рішень. Представлені роботи демонструють високий рівень міждисциплінарності та тісний зв'язок наукових досліджень з практичними завданнями охорони довкілля.

Каріна Бабічева та доц. Катерина Борисенко у роботі Waterfalls of Ukraine as tourist and conservation objects: problems of research and rational use розглянули потенціал водоспадів як об'єктів природної та туристичної цінності, підкресливши необхідність поєднання охоронних і рекреаційних функцій у їхньому використанні. Проф. Віталій Безсонний (Simon Kuznets Kharkiv

National University of Economics) у дослідженні Environmental certification as a tool for rational nature management in the hospitality sector проаналізував роль екологічної сертифікації в розвитку сталого туризму та готельного бізнесу.

Олександр Березовський представив роботу про застосування сервісу Google Earth Engine для інвентаризації еродованих ґрунтів, у якій продемонстрував сучасні геоінформаційні можливості дистанційного зондування Землі для оцінки деградаційних процесів. Андрій Боровенський і доц. Ганна Тітенко зосередилися на проблемах агропідприємств України при підготовці даних для розрахунку викидів парникових газів, що є важливою складовою кліматичної політики держави.

Олег Бота (Львівський національний університет імені Івана Франка) розкрила роль екологічного консалтингу у підготовці підприємств до отримання інтегрованого довкіллєвого дозволу (ІДД), показавши значення науково-аналітичного супроводу у впровадженні сучасних природоохоронних інструментів. Неоніла Вікторова і проф. Надія Максименко дослідили вплив видової структури дерев на формування епіфітних лишайникових угрупувань, що дає змогу оцінити стабільність лісових екосистем як біоіндикаторів стану довкілля.

Проф. Наталія Волошина і Роман Новак у роботі Біосферні резервати України як інструмент збереження біорізноманіття мігруючих птахів розкрили міжнародні аспекти охорони мігруючих видів, а в іншій доповіді Проф. Наталія Волошина спільно з Дмитром Дехтярьовим представила екологічні особливості жука-оленя – виду, занесеного до Червоної книги України.

Доц. Олена Гололобова, Дмитро Доля та Іван Стаднік проаналізували агрономічні та екологічні показники якості води для забезпечення сталого зрошення на прикладі водойм Харківської області, акцентуючи увагу на балансі між аграрними потребами та екологічною безпекою. Доц. Юрій Жук і Надія Лемега розглянули соціально-екологічні аспекти розвитку туризму у громадах з високою природною цінністю, визначаючи оптимальні шляхи поєднання охорони природи та місцевого розвитку.

Анна Карбань, проф. Алла Некос і проф. Віталій Безсонний представили дослідження моніторингу якості повітря як інструменту раціонального екологічного менеджменту в рекреаційних зонах, де запропоновано практичну систему контролю забруднень у місцях масового відпочинку населення.

Доц. Віталій Карпов. присвятив свою роботу зсувній небезпеці та природоорієнтованим заходам стабілізації схилів у Балаклійській громаді, звернувши увагу на актуальні питання геоекологічної безпеки.

Проф. Ірина Коваль, Анна Волченко у доповіді Динаміка кліматичних змін Полісся (за даними спостережень Житомирської метеостанції) виявили довготривалі тенденції потепління, а спільна робота проф. Ірини Коваль, снс Володимира Ворона, старшого дослідника Сергія Сидоренка і снс Євгена Мельніка Порівняння післяпірогенного розвитку соснових насаджень у Поліссі та Лісостепу дозволила оцінити наслідки пожеж для відновлення лісів.

Карина Кононова і проф. Надія Максименко провели оцінку рекреаційної ємності Національного парку Лемменйокі (Фінляндія), демонструючи можливості міжнародного порівняльного підходу до природокористування. Кот А. Г. дослідила моніторинг урожайності сільськогосподарських культур на еродованих ґрунтах, а доц. Едуард Кочанов, професори Алла Некос і Віталій Безсонний розробили модель прогнозування наслідків аварій на хімічно небезпечних об’єктах як інструмент управління екологічними ризиками.

Серія робіт, виконаних під керівництвом проф. Олексія Крайнюкова, охоплює біотестування вод річки Лопань, оцінку стану річкової системи Сіверського Дінця, еколого-токсикологічну характеристику вод у зоні нафтового впливу, а також оцінку якості вод за змінами у локомоторних функціях *Daphnia*. Ці дослідження формують наукову основу для моніторингу водних екосистем регіону.

Андрій Кротько і проф. Надія Максименко представили огляд екологічних проблем об’єктів блакитної інфраструктури міста Харків, а доц. Михайло Кулик з колегами у кількох роботах дослідили якість поверхневих вод річок басейну Сіверського Дінця, еколого-економічні аспекти утилізації лушпиння соняшника, а також взяли участь у дослідженні інтеграції статистичних методів у

систему менеджменту аграрного виробництва (спільно з Анастасією Шевченко та Анною Кот).

Оксана Леневич (Львівський національний університет імені Івана Франка) дослідила вплив рекреаційного навантаження на мікробіологічну активність ґрунтів, тоді як Андрій Леонов. і проф. Надія Максименко у роботі До проблеми впливу біоінвазій на екосистемні функції зеленої інфраструктури міста торкнулися теми урбоекологічної стабільності. Георгій Мазуренко і проф. Андрій Ачасов представили сучасні технології рекультивації піщано-суглинкових кар'єрів, а проф. Алла Некос і Катерина Хадускіна– дослідження динаміки хлоридного та нітратного забруднення приток Сіверського Дінця.

Доц. Світлана Новицька, доц. Любов Янковська і Іванна Писаревич (Тернопільський НПУ) виконали оцінку індексу інсуляризованості природно-заповідного фонду Чортківського району, а Ольга Пархоменко і проф. Надія Максименко проаналізували проблему неузгодженості статистичної інформації про природно-заповідний фонд Івано-Франківської області.

Гліб Паршуков і доц. Аліна Гречко дослідили сезонні зміни у формуванні міського острова тепла на прикладі м. Чугуєва, а Дар'я Радченко і доц. Аліна Гречко– вертикальне озеленення житлових будинків як рішення для густо забудованих районів Харкова.

Доц. Наталія Ричак і Дарина Макєєва запропонували підходи до регіонального менеджменту водними ресурсами, а Варвара Рябікова і проф. Надія Максименко – дослідили зміни у структурі посівних площ Полтавської області.

Проф. Сергій Сонько спільно з колегами представив дві роботи: екологічні умови вирощування бавовнику у Південному Степу України та оцінку ступеню завершеності придорожніх екосистем Черкаської області, у яких порушено проблеми адаптації сільського господарства до екологічних викликів.

Євген Тертицький у роботі «Глобальне розуміння блакитної інфраструктури» окреслив концептуальні основи інтеграції водних і зелених систем у міському середовищі, тоді як доц. Ганна Тітенко і Олексій Гайдашов виконали екологічну оцінку сталості агровиробництва в Балаклійській громаді за європейськими критеріями Good Agricultural and Environmental Conditions.

Царик Володимир та доц. Царик Петро (Тернопільський НПУ) представили комплексні дослідження флори – рослинних угруповань перспективних заповідних об'єктів басейну річки Гнізни та загальнозоологічних заказників як проблемних природоохоронних територій. Загалом, секція об'єднала роботи, що відображають сучасні тенденції екологічної науки – від локальних досліджень стану природних ресурсів до стратегічних підходів у сфері сталого розвитку.

Автори продемонстрували, що ефективне природокористування потребує системного моніторингу, інтеграції природоохоронних принципів у всі галузі господарства та активного впровадження міжнародних екологічних стандартів.

Рис. 2 – Програма конференції та Сертифікат учасника
Fig. 2 – Program of conference and Certificate of participation

Проведення XXI Всеукраїнських наукових Таліївських читань [3] стало свідченням стійкого розвитку української екологічної науки навіть у складний період воєнних викликів. Учасники конференції представили різноаспектні результати, що охоплюють питання воєнного впливу на довкілля, відновлення природних систем, моніторингу забруднень, сталого землекористування, збереження біорізноманіття та впровадження екологічних технологій в освіту і практику.

Обговорення продемонструвало важливість міждисциплінарного підходу, що поєднує екологію, географію, аграрні науки, урбаністику й цифрові технології. Каразінський університет вкотре підтвердив статус центру наукового життя, який об'єднує провідні виші, академічні установи й природоохоронні організації задля розв'язання актуальних проблем охорони природи

Опубліковані Матеріали конференції традиційно розміщуються в репозитарії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна [4].

Всі автори за результатами участі в конференції отримали Сертифікати (рис.2) із зазначенням підвищення кваліфікації обсягом 1.5 кредити ECTS.

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. XXI Всеукраїнські наукові Таліївські читання: проведення конференції 31 жовтня 2025 р. Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2025. URL: https://ecology.karazin.ua/news/xxi-vseukrainski-naukovi-taliivski-chitannja/
2. DOMANI Project: Developing Micro-credentials Ecosystems in Ukraine and Mongolia for Competitive and Resilient Green Economies: DOMANI Project, 2025. URL: https://domaniproject.eu/
3. XXI Всеукраїнські наукові Таліївські читання: офіційний сайт конференції 31 жовтня 2025 р. / Міністерство освіти і науки України, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. URL https://talijeviichitanniya.netlify.app/
4. Охорона довкілля: XX Всеукраїнські наукові Таліївські читання, 25 жовтня 2024 р., м. Харків. До 220-ї річниці заснування Каразінського університету: збірник наукових статей / гол. ред. Н.В. Максименко [та інш.]. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна 238 с. URL: https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452

Отримано: 05.11.2025 / Переглянуто: 28.11.2025 / Прийнято: 30.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

A. A. HRECHKO[1], PhD (Earth Sciences)
Associate Professor of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: a.a.hrechko@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9987-2586

A. A. KLIESHCH[1], PhD (Geography),
Associate Professor of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: klieshch@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1379-1043
[1]*V. N. Karazin Kharkiv National University*,
4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

ON THE XXI ALL-UKRAINIAN SCIENTIFIC TALIYIV READINGS

On October 31, 2025, the first conference of the newly established structural unit of V. N. Karazin Kharkiv National University – the Educational and Scientific Institute of Ecology, Green Energy and Sustainable Development – was held. The event, known as the XXI All-Ukrainian Scientific Taliyiv Readings, was traditionally organized by the Department of Environmental Monitoring and Nature Conservation.

The conference was conducted online via the Zoom platform, which made it possible to involve a wide range of participants from various regions of Ukraine. The traditional plenary presentations focused on the following key themes: the impact of war on environmental components, contemporary issues of rational nature management and nature protection, assessment of the ecological state of environmental components and complexes, as well as scientific and educational challenges of ecology and nature conservation in Ukraine.

Panel discussion held on the DOMANI project - "Development of microcredit ecosystems in Ukraine and Mongolia for a competitive and sustainable green economy".

KEYWORDS: *conference, impact of war on the environment, scientific issues, nature conservation, rational nature management, Erasmus+, DOMANI project*

Conflict of Interest

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

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work.
The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. 21st All-Ukrainian Scientific Taliev Readings (2025). Educational and Scientific Institute of Ecology, Green Energy, and Sustainable Development, V. N. Karazin Kharkiv National University. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, Retrieved October 31, 2025, from https://ecology.karazin.ua/news/xxi-vseukrainski-naukovi-taliivski-chitannja/.
2. DOMANI Project: Developing Micro-credentials Ecosystems in Ukraine and Mongolia for Competitive and Resilient Green Economies (2025). DOMANI Project, Retrieved from https://domaniproject.eu/.
3. XXI All-Ukrainian Scientific Taliev Readings: (2025, October 31). Ministry of Education and Science of Ukraine, V. N. Karazin Kharkiv National University, Educational and Scientific Institute of Ecology, Green Energy, and Sustainable Development. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from https://talijeviichitanniya.netlify.app/.
4. Maksymenko N.V. (Ed.). (2024). Environmental Protection: Proc. of the XX All-Ukrainian Scientific Taliev Readings. Kharkiv. On the 220th anniversary of the founding of Karazin University: collection of scientific articles. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452

Co-funded by the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or Erasmus+. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

DOMANI
MICROCREDENTIALS FOR UKRAINE AND MONGOLIA

Submission received: 05.11.2025 / Revised: 28.11.2025 / Accepted: 30.11. 2025 / Published: 30.12. 2025

Наукове видання навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету «Людина та довкілля. Проблеми неоекології» є науковим журналом, який включено до Переліку фахових видань ВАК (Б), де публікуються основні результати дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора і кандидата географічних наук.

До публікації приймаються статті, які написані українською або англійською мовами згідно за правилами для авторів і отримали позитивні рекомендації рецензентів.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Електронна версія оформляється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 11, міжрядковий інтервал 1,0, всі поля по 2,5 см. Жирним шрифтом виділяються підзаголовки у статті; курсив допускається лише у виняткових випадках.

Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті. Ілюстрації подаються чорно-білими. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Усі рисунки підписувати як **Рис. 1** – Назва рисунку (розмір 10). Таблиці також оформляти 10 розміром. Слово **Таблиця 1** (жирним, праворуч), на наступному рядку назва таблиці – жирним, по центру, розмір 10. **Назви рисунків та таблиць та внутрішнє наповнення має бути двома мовами(в україномовних статтях).**

Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання – по ширині. Абзац – 1,0 см.

Для статей необхідно вказати УДК (UDC) (ліворуч, розмір 11), **ініціали та прізвище автора** (розмір 11, жирним, прописними, по центру), науковий ступінь та звання (розмір 11), на наступному рядку вказати посаду, на наступному - вказати e-mail та ORCID ID. на наступному рядку вказати повну назву установи (розмір 11, курсив) та її повна адреса

Назва статті (жирними прописними, по центру, 11 розмір)

Далі подати анотацію (не менше 1800 знаків) та ключові слова (5-6) мовою статті: розмір 10, інтервал 1,0. Для експериментальних статей подати структуроване резюме, де має бути вказані слова: **Мета. Методи. Результати. Висновки.**

Статті друкуються українською та англійською мовами.

Текст експериментальної статті повинен складатися з наступних розділів: «Вступ», «Методика» («Об'єкти та методи дослідження»), «Результати», «Обговорення» (можливий об'єднаний розділ «Результати та обговорення»), «Висновки», «Список використаної літератури».

Розділ «Вступ» повинен містити постановку проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями; короткий аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких розпочато рішення даної проблеми, виділення конкретних невирішених питань, яким присвячена стаття, формулювання мети роботи.

Розділ «Методика» повинен містити відомості про об'єкт (об'єкти) дослідження, умови експериментів, аналітичні методи, прилади та реактиви.

У розділі «Результати досліджень» надаються отримані результати та повинно відображувати закономірності, які витікають з отриманих даних. Отриману інформацію необхідно порівняти з наявними літературними даними та показати її новизну.

У розділі «Висновки» надається узагальнення та інтерпретація результатів, аналіз причинно-наслідкових зв'язків між виявленими ефектами, і повинно завершуватись відповіддю на питання, яке поставлено у вступі.

Посилання на джерела у тексті подаються у прямокутних дужках з вказуванням номера **за порядком посилання**.

Список використаної літератури обов'язково оформляється за ДСТУ 8302:2015, до 60% мають бути джерела, що опубліковані за останні 5 років, до 50% мають бути посилання на статті WOS чи SCOPUS, самоцитування до 10-15%. Обов'язковими **DOI** або **URL** – де є (розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0). Кількість посилань має бути не менше 15.

Через 2 інтервали також подати прізвище, науковий ступінь та наукове звання, посаду, e-mail та ORCID ID, організацію, її повну адресу, назву статті, розширену анотацію та ключові слова англійською (не менше 1800 знаків, розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0). Анотація повинна бути побудована як реферат у реферативних журналах та відражати суть експериментів, основні результати та їх інтерпретацію. Для експериментальних статей подати структуровані резюме де має бути вказані слова: **Purpose. Methods. Result. Conclusion**.; та ключові слова (5-6). Якшо стаття англійською, то подати цю інформацію ще і українською.

Подати також **References**, за стандартом APA (прізвище, ініціали, назва - англійською, наприкінці у дужках (In Ukrainian) та **Retrieved from або DOI**).

Адреса редакції: навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку, 4 поверх, к. 473а, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Майдан Свободи, 6, Харків, Україна, 61022

тел. 057 / 707-56-36, 057 / 707-53-86 моб. 068-612-40-69 e-mail: ecology.journal@karazin.ua

Сайт журналу: http://periodicals.karazin.ua/humanenviron/about

Наукове видання

ЛЮДИНА ТА ДОВКІЛЛЯ. ПРОБЛЕМИ НЕОЕКОЛОГІЇ

Випуск 44

Українською та англійською мовами

Макетування та комп’ютерне верстання
Баскакова Л. В.

.

Підписано до друку 25.11.25
Формат 60x84/8
Ум. друк. арк. 20,52, Обл.-вид. арк. 25,65.
Наклад 50 пр. Зам. № 33/25

61022, м. Харків, майдан Свободи, 6.
Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна
Видавництво

Надруковано ХНУ імені В. Н. Каразіна
61022, Харків, майдан Свободи, 4. Тел. 705-24-32
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09