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 43
ISSUES 43

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 15 від 30.06.2025 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, 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 «сліпе» 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 15, dated June 30, 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,
The Karazin Institute of Environmental Sciences, 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

Міщенко О. В., Алейник О. О.
Використання та оптимізація природно-ресурсного потенціалу ландшафтів Рівненського району Рівненської області…….... 6

Кузик І. Р., Новицька С. Р., Янковська Л. В., Петрушка Б. М.
Якість підземних вод з різних джерел водопостачання Хоростківської територіальної громади Тернопільської області. …...…….....… 22

Юрасов С. М., Караулов В. Д., Терземан В. В.
Удосконалення оцінки і прогнозу якості іригаційних вод. ……..…….... 34

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Горошкова Л. А., Меньшов О. І., Корнійчук Ю. Д., Горошков С. В., Маслов Д. В.
Екологічна оцінка та прогнозування стану поверхневих вод р. Дніпро в м. Запоріжжя.... 48

Сонько С. П., Зеленчук І. Д., Новікова Т. П.
Промислове будівництво, як чинник деструкції природних ландшафтів і втрати потенціалу екосистемних послуг……...……..….. 63

Коваль І. М., Чермних М. О., Гололобов В. В.
Радіальний приріст каштана звичайного в зелених насадженнях Львова та Харкова……..… 78

Максименко Н. В., Столов В. О.
Аналіз альтернатив сортування побутових відходів у сільських районах: вдома чи на сміттєзвалищі……...…..… 93

Shkaruba A., Marran K.
Політика, стратегії та нормативні акти щодо мікрокредитів та навчання впродовж життя: європейські та естонські рамки……..…….….. 104

ЗАПОВІДНА СПРАВА

Царик Л. П., Кузишин А. В., Царик П. Л.
Перспективні регіональні ландшафтні парки – резерви оптимізації заповідної та екологічної мереж Тернопільщини……..… 112

Горошкова Л. А., Меншов О. І., Корнійчук Ю. Д., Горошков С. В., Голуб О. А., Скринченко К. А.
Дослідження впливу війни на заповідні території півдня України……... 124

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дегтярьова З. О., Дьомкін О. О.
Вплив проективного покриття післяжнивними рештками на мікробіологічні показники ґрунту в умовах Лівобережного лісостепу України ……..…. 147

Лавринюк З. В., Караїм О. А., Рабан О. Ю., Караїм В. П.
Вплив пестицидів на мікрофлору ґрунту в аспекті збалансованого природокористування……...……. 156

Сараненко І. І.
Оцінювання фітотоксичності ґрунтів з різними видами антропогенного забруднення..…….……. 166

ХРОНІКА

Гречко А. А., Бурченко С. В., Черкашина Н. І.
Круглі столи як початковий етап реалізації міжнародних проектів Erasmus+ SUNRISE та DOMANI…… 178

Правила оформлення статей……..... 189

CONTENTS

GEOGRAPHICAL RESEARCH

Mishchenko O. V.**, **Aleinyk O. O.
Sustainable use and optimization of the natural resource potential of the landscapes in Rivne district, Rivne region…..……..……. 6

Kuzyk I. R., Novytska S. R., Yankovska L. V., Petrushka B. M.
Groundwater quality from different water supply sources of the Khorostkiv territorial community of Ternopil region..……...……...…..... 22

Yurasov S. M., Karaulov V. D., Terzeman V. V.
Improved assessment and forecasting of irrigation water quality..……..... 34

ENVIRONMENTAL RESEARCH

Horoshkova L. A., Menshov O. I., Korniichuk Y. D., Horoshkov S. V., Maslov D. V.
Ecological assessment and forecasting of surface water conditions in the Dnipro river in Zaporizhzhia……..... 48

Sonko S. P.**, **Zelenchuk I. D.**, **Novikova T. P.
Industrial construction as a factor in the destruction of natural landscapes and the loss of the ecosystem services potential……. 63

Koval I. M., Chermnykh M. O., Gololobov V. V.
Radial growth of common horse chestnut in green plantings of Lviv and Kharkiv……..….. 78

Maksymenko N. V., Stolov V. O.,
Analysis of alternatives for sorting household waste in rural areas: at home or at the landfill..... 93

Shkaruba A., Marran K.
Policies, strategies and regulations on microcredentials and lifelong learning: European and Estonian framework……..... 104

PROTECTED AREAS MANAGEMENT

Tsaryk L. P., Kuzyshyn A. V., Tsaryk P. L.
Prospective regional landscape parks – reserves for optimization of the reserve and ecological network of Ternopil region……..……...…...…... 112

Horoshkova L.A., Menshov O. I., Korniichuk Y. D., Horoshkov S. V., Golub O. A., Skrynchenko K. A.
Research on the impact of war on protected areas of Southern Ukraine……..… 124

AGRICULTURAL RESEARCH

Dehtiarova Z. O., Dyomkin A. A.
Impact of projective soil cover with post-harvest residues on soil microbiological indicators in the conditions of the Left-bank forest-steppe of Ukraine…..……. 147

Lavrynyuk Z. V., Karaim O. A., Raban O. Yu., Karaim V. P.
The pesticides impact on soil microflora in the context of sustainable natural resource use ……..……. 156

Saranenko I. I.
Soil phytotoxicity assessment with different types of anthropogenic pollution …… 166

CHRONICLE

Hrechko A. A., Burchenko S. V., Cherkashyna N. I.
Roundtables as an initial stage in the implementation of the international projects Erasmus+ SUNRISE and DOMANI…… 178

Formatting Rules……..……..……..... 189

ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-01
УДК 911.2]:338(477.81):330.15

О. В. МІЩЕНКО[1], д-р географ. наук, доц.,
доцент кафедри фізичної географії
e-mail: mischenko.olena@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6801-7197
О. О. АЛЕЙНИК[1],
бакалавр географічного факультету,
e-mail: alonaaleinik@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-8995-8332
[1]*Волинський національний університет імені Лесі Українки*
просп. Волі, 13, м. Луцьк, 43025, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЛАНДШАФТІВ РІВНЕНСЬКОГО РАЙОНУ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Мета. Аналіз сучасного стану природно-ресурсного потенціалу Рівненського району Рівненської області для визначення можливостей його використання.

Методи. Статистичний, картографічний, системний аналіз, SWOT-аналізу.

Результати. У Рівненському районі сформовано розмаїття природних умов та ресурсів, які можуть використовуватися/використовуються для розвитку будівельної, енергетичної промисловостей та сільського господарства. Гідрогеологічні умови території забезпечують невеликі обсяги видобутку як лікувально-столової так і мінеральної води. Водні ресурси у поєднанні із оптимальними кліматичними умовами дають змогу створювати мережу рекреаційних комплексів. Більшість громад, які розміщені на півдні району, мають нестабільний стан ландшафту через переважання нестійких елементів природного середовища, інтенсивне господарське освоєння та розвиток аграрного виробництва. Така ситуація зумовлена невисокими показниками залісненості та заповідності цих територій. Проведений SWOT-аналіз окреслив слабкі, сильні сторони, можливості та загрози розвитку природно-ресурсного потенціалу Рівненського району.

Висновки. Рівненський район Рівненської області має потужний та різноманітний природний ресурсний потенціал, який за умови раціонального використання може стати основою сталого розвитку територій. Можливості району пов'язані з розвитком відновлюваної енергетики, впровадженням міжнародних та державних природоохоронних програм. Загрози – зміни клімату, порушення екологічного балансу, нераціональне природокористування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *природно-ресурсний потенціал, екологічна стабільність ландшафтів, природно-заповідний фонд, SWOT-аналіз, Рівненський район*

Як цитувати: Міщенко О. В., Алейник О. О. Використання та оптимізація природно-ресурсного потенціалу ландшафтів Рівненського району Рівненської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 6-21. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-01

In cites: Mishchenko O. V., & Aleinyk O. O. (2025). Sustainable use and optimization of the natural resource potential of the landscapes in Rivne district, Rivne region. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 6-21. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-01 (in Ukrainian)

Вступ

В умовах глобальних змін, які пов'язані зі зміною клімату, погіршенням стану навколишнього середовища та зростанням антропогенного впливу на природні екосистеми постає питання раціонального використання природних ресурсів. Тому слід детально дослідити сучасний стан та структуру природно-ресурсного потенціалу Рівненського району Рівненської області, виокремити особливості просторового поширення природних ресурсів, визначити екологічну стійкість в розрізі територіальних громад та сформулювати рекомендації щодо подальшого використання природно-ресурсного потенціалу.

© Міщенко О. В., Алейник О. О., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Природно-ресурсний потенціал є важливою науковою категорією. Науковцями проведено вартісну оцінку сумарного природно-ресурсного потенціалу (ПРП) природних регіонів України станом на 01.01.2022 р. [1], здійснено оцінювання величини природно-ресурсного потенціалу біомів, провінційних екосистем, екосистем обласного рівня України [2], досліджено особливості позиціонування природних ресурсів у сучасному постіндустріальному середовищі [3], проаналізовано стан природно-ресурс-ного потенціалу регіонів України, пов'яза-ний з російською агресією проти України [4]. Природно-ресурсний потенціал Рівненського району Рівненської області окреслено в наукових працях Коротуна І. М., Коротун Л. К. [5], Коротуна С. І., Кушнірука Ю. С. [6]. Адміністративна документація Рівненської області містить кількісні показники наявних природних ресурсів, особливості їх використання, структуру господарства, переваги й ризики розвитку регіону [7], матеріали щодо екологічних проблем, пов'язані із забрудненням природного середовища Рівненської територіальної громади [8].

Рівненський район є прикладом території з надзвичайно строкатим природним ресурсним потенціалом. На його території поєднуються риси зон хвойно-широко-листяних та широколистяних лісів, наявні значні родовища мінеральних ресурсів, густа гідрографічна мережа, різноманіття ландшафтів. Територія району має значний потенціал для розвитку промисловості, сільського господарства, туризму та рекреації. Водночас спостерігаються серйозні екологічні проблеми, що пов'язані з деградацією ґрунтів, вирубкою лісів, зміною кількісного і якісного складу природних систем і недостатнім контролем за природокористуванням.

В наш час в умовах децентралізації та формування стратегій розвитку громад, аналіз природно-ресурсного потенціалу набуває прикладного значення. Він необхідний для планування використання території громади, збереження її екологічної рівноваги.

Особливо важливим є поєднання кількісної оцінки природних ресурсів із якісною характеристикою екологічної стійкості ландшафтів, що є важливим для формування напрямків подальшого природокористування.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є природно-ресурсний потенціал Рівненського району Рівненської області, а предметом – структура, просторове поширення, використання, екологічна стійкість та рівень раціонального використання компонентів природного середовища в нинішніх умовах.

Задля визначення позитивного чи негативного впливу різних елементів ландшафту на навколишнє середовище доцільно визначити коефіцієнт екологічної стабільності ландшафтів ($Кесл_1$), шляхом використання методики Клементової Є. та Гейниге В. Цей коефіцієнт визначається співвідношенням стабільних елементів ландшафту до нестабільних.

Коефіцієнт екологічної стабільності ландшафтів ($Кесл_1$) обчислюється за формулою:

$$Кесл_1 = \sum F_{ст.} / \sum F_{нест.}, \quad (1)$$

де $F_{ст.}$ – площі стабільних елементів ландшафту, які позитивно впливають на навколишнє середовище. Це передусім ліси, зелені насадження, природні луки, поверхневі води, об'єкти та території природно-заповідного фонду, сільськогосподарські землі, що відведені під вирощування багаторічних трав.

$F_{нест.}$ – площі нестабільних елементів ландшафту, які негативно впливають на навколишнє середовище. Це – сільськогосподарські орні землі, а також під забудовою, для промисловості, транспорту та зв'язку.

Отримані числові значення $Кесл_1$ ранжують за такими категоріями: ≤ 0,51 – нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю ландшафт; 0,51 – 1,00 – нестабільний ландшафт; 1,01 – 3,00 – умовно стабільний ландшафт; 3,01 – 4,05 – стабільний ландшафт; ≥ 4,51 – стабільний, з яскраво вираженою стабільністю ландшафт.

Задля визначення якісної оцінки ландшафтів варто вирахувати коефіцієнт екологічної стабілізації біотехнічних елементів і всього ландшафту ($Кесл_2$). Цей показник відображає вплив окремих біотехнічних елементів на стійкість ландшафту. До основних біотехнічних елементів ландшафту належать забудовані землі, рілля, водойми і водотоки, природні ліси та ін.

Коефіцієнт екологічної стабілізації біотехнічних елементів ($Кесл_2$) обчислюється за формулою:

$$Кесл_2 = \frac{\sum(f \times К_{ез} \times К_г)}{\sum Ft}, \quad (2)$$

де f – площа біотехнологічного елементу

Кез – коефіцієнт екологічного значення біотехнічного елементу [9].

Кг – коефіцієнт геолого-морфологічної стійкості ландшафту (1,0 – стабільний ландшафт та 0,7 для нестабільного ландшафту)

Fт – площа всієї території.

Отримані розрахунки величин екологічної стабілізації ландшафтів $Кесл_2$ дають змогу ранжувати їх за такими категоріями: ≤ 0,33 – нестабільний ландшафт; 0,34 – 0,50 – малостабільний ландшафт; 0,51 – 0,66 – середньостабільний ландшафт; ≥ 0,66 – стабільний ландшафт.

Для ефективної оцінки мережі природоохоронних територій та об'єктів було проведено детальний аналіз з використанням важливих критеріїв та показників: загальна кількість об'єктів і територій ПЗФ, загальна площа об'єктів і територій ПЗФ, щільність природоохоронних територій, коефіцієнт заповідності.

Якість природоохоронної мережі можна оцінити за допомогою ступеня інсуляризованості (розчленованості) об'єктів ПЗФ. Для цього слід визначити частку нестійких природоохоронних територій (до 50 га) у загальній кількості та площі об'єктів ПЗФ. Коефіцієнт інсуляризованості є зведеним показником, який становить середнє арифметичне значення двох складників – інсуляризованості площі ПЗФ (Im) та інсуляризованості кількості об'єктів ПЗФ (In).

$$Im = Sнест/Sпзф \quad (3),$$

де Sнест – площа нестійких природоохоронних територій (до 50 га), Sпзф – площа ПЗФ району.

$$In = Nнест/Nпзф, \quad (4),$$

де Nнест – кількість нестійких природоохоронних територій, Nпзф – кількість об'єктів ПЗФ району.

Коефіцієнт інсуляризованості визначається за такою формулою:

$$I = (In+Im)/2 \quad (5).$$

Для здійснення комплексного аналізу природно-ресурсного потенціалу, оцінки екологічної стійкості ландшафтів та визначення якісних та кількісних показників природно-заповідного фонду Рівненського району опрацьовано статистичні та картографічні матеріали Департаменту екології та природних ресурсів Рівненської обласної державної адміністрації та профільних природничих установ Рівненської області за останнє десятиліття.

Під час дослідження застосовано такі методи як порівняльно-географічний, статистичний, картографічний, узагальнення та систематизації.

Результати та обговорення

Рівненський район є найбільшим адміністративним районом Рівненської області. Він утворений шляхом об'єднання Березнівського, Гощанського, Здолбунівського, Корецького, Костопільського, Острозького та Рівненського районів в ході проведення реформи децентралізації в липні 2020 р. Площа району сягає 7216,6 км², що становить 36 % від площі області. До складу району входять 26 територіальних громад, з них 6 міських, 4 селищних та 16 сільських [10].

Природно-ресурсний потенціал Рівненського району Рівненської області представлений сукупністю різноманітних видів природних ресурсів, що поширені на території району та широко використовуються людиною у виробничій діяльності. Найбільш поширеними видами природних ресурсів району є мінеральні, кліматичні, водні, земельні, лісові, біологічні та рекреаційні.

Мінеральні ресурси району представлені поєднанням різних видів корисних копалин, однак найбільше просторове поширення та промислове значення мають родовища базальту, граніту, крейди, піску, глини та торфу (рис. 1).

Станом на 01.01.2025 р. на території Рівненського району розвідано 64 родовища корисних копалин, з них лише 27 знаходяться в експлуатації. На півночі району ведеться видобуток основної паливної корисної копалини Рівненщини – торфу, який утворюється в результаті розкладу органічних рослинних решток на надмірно-зволожених ділянках. Таким чином торфовища формуються на болотах, заплавах та руслах річок, нестічних водоймах.

Загалом запаси торфу в районі оцінюються в понад 65 млн т. Нині його видобуток ведеться на 3 родовищах – Закриниця (Костопільська ТГ), Дике Гало (Березнівська ТГ) та Кутянка-Вілія (Острозька ТГ). Торф широко використовується як паливо та добриво для аграрного сектору досліджуваної території [12].

Найбільше промислове значення в районі мають родовища нерудних корисних копалин, які слугують сировинною базою для

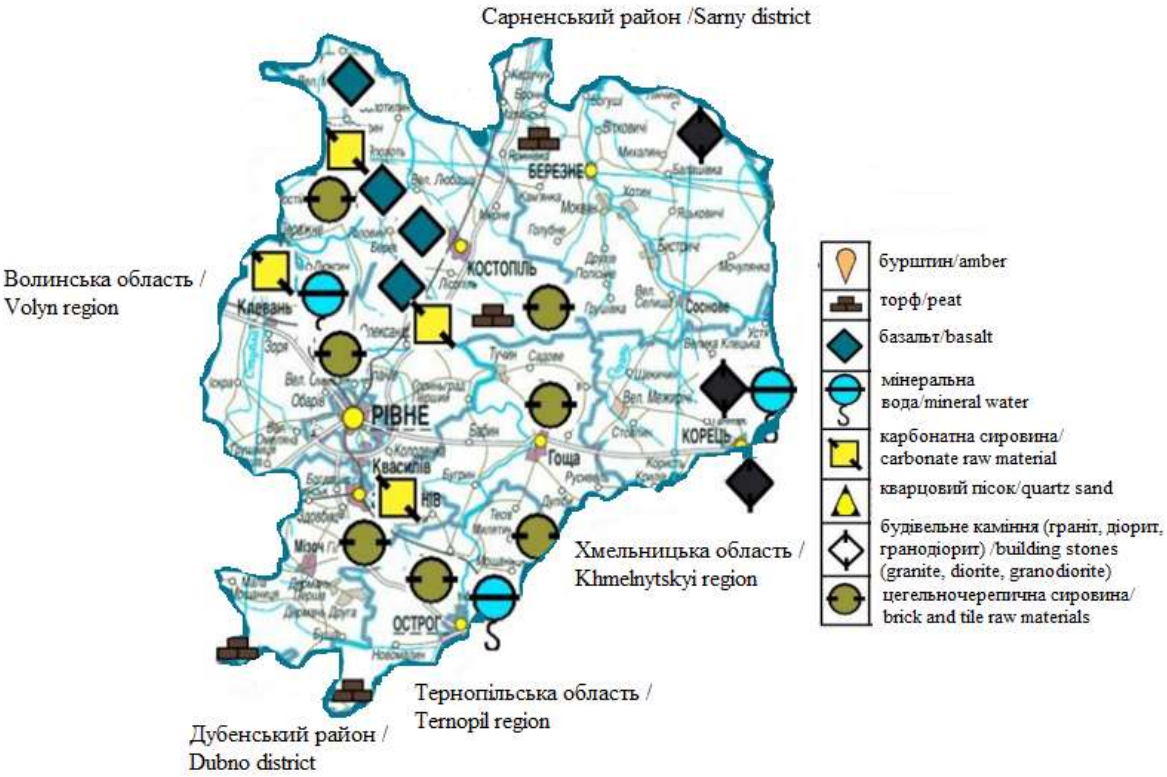


Рис. 1 – Просторове поширення основних видів мінеральних ресурсів Рівненського району Рівненської області [11]

Fig. 1 – Spatial distribution of the main types of mineral resources in Rivne district of Rivne region [11]

промисловості будівельних матеріалів. Загалом на території району ведеться активний видобуток піску, глини, крейди, суглинку та деяких видів облицювального і будівельного каміння.

Провідне місце за видобутком серед усіх наявних видів будівельної сировини займає пісок. Станом на 2024 р. в районі розроблялося 7 родовищ піску з 24 наявних, які розміщені повсюдно та приурочені до Волино-Подільської плити. В межах району поширені різні види піску різноманітної зернистості та глинистості – кварцеві, моренні, флювіогляціальні, еолові, алювіальні піски [13].

Найбільшими із родовищ піску є Малолюбашанське–1 і Мирненське (Малолюбашанська ТГ), Любомирське (Олександрійська ТГ) та Борковецьке (Головинська ТГ).

Рівненський район – єдиний адміністративний район України, де ведеться видобуток базальту, який є виливною вулканічною породою, що виникла внаслідок кристалізації магми мільйони років тому. Цей вид каменю представлено в одному родовищі, зокрема Івано-Долинському (Головинська ТГ). Його розвідані запаси оцінюються в понад 128 млн т. Базальт є цінною сировиною для виготовлення мінеральної вати та волокон, щебеню, композитної арматури.

Східні околиці району, які приурочені до Житомирського блоку Українського кристалічного щита є зоною простягання так званого «гранітного поясу України». В межах поясу знаходяться родовища магматичних інтрузивних гірських порід – гранітів, пегматитів, діоритів та діабазів. Нині розробляється лише 4 родовища – Корецьке (Корецька ТГ), Більчаківське (Соснівська ТГ), Броніславське та Балашівське (Березнівська ТГ). Ці гірські породи широко використовують як облицювальний камінь та як будівельна сировина при виготовленні фундаментів і різноманітних конструкцій.

Центральна та південна частини Рівненського району є територією залягання осадових гірських порід. Серед них найбільше поширення мають глина, крейда, вапняк, суглинок, фосфорити та каолін. Вони утворилися протягом мільйонів років в результаті накопичення органічних решток, мінеральних речовин та продуктів вивітрювання гірських порід.

Найпоширенішими видами осадових порід є глини та суглинки. Вони утворилися внаслідок процесів вивітрювання та ерозії різноманітних гірських порід. Глини та суглинки поширені по всій території Волино-Поділь-

ської плити та є цінною сировиною для цегельної промисловості.

Нині розробляється тільки одне родовище глини – Хотинське (Шпанівська ТГ) та 5 родовищ суглинку – Гощанське, Здолбунівське, Острозьке, Басівкутське (Рівненська ТГ) та Богданівське (Корецька ТГ). Також поширені каолінові глини – різновид глини білого кольору, який широко застосовується як сировина для виробництва керамічної продукції. Його видобуток ведеться лише в Дерманківському родовищі, що знаходиться у Березнівській ТГ [14].

Карбонатні породи представлені у вигляді вапняків та крейди, родовища яких поширені в центральній частині Рівненського району [15]. Зараз активно розробляються Здолбунівське родовище крейди та Батьківське родовище вапняку (Мізоцька ТГ). Карбонати широко використовуються як сировина для виготовлення вапна та крейдового борошна, які застосовуються у будівельній індустрії.

Разом з тим в районі зосереджені значні запаси агрохімічної сировини, які представлені Милятинським родовищем зернистих фосфоритів в Острозькій ТГ. Милятинські фосфорити характеризуються комплексом цінних мікроелементів, які сприяють підвищенню родючості ґрунту. Вони є сировиною для виробництва мінеральних добрив та агрохімікатів для сільського господарства.

Рівненський район має значні запаси підземних прісних вод. Води залягають у гірських породах палеозою, мезозою та кайнозою. В геоструктурному відношенні Рівненський район знаходиться в межах двох гідрогеологічних структур: Волино-Подільський артезіанський басейн та гідрогеологічна область Українського щита.

Волино-Подільський артезіанський басейн охоплює центральну частини району, де основний видобуток питних вод здійснюється з верхньокрейдового, неогенового та протерозойського водоносних горизонтів. Східні околиці району займає область тріщинуватих вод гідрогеологічної області Українського кристалічного щита, які вирізняються хлоридо-магнієво-натрієвим складом та значною мінералізацією.

Підземні мінеральні води займають вагоме місце серед інших підземних вод, тому їх видобуток є доволі перспективним в районі. Серед таких ресурсів доцільно відзначити води миргородського типу, зокрема мінеральні хлоридо-натрієві. Вони приурочені до вулканогенних порід, залягають на глибині від 70 до 800 м та найбільш значні на території району. Запаси такого типу вод поширені в населених пунктах Костопільської, Клеванської та Олександрійської ТГ, а також містах Березне та Острог. Поблизу с. Маринин в Соснівській ТГ фіксуються значні запаси радонових мінеральних вод, однак їх промисловий видобуток не ведеться [16].

Видобуток та промисловий розлив мінеральних вод здійснюється лише на 3 родовищах: Жобринське, Маломидське та Острозьке. На Жобринському родовищі у Клеванській ТГ здійснюється видобуток та розлив лікувально-столової та питної води під торговою маркою «Червона калина» зі свердовини глибиною 146 м. У Костопільській ТГ розміщене Маломидське родовище, де мінеральну воду видобувають з глибини 773 м і здійснюють її розлив під торговою маркою «Маломидська». Острозьке родовище мінеральних вод, що функціонує на південній околиці міста Острог є місцем поширення унікальних в районі хлоридо-магнієвих лікувально-столових вод. Їх видобуток здійснюється зі свердловини глибиною 344 м, а розлив відбувається під торговою маркою «Острозька мінеральна» [17].

Геологічно розвідано потужні запаси мідних руд, що приурочені до Рафалівського міднорудного вузла Волинського міднорудного району. Мідні жили простягаються меридіонально північно-західною частиною Рівненського району. Найбільші запаси залягають в межах населених пунктів Великий та Малий Мидськ Костопільської ТГ та с. Берестовець Головинської ТГ. Однак видобуток через недостатнє фінансування та високі затрати на освоєння не ведеться.

Кліматичні ресурси Рівненського району є доволі сприятливими для ведення господарства. Клімат Рівненського району помірно-континентальний, характеризується м'якою вологою зимою та жарким літом. Температурний режим району визначається яскраво вираженими сезонними коливаннями. Літо визначається теплою та вологою погодою. Середня температура найтеплішого місяця – липня становить понад +18 °С. Максимальні температури можуть досягати позначки +30 °С. Зима м'яка, з частими відлигами та незначними опадами. Середня температура найхолоднішого місяця – січня сягає –5 °С [17].

Середня річна кількість опадів становить 600–700 мм. Значна частина опадів випадає у весняно-літній період, дедалі менше їх восени та взимку. Найбільше опадів випадає в червні–липні, коли надходять вологі повітряні маси з Атлантики. Найменше опадів фіксу-

ється в січні–лютому, коли домінують холодні та сухі повітряні маси.

Агрокліматичні ресурси, які визначаються передусім кліматичними умовами, такими як температура повітря, кількість опадів, тривалість вегетаційного періоду тощо є важливими чинниками розвитку сільського господарства в районі. Рівненський район характеризується помірно континентальним кліматом з достатнім рівнем зволоження та тривалим вегетаційним періодом, що створює сприятливі умови для вирощування різноманітних сільськогосподарських культур.

Рівненський район вирізняється достатньою кількістю сонячного сяйва протягом року. Зазвичай, його тривалість становить близько 1600–1800 годин на рік. Найбільша кількість сонячних днів припадає на літні місяці, взимку сонячна активність зменшується. Однак, кількість сонячних днів взимку є достатньою для забезпечення нормального розвитку рослин, передусім озимих. Сума активних температур становить пересічно 2400–3100°C. Завдяки достатній сумі активних температур вище +10 °C, в районі активно вирощуються культури, такі як кукурудза, соняшник тощо.

Вегетаційний період, тобто період активного росту рослин, триває 180–200 днів. Завдяки цьому, в районі можливо отримувати два врожаї деяких овочевих та технічних культур на рік. Тривалість безморозного періоду сягає понад 150–160 днів. Цей період є сприятливим для вирощування більшості сільськогосподарських культур, оскільки відсутність від'ємних показників температури повітря забезпечує активний ріст сільськогосподарських рослин.

Основними сільськогосподарськими культурами, які вирощуються на території району є зернові (пшениця, жито, ячмінь, овес), технічні (ріпак, соя, соняшник) та овочеві культури (картопля, капуста, морква, цибуля). Завдяки сприятливим агрокліматичним умовам, в районі також розвивається садівництво та ягідництво, однак їх частка у структурі аграрного виробництва незначна.

Останніми роками активно використовуються сонячна та вітрова енергії. Рівненський район отримує значну кількість сонячної енергії протягом року. Загалом земна поверхня отримує близько 3500–3800 МДж/м² сонячної радіації за рік, що сприяє розвитку відновлюваної енергетики [17]. Застосування відновлюваної енергетики є вкрай доцільним, перш за все через руйнування низки традиційних електростанцій в Україні. Особливою популярністю стало встановлення сонячних панелей на дахах будинків та у прибудинкових зонах.

Конструкції, які використовують сонячну енергію, здатні повністю забезпечити будинок електроенергією, а надлишок подати в енергосистему країни. Нині в районі функціонує близько 500 домогосподарств, де встановлені сонячні панелі, що здатні генерувати понад 19,3 МВт електроенергії. Вітрова енергетика в районі практично не розвивається. Однак розроблено проєкти щодо побудови потужного парку з генерації енергії вітру на півночі району.

Клімат є одним із ключових рекреаційних ресурсів Рівненського району. Сприятливі кліматичні умови створюють комфортні умови для відпочинку та оздоровлення. Зокрема функціонує доволі розвинена мережа відпочинкових комплексів та оздоровчих закладів поблизу природних та штучних водойм, лісових масивів та родовищ мінеральних вод.

За наявними даними управління статистики в в Рівненському районі Рівненської області налічується 3 санаторії та 2 профілакторії, 11 мисливсько-спортивних комплексів, 4 дитячих курортно-оздоровчих заклади, 19 готелів та близько 70 невеликих баз відпочинку, що пропонують різні види рекреаційної діяльності [18].

Водні ресурси. Поверхневі води Рівненського району представлені густою річковою мережею, озерами, болотами та штучними водоймами – ставками, водосховищами та меліоративними каналами. Усі водні об'єкти району належать до суббасейну річки Прип'ять – правої притоки Дніпра.

Найбільшими споживачами водних ресурсів є промисловість, житлово-комунальне та сільське господарства. Щорічно в районі використовують пересічно 24–27 млн м³ води, з яких орієнтовно 10–12 млн м³ – для побутового споживання та 14–16 млн м³ застосовується на виробничі потреби [19].

Водозабезпечення мешканців Рівненського району питною водою здійснюється через систему водозабору із підземних водоносних горизонтів. Рівненщина є одним з небагатьох регіонів України, що використовує підземні води для побутового споживання. Практично всі міські поселення району під'єднані до централізованої мережі, яка складається з понад 150 свердловин та кількадесят насосних станцій, які щоденно

доставляють близько 300 тис м³ питної води в будинки до споживачів.

Водопостачання в районі організовано через централізовану систему, яка забезпечує водою промислових та побутових споживачів. Основним надавачем послуг є Рівненське обласне виробниче комунальне підприємство водопровідно-каналізаційного господарства «Рівнеоблводоканал», яке здійснює контроль за якістю води на всіх етапах її обробки. Водопостачання в районі забезпечується мережею водопроводів та насосних станцій, що здійснюють забір води із поверхневих та підземних джерел [19].

Разом з тим водні ресурси району використовуються для отримання електроенергії. В районі функціонує декілька міні-гідроелектростанцій, які здатні виробляти до 500 кВт електроенергії на рік. Це зокрема Корецька ГЕС, що функціонує з 2020 р. на р. Корчик та Костопільська ГЕС, що була добудована у 2021 р. на р. Замчисько.

Земельні ресурси. Станом на 01.01.2025 р. земельний фонд Рівненського району становить 721,66 тис га, з яких 389,8 тис га (47,8 %) займають сільськогосподарські угіддя. Вони є найчисленнішим типом категорій земельних угідь, що свідчить про високий рівень розвитку аграрного виробництва в районі. У структурі сільськогосподарських угідь виокремлюють рілля (32, 4 %), сіножаті та пасовища (13,2 %), багаторічні насадження (0,8 %) та перелоги (0,4 %). Залісненість досліджуваної території сягає 24,7%, частка земель під забудовою – 13,8%, водний фонд охоплює 9,3%, інші землі – 4,4% (рис. 2).

Рівненський район характеризується значною розораністю, що передусім свідчить про стрімке використання земель у сільському

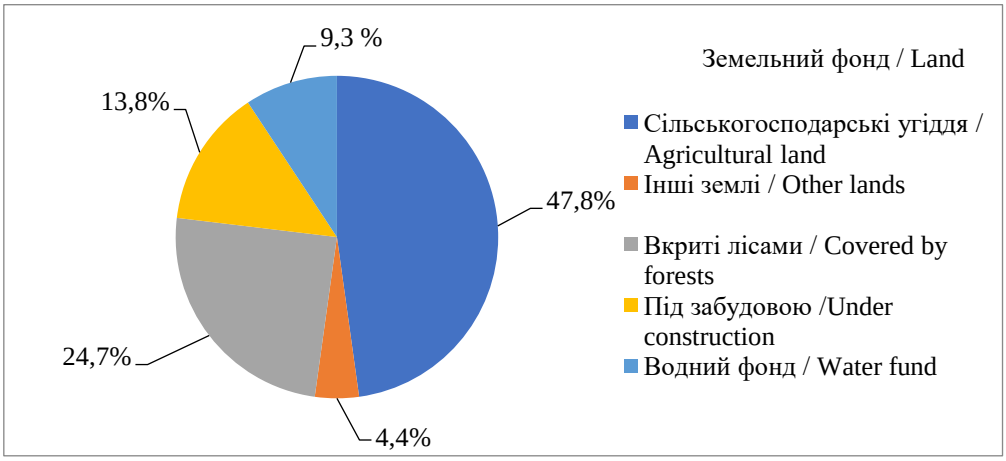


Рис.2 – Структура земельного фонду Рівненського району Рівненської області
Fig.2 – Structure of the land fund of Rivne district of Rivne region

господарстві. Найбільші посівні площі займають зернові та зернобобові культури, передусім озима та яра пшениці, жито, ячмінь, кукурудза та овес, які використовуються як сировина для борошномельно-круп'яної промисловості та як корм для сільськогосподарських тварин. Здебільшого зернові культури вирощують у північній та центральній частинах району.

Останніми десятиліттями суттєво збільшилися площі технічних культур, передусім через попит на внутрішньому та зовнішньому ринках. Найбільше вирощують сою, ріпак, цукровий буряк та соняшник, які здебільшого поширені в лісостеповій зоні. Ці культури мають широке застосування у харчовій та хімічній галузях промисловості, використовуються як корм для тварин.

Значно розвинене овочівництво, яке тяжіє до приміських зон Рівненського району. Традиційно найбільші площі відведено під картоплю, яка займає понад 90 % у структурі овочівництва району. Окрім того, значні площі відведені під моркву, капусту, столовий буряк, цибулю, огірки та помідори. Невелику частку займають овочі закритого типу, які вирощують цілий рік в теплицях та парниках.

Незначну частку у структурі земельного фонду займають багаторічні насадження, перш за все це сади, виноградники та ягідники. На території району вони займають лише 6,5 тис га, що становить 0,8% від загальної площі земель району. Передусім північні та центральні громади району займаються вирощуванням ягідних та плодових культур, як от малини, полуниці, яблук, груш, слив та вишень.

На півдні району культивуються горіхоплідні культури та виноград [20].

До сільськогосподарських угідь також належать сіножаті та пасовища. Це природні та штучні угіддя, які вкриті трав'янистими рослинами та використовуються для заготівлі сіна та випасання худоби. Найвища їх частка в центральній частині району, особливо вони поширені в долинах та надзаплавних терасах річок. Разом з тим до сільськогосподарських земель належать перелоги або «покинуті землі». Передусім це рілля, яка довгий час була у використанні, а нині заросла різнотравно-злаковою рослинністю для відновлення родючості.

Біологічні ресурси. Біологічні ресурси Рівненського району охоплюють сукупність живих організмів – рослинного й тваринного світу, які відіграють важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги та забезпеченні населення сировиною для різних галузей господарства. До основних типів біологічних ресурсів Рівненського району належать рослинні та тваринні ресурси.

Здебільшого у господарському використанні рослинні ресурси є цінним джерелом для отримання деревини, ягід, грибів, лікарських рослин, плодів, деревних соків тощо. Найбільш цінними та численними є лісові ресурси, які слугують сировиною для розвитку потужного деревообробного комплексу в районі.

Разом з тим рослинні ресурси широко використовуються для відпочинку та рекреації. Багато рослинних угруповань є частиною об'єктів та територій природно-заповідного фонду району. Лучна рослинність є кормовою базою для свійських та диких тварин.

Тваринні ресурси відіграють важливу роль у житті людини. Одомашнені види тварин є цінним джерелом для отримання продукції харчування та сировини для легкої промисловості. Також продовжується використання ресурсів дикої природи, зокрема здійснюється мисливський промисел, що пов'язаний з полюванням на диких тварин, зокрема дикого кабана в лісах Полісся, виловом риб та ракоподібних у водоймах та водотоках.

Інтенсивний розвиток господарства та природні процеси, що виникають мимовільно, призводять до погіршення стану природних ландшафтів, зокрема згубно впливають на кількісний та якісний стан ландшафтів. В контексті поданого дослідження здійснено оцінку екологічної стійкості ландшафтів Рівненського району Рівненської області у розрізі територіальних громад табл. 1.

Отже, для оцінки екологічної стабільності було використано два коефіцієнти: $Кесл_1$ – співвідношення стабільних і нестабільних елементів ландшафту, та $Кесл_2$ – стабілізації біотехнічних елементів. Розрахунки показали, що лише 4 громади району мають стабільні або середньо стабільні ландшафти. Оптимальні показники зафіксовано у територіальних громадах, розміщених на півночі Рівненського району в області Волинського Полісся; нестабільні значення екологічної стійкості ландшафтів бачимо у громадах, які розташовані на півдні району й характеризуються високим рівнем розвитку сільського господарства.

Коефіцієнт екологічної стабілізації біотехнічних елементів ($Кесл_2$) Рівненського району Рівненської області у розрізі територіальних громад інтерпретовано на рис. 3.

До найбільш екологічно стабільних громад Рівненського району належать Соснівська ТГ, Мізоцька та Малинська ТГ. Ці громади є прикладом територій, де добре збереглися природні ландшафти й фіксуються порівняно високі показники залісненості, а також площ об'єктів і територій, які мають природоохоронний статус та низьке антропогенне навантаження.

Умовно стабільними є Костопільська, Головинська, Березнівська, Клеванська територіальні громади, які характеризуються помірним рівнем стабільності за обома показниками. У цих громадах збереглися лісові ландшафти з ознаками природної стійкості, хоча спостерігається високе навантаження від сільського господарства.

Нестабільними є південні громади, передусім Рівненська, Корнинська, Великомежиріцька, Бабинська, Шпанівська, Здовбицька та інші (понад 15 громад), які мають доволі низькі показники екологічної стійкості. Такі закономірності зумовлені значною розораністю, щільною житловою та промисловою забудовою, невеликою часткою стабілізуючих компонентів ландшафту – лісів, водних об'єктів, природоохоронних територій

Важливим елементом характеристики природнко-ресурсного потенціалу Рівненсь кого району Рівненської області є стан та перспективи розвитку мережі ПЗФ. Рівненський

Таблиця 1

Оцінка екологічної стійкості ландшафтів Рівненського району Рівненської області у розрізі територіальних громад

Table 1

Assessment of the ecological sustainability of landscapes of the Rivne district of the Rivne region by territorial communities

Назва громади/ Community name	Показник $Кесл_1$/ Indicator	Оцінка $Кесл_1$ Score	Показник $Кесл_2$ Indicator	Оцінка $Кесл_2$ Score
Бабинська/ Babinska	0,10	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю / unstable, with pronounced instability	0,13	нестабільний/ unstable
Березнівська/ Bereznivska	1,24	умовно стабільний/ conditionally stable	0,50	малостабільний/ lowly unstable
Бугринська/ Bugrynska	0,13	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,16	нестабільний/ unstable
Білокриницька/ Belokrynytska	0,18	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,18	нестабільний/ unstable
Великомежиріцька/ Velikomezhirytska	0,07	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,13	нестабільний/ unstable
Великоомелянська/ Velyko Omelyanska	0,08	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,14	нестабільний/ unstable
Головинська/ Golovynska	1,12	умовно стабільний/ conditionally stable	0,58	середньостабільний/ medium stable
Городоцька/ Horodotskaya	0,13	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,15	нестабільний/ unstable
Гощанська/ Goschanska	0,12	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,15	нестабільний/ unstable
Деражненська/ Derazhnenskaya	0,94	нестабільний/ unstable	0,39	малостабільний/ lowly unstable
Дядьковицька/ Dyadkovytska	0,14	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,17	нестабільний/ unstable
Здовбицька/ Zdovbytska	0,12	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,16	нестабільний/ unstable
Здолбунівська/ Zdolbunivska	0,24	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,20	нестабільний/ unstable
Зорянська/ Zoryanska	0,39	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,25	нестабільний/ unstable
Клеванська/ Klevanska	1,40	умовно стабільний/ conditionally stable	0,63	середньостабільний/ medium stable
Корецька/ Koretskaya	0,21	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,19	нестабільний/ unstable
Корнинська/ Kornynska	0,05	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,18	нестабільний/ unstable
Костопільська/ Kostopilska	1,06	умовно стабільний/ conditionally stable	0,56	середньостабільний/ medium stable

Продовження таблиці 1/ Continuation of table 1				
Малинська/ Malynska	2,34	умовно стабільний/ conditionally stable	0,74	стабільний / stable
Малолюбашанська/ Malolyubashanskaya	0,85	нестабільний/ unstable	0,25	нестабільний/ unstable
Мізоцька/ Mizotska	1,42	умовно стабільний/ conditionally stable	0,93	стабільний / stable
Олександрійська/ Alexandria	0,95	нестабільний/ unstable	0,39	малостабільний/ lowly unstable
Острозька/ Ostrohska	0,17	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,32	нестабільний/ unstable
Рівненська/ Rivne	0,05	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,04	нестабільний/ unstable
Соснівська/ Sosnivska	4,61	стабільний, з яскраво вираженою стабільністю/ stable, with pronounced stability	1,25	стабільний / stable
Шпанівська/ Shpanivska	0,12	нестабільний, з яскраво вираженою нестабільністю/ unstable, with pronounced instability	0,14	нестабільний/ unstable

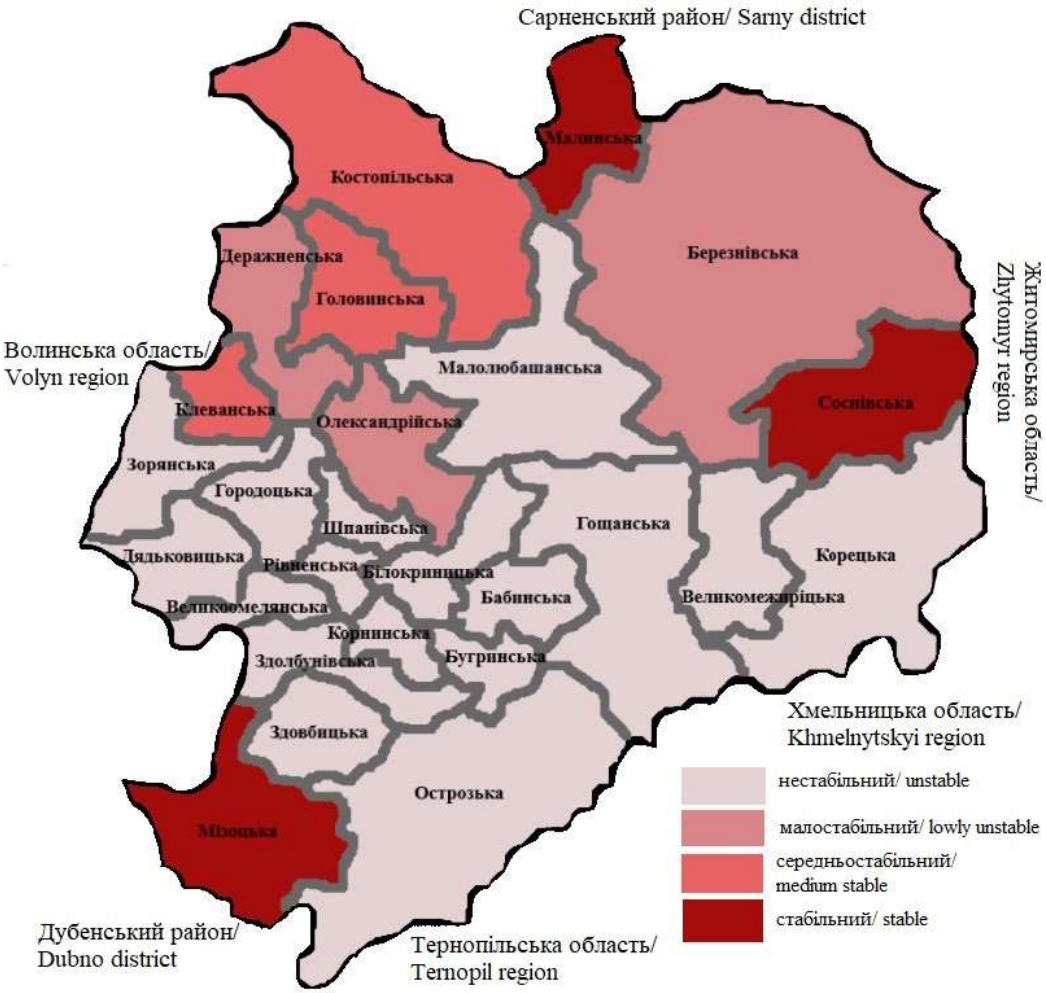


Рис. 3 – Коефіцієнт екологічної стабілізації біотехнічних елементів і всього ландшафту в розрізі територіальних громад Рівненського району Рівненської області

Fig. 3 – Coefficient of ecological stabilization of biotechnical elements and the entire landscape in the context of territorial communities of the Rivne district of the Rivne region

район вирізняється відносно низьким відсотком заповідності, що становить 6,8 %. В порівнянні з іншими адміністративними районами Рівненської області він демонструє один з найнижчих показників заповідності. Наприклад, північні райони Рівненщини, зокрема Вараський та Сарненський, які розташовані в зоні мішаних лісів, характеризуються відносно високим показником заповідності, що становить 16,5 % та 14,4 % відповідно. Найнижчий показник спостерігається в Дубенському районі, де частка природоохоронних територій становить лише 1,4 % від площі району. Такі відмінності зумовлені різноманітністю природних умов, особливостями розвитку господарства та природокористування.

В контексті поданих досліджень проведено оцінювання стану природно-заповідного фонду досліджуваної території. На території Рівненського району зафіксовано 154 об'єкти і території ПЗФ, загальною площею 49272,2 га [18]. Показник щільності природоохоронних територій сягає 2,1 об'єкти/100 км². Коефіцієнт інсуляризованості (розчленованості) природоохоронних територій Рівненського району становить 0,62. Такий високий показник свідчить, що природоохоронна мережа адміністративного району є неефективною, оскільки більшість об'єктів ПЗФ є нестійкими та їх роль в екомережі району незначна.

Разом з тим для оцінки природоохоронної мережі слід охарактеризувати якісний склад природоохоронних територій, який проводиться за кількістю і загальною площею кожної із категорій ПЗФ. На території району наявні 8 категорій ПЗФ (Рис.4), що представлені природними та штучними заповідними об'єктами. В структурі ПЗФ району відсутні природні та біосферні заповідники, ботанічні сади.

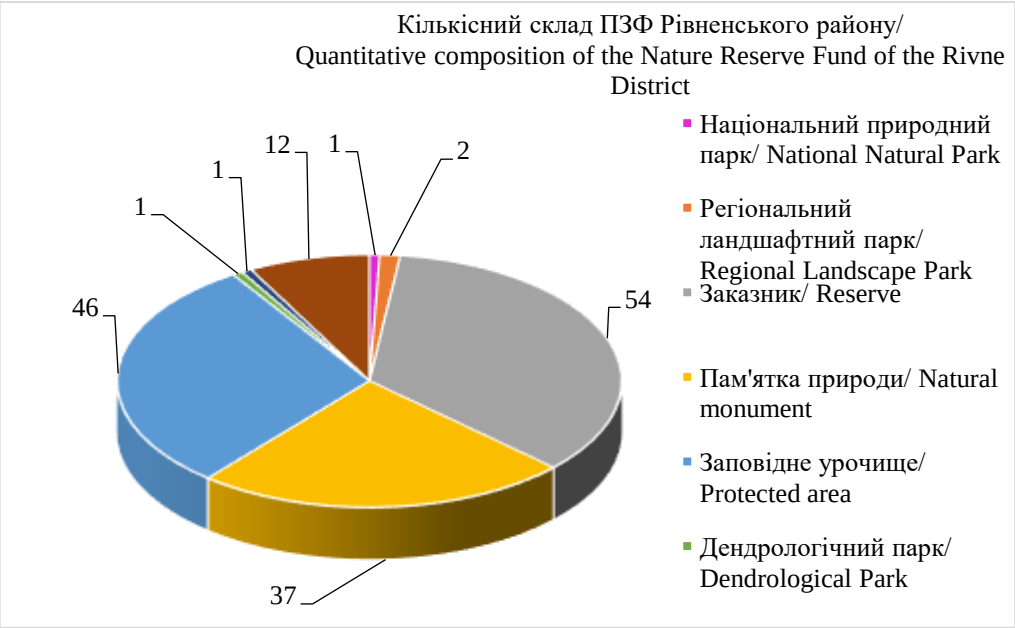


Рис. 4 – Структура ПЗФ Рівненського району

Fig. 4 – Structure of protected areas in Rivne district

Отже, основними проблемами функціонування природно-заповідного фонду району є недостатній рівень заповідності (менше 10 %), висока інсуляризованість об'єктів ПЗФ, відсутність об'єктів вищих категорій – природних та біосферних заповідників. Це потребує просторової оптимізації ПЗФ, розширення площі природоохоронних територій, створення екологічних коридорів і зон, зокрема в територіальних громадах з високим рівнем розвитку сільського господарства.

Проведене дослідження природно-ресурсного потенціалу досліджуваної території дало змогу провести SWOT-аналіз її природного ресурсного потенціалу табл. 2.

SWOT-аналіз Рівненського району виокремлює сильні та слабкі сторони природно-ресурсного потенціалу, а також потенційні можливості та загрози щодо використання його складників.

Сильними сторонами району можна вважати різноманітність видів природних ре-

Таблиця 2

SWOT-аналіз природного ресурсного потенціалу Рівненського району Рівненської області

Table 2

SWOT analysis of the natural resource potential of the Rivne district of the Rivne region

СИЛЬНІ СТОРОНИ/ STRENGTHS	МОЖЛИВОСТІ/ OPPORTUNITIES
• Розмаїття видів природних ресурсів/ Diversity of natural resources • Наявність: / Availability: об'єктів природно-заповідного фонду; заліснених ділянок; родючих ґрунтів у південній частині району/ objects of the nature reserve fund; forested areas; fertile soils in the southern part of the district • Сприятливі кліматичні умови для ведення сільського господарства та рекреації/ Favorable climatic conditions for agriculture and recreation • Густа мережа водних об'єктів природного та штучного походження/ A dense network of water bodies of natural and artificial origin • Потужна мінерально-сировинна база для розвитку промисловості будівельних матеріалів/ A powerful mineral and raw material base for the development of the building materials industry	• Розвиток відновлюваної енергетики на базі енергії сонця, вітру та біопалива/ Development of renewable energy based on solar, wind and biofuels • Розвиток екологічного туризму в територіальних громадах/ Development of ecological tourism in territorial communities • Розширення екологічної мережі та створення нових природоохоронних територій/ Expansion of the ecological network and creation of new protected areas • Реалізація міжнародних проєктів в галузі природокористування та охорони природи/ Implementation of international projects in the field of nature management and conservation • Державне регулювання та моніторинг за використанням природних ресурсів/ State regulation and monitoring of the use of natural resources • Розробка стратегій щодо можливостей раціонального використання наявного природно-ресурсного потенціалу/ Development of strategies for the rational use of existing natural resource potential • Вдосконалення технологій сортування сміття та початок переробки твердих побутових відходів/ Improving waste sorting technologies and starting solid waste recycling
СЛАБКІ СТОРОНИ/ WEAKNESSES	**ЗАГРОЗИ/ THREATS**
• Виснаження природних ресурсів через нераціональне використання/ Depletion of natural resources due to irrational use • Антропогенне забруднення навколишнього середовища/ Anthropogenic environmental pollution • Нелегальний видобуток мінеральної сировини/ Illegal mining of mineral raw materials • Некотрольована вирубка лісових ресурсів/ Uncontrolled deforestation • Малородючі ґрунти, які займають близько 80 % площі району/ Low-fertility soils, which occupy about 80% of the area of the district • Несприятливі фізико-географічні процеси та явища/ Adverse physical and geographical processes and phenomena • Недостатньо розвинена мережа рекреаційних зон та інфраструктурних об'єктів для відпочинку та рекреації/ Insufficiently developed network of recreational areas and infrastructure facilities for rest and recreation	• Глобальні зміни клімату, зокрема прояв глобального потепління/ Global climate change, including the manifestation of global warming • Високий ризик деградації природних екосистем та втрата біорізноманіття/ High risk of degradation of natural ecosystems and loss of biodiversity • Нестабільність економічної ситуації на державному та регіональному рівнях, що може призвести до зменшення фінансування екологічних проєктів і природоохоронних ініціатив/ Instability of the economic situation at the state and regional levels, which may lead to a decrease in funding for environmental projects and environmental initiatives • Зниження якості водних ресурсів через антропогенне забруднення/ Deterioration of water quality due to anthropogenic pollution • Загроза для сталого розвитку сільського господарства через нераціональне використання родючих земель, зміни клімату та ерозію ґрунтів/ Threat to sustainable agricultural development due to irrational use of fertile lands, climate change and soil erosion • Втрата інтересу до екологічного туризму через погіршення природних умов та низький рівень розвитку інфраструктури/ Loss of interest in ecological tourism due to deterioration of natural conditions and low level of infrastructure development

сурсів, які є доволі численними та становлять цінність у їх подальшому використанні. Також важливим чинником є наявність мережі об'єктів та територій ПЗФ, яка представлена численними природними та штучними заповідними об'єктами.

Слабкі сторони пов'язані переважно із виснаженням наявних природних ресурсів через нераціональне використання, передусім лісів і мінеральних ресурсів. Малородючі ґрунти обмежують сільськогосподарський потенціал, а недостатньо розвинена інфраструктура для рекреаційних зон знижує привабливість для розвитку туризму. Серйозними проблемами також є несприятливі фізико-географічні процеси та явища.

Основні можливості для Рівненського району включають розвиток відновлюваної енергетики (сонце, вітер, біопаливо), що зменшить залежність від традиційних джерел енергії.

Перспективним є розвиток екологічного туризму, що сприятиме економічному зростанню району [21].

Розширення мережі природоохоронних територій допоможе зберегти біорізноманіття, а міжнародні проєкти в галузі раціонального природокористування допоможуть зберегти природне середовище. Також покращить екологічну ситуацію застосування сучасних технологій у переробці сміття.

Загрози передусім пов'язані з глобальними змінами клімату, зокрема потепління, можуть призвести до пониження врожайності та частих природних катастроф.

Деградація ландшафтів і втрата біорізноманіття, а також забруднення водних ресурсів становлять загрози для подальшого розвитку господарства. Важливою загрозою також є економічна нестабільність країни, яка зменшує фінансування природоохоронних програм.

Висновки

Рівненський район Рівненської області має потужний та різноманітний природний ресурсний потенціал, який за умови раціонального використання може стати основою сталого розвитку територій. Унікальне поєднання природних ландшафтів, значні запаси нерудної мінеральної сировини, розгалужена мережа водних об'єктів, біологічне різноманіття, лісові й земельні ресурси створюють передумови для екологічно збалансованого просторового планування.

Застосування порівняльно-географічного, статистичного, картографічного методів та SWOT-аналізу дозволило сформувати уяву про природно-ресурсний потенціал району та можливості його використання. Особливу увагу приділено оцінці екологічної стійкості ландшафтів в розрізі територіальних громад. Встановлено, що лише незначна частина громад (Соснівська, Мізоцька, Малинська) характеризується стабільними або середньо стабільними ландшафтами. Більшість громад мають нестабільний стан через переважання нестійких елементів природного середовища, інтенсивне господарське освоєння та розвиток аграрного виробництва.

Розвиток ПЗФ району, попри наявність 154 об'єктів ПЗФ, є недостатньо ефективним. Коефіцієнт заповідності становить лише 6,8 %, а коефіцієнт інсуляризованості – 0,62, що вказує на розчленованість та ізоляцію природоохоронних територій. Відсутність біосферних або природних заповідників, ботанічних садів та національних парків (окрім НПП «Дерманськo-Острозь-кий») посилює вразливість природних ландшафтів.

За результатами SWOT-аналізу встановлено сильні сторони, це передусім розмаїття природних ресурсів, наявність об'єктів ПЗФ, потенціал для розвитку туризму та рекреації. До слабких сторін належать низька якість екологічної інфраструктури, екологічна нестійкість ландшафтів, деградація земель. Можливості району пов'язані з розвитком відновлюваної енергетики, впровадженням міжнародних та державних природоохоронних програм. Загрози – зміни клімату, порушення екологічного балансу, нераціональне природокористування.

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

Список використаної літератури

1. Rudenko S., Rudenko V. Nature-resource potential of natural regions of Ukraine in present-day figures. *Екологічні науки: науково-практичний журнал.* 2023. Т.6 № 51. С. 84–89 DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.13
2. Руденко С. В., Руденко В. П., & Пахомов О. Є. Екорегіони України: територія, населення, природно-ресурсний потенціал. *Природнича освіта та наука.* 2024. № 4. С. 102–107. DOI: https://doi.org/10.32782/NSER/2024-4.16
3. Хвесик, М., Сундук, А. Природно-ресурсний потенціал та ринкове середовище: теорія і практика. *Економіка України* . 2022. Т. 65 № 8 (729). С.70–82. DOI: https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.08.070
4. Перович Л., Перович І., Перович Л., Гуменний М., Лук'янченко І. Сучасний стан природно-ресурсного потенціалу приморських регіонів України. *Grassroots Journal of Natural Resources.* 2024. 7 (3), 167–179. DOI: https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.070310
5. Коротун І. М., Коротун Л. К. *Географія Рівненської області: Природа. Населення. Господарство. Екологія*. Рівне: Інститут підвищення кваліфікації педагогічних кадрів. 1996.
6. Коротун С.І., Кушнірук, Ю. С. *Природні та медико-географічні передумови використання рекреаційних ресурсів Рівненської області: монографія*. Рівне: О. Зень. 2022.
7. Стратегія розвитку Рівненської області на період до 2027 року. Проект. URL: https://www.rv.gov.ua/storage/app/sites/11/2020/strategia-2027-proekt.pdf
8. Стратегія розвитку Рівненської територіальної громади на період до 2027 року. *Офіційний веб-сайт Рівненської територіальної громади.* URL: https://invest.rivne.ua/storage/web/source/1/t3_8EnUT8vTKkO6qPxwYz4L-PCoy4WcY.pdf
9. Якимчук А. Ю. Удосконалення методики оцінки антропогенного навантаження на регіональні ландшафтні парки та розроблення природоохоронних заходів. *Науковий вісник національного лісотехнічного університету України.* 2006. Т.16. №6. С.18–22. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2006/16_6/18_Jakymczuk_16_6.pdf
10. Децентралізація в Рівненській області. *Офіційний веб-сайт порталу «Децентралізація».* URL: https://decentralization.ua/areas/0362
11. ТОВ «Інститут геології». *Офіційний веб-сайт Товариства з обмеженою відповідальністю «Інститут геології».* URL: https://insgeo.com.ua/korysni-kopalyny-rivnenskoi-oblasti/
12. Мельничук В., Мельничук Г. Мінерально-сировинна база Рівненської області: стан, проблеми, перспективи. *Мінералогічний збірник.* 2017. Т.67. №2. С. 91–102. URL:http://publications.lnu.edu.ua/collections/index.php/mineralogy/article/view/3383
13. Бурка В. Й. Географічні особливості мінерально-ресурсної бази будівельно-індустріального комплексу північно-західного економічного району. *Науковий вісник Чернівецького університету, серія Географія.* 2015.№ 762 – 763. С. 117 – 126.
14. Інвестиційний атлас Рівненської області. *Офіційний веб-сайт Державної служби геології та надр.* URL: https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/atlas/invest-atlas-rivne-oblast.pdf
15. *Рівненська область. Географічний атлас* (2017). Київ: ТОВ «Видавництво Мапа».
16. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області. *Офіційний веб-сайт Департаменту екології та природних ресурсів Рівненської обласної державної адміністрації.* URL: https://www.ecorivne.gov.ua/tmp/dopovid_2023.pdf
17. Екологічний паспорт Рівненської області за 2021 р. *Офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.* URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/Ekologichnyj-pasport-Rivnenskoyi-oblasti-za-2021-rik.pdf
18. Головне управління статистики у Рівненській області. *Офіційний веб-сайт Головного управління статистики у Рівненській області.* URL: https://www.gusrv.gov.ua/
19. РОВКП ВКГ «Рівнеоблводоканал». *Офіційний веб-сайт РОВКП ВКГ «Рівнеоблводоканал»*. URL: https://vodarivne.com/
20. Єдина геоінформаційна система здійснення моніторингу та оцінювання розвитку регіонів і територіальних громад. *Офіційний веб-сайт Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України.* URL: http://gisrr.mtu.gov.ua/
21. Міщенко О. В. Концептуальна модель екотуристичного потенціалу природоохоронної території. *Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки. Серія: Географічні науки*. 2008. 1, 272–278.

Стаття надійшла до редакції 22.04.2025
Стаття рекомендована до друку 25.05.2025

O. V. MISHCHENKO[1], DSc (Geography), Associate Prof.,
Associate Professor of the Department of Physical Geography
e-mail: mischenko.olena@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6801-7197
O. O. ALEINYK[1],
Bachelor of the Faculty of Geography,
e-mail: alonaaleinik@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-8995-8332
[1]*Lesya Ukrainka Volyn National University*
Volia Avenue, 13, Lutsk, 43025, Ukraine

SUSTAINABLE USE AND OPTIMIZATION OF THE NATURAL RESOURCE POTENTIAL OF THE LANDSCAPES IN RIVNE DISTRICT, RIVNE REGION

Purpose. Analysis of the current state of the natural resource potential of the Rivne district of the Rivne region to determine the possibilities of its use.

Methods. Statistical, cartographic, system analysis, SWOT analysis.

Results. In the Rivne district, a variety of natural conditions and resources have been formed that can be used/are used for the development of the construction, energy industries and agriculture. The hydrogeological conditions of the territory provide small volumes of production of both medicinal and table water and mineral water. Water resources in combination with optimal climatic conditions make it possible to create a network of recreational complexes. Most communities located in the south of the district have an unstable landscape due to the predominance of unstable elements of the natural environment, intensive economic development and the development of agricultural production. This situation is due to the low indicators of forestation and conservation of these territories. The conducted SWOT analysis outlined the weaknesses, strengths, opportunities and threats to the development of the natural resource potential of the Rivne district.

Conclusions. Rivne district of Rivne region has a powerful and diverse natural resource potential, which, if used rationally, can become the basis for sustainable development of territories. The opportunities of the district are related to the development of renewable energy, the implementation of international and state environmental protection programs. Threats - climate change, disruption of the ecological balance, irrational use of nature.

KEYWORDS: *natural resource potential, ecological stability of landscapes, nature reserve fund, SWOT analysis, Rivne district*

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

References

1. Rudenko, S., & Rudenko, V. (2023). Nature-resource potential of natural regions of Ukraine in present-day figures. *Ecological Sciences: Scientific and Practical Journal*, *6*(51), 84–89. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.13
2. Rudenko, S. V., Rudenko, V. P., & Pakhomov, O. E. (2024). Ecoregions of Ukraine: territory, population, natural resource potential. *Natural Education and Science*, (4), 102–107. https://doi.org/10.32782/NSER/2024-4.16
3. Khvesyk, M., & Sunduk, A. (2022). Natural resource potential and market environment: theory and practice. *Economy of Ukraine*, 65 (8 (729), 70–82. https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.08.070
4. Perovych, L., Perovych, I., Perovych, L., Humennyi, M., & Luk'yanchenko, I. (2024). Current state of natural resource potential of coastal regions of Ukraine. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 7 (3), 167–179. https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.070310
5. Korotun, I. M., & Korotun, L. K. (1996). Geography of Rivne region: Nature. Population. Economy. Ecology. Rivne: Institute for Advanced Training of Pedagogical Personnel.
6. Korotun, S.I., & Kushniruk, Yu. S. (2022). Natural and medical-geographical prerequisites for the use of recreational resources of Rivne region: monograph. Rivne: O. Zen.
7. Development Strategy of Rivne Region for the Period Until 2027. Retrieved from https://www.rv.gov.ua/storage/app/sites/11/2020/strategia-2027-proekt.pdf
8. Development Strategy of the Rivne Territorial Hromada for the period up to 2027. Official website of Rivne territorial hromada Retrieved from https://invest.rivne.ua/storage/web/source/1/t3_8EnUT8vTKkO6qPxwYz4L-PCoy4WcY.pdf

9. Yakymchuk, A.Y. (2006). Improvement of the methodology for assessing anthropogenic pressure on regional landscape parks and development of environmental protection measures. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, *16*(6), 18–22. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2006/16_6/18_Jakymczuk_16_6.pdf
10. Decentralization in Rivne region. Official website of the portal "Decentralization". Retrieved from https://decentralization.ua/areas/0362
11. LLC "Institute of Geology". Official website of the Limited Liability Company "Institute of Geology". Retrieved from https://insgeo.com.ua/korysni-kopalyny-rivnenskoi-oblasti/
12. Melnychuk,V., & Melnychuk, G. (2017). Mineral and raw material base of Rivne region: state, problems, prospects. Mineralogical collection, 67 (2), 91–102. Retrieved from http://publications.lnu.edu.ua/collections/index.php/mineralogy/article/view/3383
13. Burka, V. Y. (2015). Geographical features of the mineral and resource base of the construction and industrial complex of the north-western economic region. *Scientific Bulletin of Chernivtsi University, Geography series*, 762 – 763, 117 – 126.
14. Investment Atlas of Rivne Region. Official website of the State Service of Geology and Subsoil. Retrieved from https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/atlas/invest-atlas-rivne-oblast.pdf
15. Rivne Region. Geographic Atlas (2017). Kyiv: Mapa Publishing House LLC.
16. Report on the state of the environment in the Rivne region. Official website of the Department of Ecology and Natural Resources of the Rivne Regional State Administration. Retrieved from https://www.ecorivne.gov.ua/tmp/dopovid_2023.pdf
17. Ecological passport of the Rivne region for 2021. Official website of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Retrieved from https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/Ekologichnyj-pasport-Rivnenskoyi-oblasti-za-2021-rik.pdf.
18. Main Department of Statistics in Rivne Region. Official website of the Main Department of Statistics in Rivne Region. Retrieved from https://www.gusrv.gov.ua/
19. ROVKP VKG "Rivneoblvodokanal". Official website of ROVKP VKG "Rivneoblvodokanal". Retrieved from https://vodarivne.com/
20. Unified geoinformation system for monitoring and evaluating the development of regions and territorial communities. Official website of the Ministry of Community Development, Territories and Infrastructure of Ukraine. Retrieved from http://gisrr.mtu.gov.ua/
21. Mishchenko, O. V. (2008). Conceptual model of ecotourism potential of a protected area. Scientific *Bulletin of the Lesya Ukrainka Volyn State University. Series: Geographical Sciences*, 1, 272–278.

The article was received by the editors 22.04.2025
The article is recommended for printing 25.05.2025

https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-02
УДК (UDC): 556.3:543.3 (477.84)

І. Р. КУЗИК[1], PhD (Науки про Землю),
доцент кафедри геоекології та гідрології
e-mail: kuzyk@tnpu.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4491-1071
С. Р. НОВИЦЬКА[1], канд. географ. наук,
доцент кафедри геоекології та гідрології
e-mail: ekosvit@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7354-4787
Л. В. ЯНКОВСЬКА[1], канд. географ. наук,
доцент кафедри геоекології та гідрології
e-mail: lubayank@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7939-7423
Б. М. ПЕТРУШКА[1],
аспірант кафедри хімії та методики її навчання
e-mail: bodik@tnpu.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2766-4857
[1]*Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка*,
вул. М. Кривоноса, 2, м. Тернопіль, 46027, Україна

ЯКІСТЬ ПІДЗЕМНИХ ВОД З РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ВОДОПОСТАЧАННЯ ХОРОСТКІВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Мета. Проаналізувати якість підземних вод різних джерел водопостачання Хоростківської міської територіальної громади.

Методи. Системний та статистичний аналіз, метод геохімічної оцінки якості підземних вод та метод титрування.

Результати. Встановлено, що у структурі водокористування Хоростківської громади переважає використання води на питні, санітарно-гігієнічні потреби та виробничі потреби. Основними джерелами водопостачання є поверхневі і підземні води. Досліджено якісні параметри проб водопровідної води міста Хоростків, трьох приватних свердловин і трьох громадських криниць в межах громади та п'яти колодязів приватних домогосподарств с. Верхівці Хоростківської територіальної громади. Встановлено, що у джерелах централізованого водопостачання міста Хоростків фіксується невідповідність вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 за показниками азоту амонійного та кольоровості. Перевищення параметрів азоту нітратного та загальної твердості спостерігається у відібраних пробах води із громадської криниці міста Хоростків по вул. Музейна, 4. Визначено перевищення показника загальної твердості води у криницях приватних домогосподарств села Верхівці у двох із п'яти відібраних проб.

Висновки. Якість води основних джерел водопостачання громади загалом відповідає санітарно-гігієнічним та екологічним нормам, проте існують ризики для якості та безпечності поверхневих і підземних вод. З метою недопущення забруднення вод підземних горизонтів, пропонується відновити роботу очисних споруд у місті Хоростків, забезпечити сільські населені пункти системою централізованого водопостачання, контролювати вивіз стоків приватних домогосподарств.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *підземні води, територіальна громада, хімічний склад, забруднення, питна вода*

Як цитувати: Кузик І. Р., Новицька С. Р., Янковська Л. В., Петрушка Б. М. Якість підземних вод з різних джерел водопостачання Хоростківської територіальної громади Тернопільської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 22 - 33. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-02

In cites: Kuzyk I. R., Novytska S. R., Yankovska L. V., & Petrushka B. M. (2025). Groundwater quality from different water supply sources of the Khorostkiv territorial community of Ternopil region. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (43), 22-33. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-02 (in Ukrainian)

© Кузик І. Р., Новицька С. Р., Янковська Л. В., Петрушка Б. М., 2025

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

Вступ

В умовах повномасштабної агресії рф проти України, проблема якісного водопостачання та забезпечення населення питною водою є актуальною та практично важливою. Пошкодження водогосподарської інфраструктури і джерел водопостачання безпосередньо впливають на життєдіяльність населених пунктів, як тих що знаходяться у зоні бойових дій, так і тих що постраждали від ракетних обстрілів. З об'єктивних причин досліджувати проблеми водозабезпечення прифронтових населених пунктів поки що не має можливості, проте можемо проаналізувати одну із тилових територіальних громад на предмет якісного водопостачання. Аналіз хімічного складу джерел водопостачання та якості питної води у пілотній територіальній громаді дозволить в перспективі екстраполювати отримані результати дослідження на громади які безпосередньо постраждали від військових дій.

Хоростківська територіальна громада (ТГ) розташовується на території Чортківського району Тернопільської області, де проживає 14155 осіб, площа громади – 183,6 км^2 [1]. До складу громади входить м. Хоростків і дев'ять сільських населених пунктів: Увисла, Карашинці, Сорока, Перемилів, Хлопівка, Великий Говилів, Клювинці, Верхівці, Малий Говилів (рис. 1). Води переважно використовуються на питні і санітарно-гігієнічні потреби (84%) та виробничі потреби (16%). Основними джерелами водопостачання є поверхневі і підземні води, у співвідношенні 54:46% [2]. Таким чином, можемо стверджувати, що у громаді близько 50% водозабору здійснюється із підземних водних об'єктів. Тому вивчення хімічного складу та якості підземних вод Хоростківської ТГ є актуальним та важливим науково-практичним завданням.

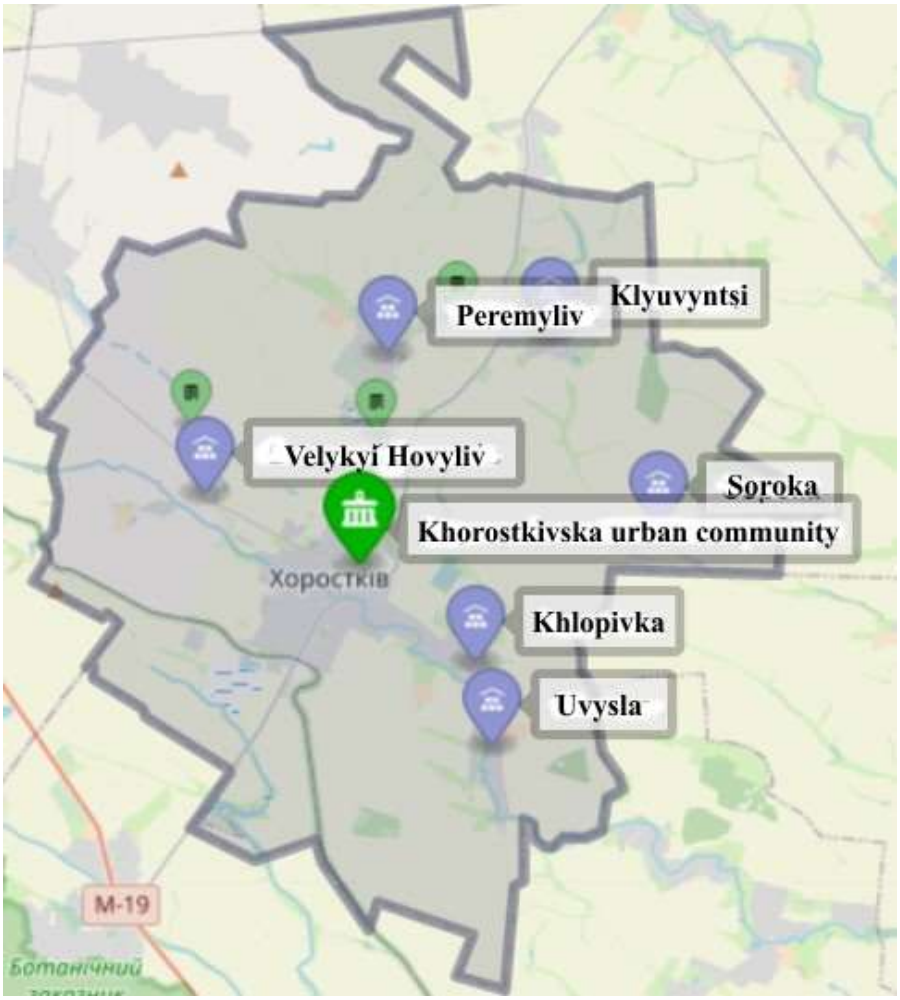


Рис. 1 – Хоростківська міська територіальна громада [1]
Fig. 1 – Khorostkivska urban territorial community [1]

Проблеми використання водних ресурсів Хоростківської територіальної громади та їх екологічний стан висвітлено у публікації [3], де звернено увагу на особливості використання поверхневих та підземних водних ресурсів громади, динаміку водокористування, включаючи обсяги скидання забруднених стічних вод; проаналізовано санітарно-епідеміологічні параметри якості поверхневих вод, водопровідної води та приватних свердловин Хоростківської ТГ. Гідроекологічні проблеми Хоростківської громади досліджено у роботі [4], щодо гідроекологічної безпеки Золочівської громади надано у [5], Підволочиської громади [6]. Проблеми водокористування територіальних громад басейну річки Нічлава висвітлено у публікації [7]. Окремі аспекти дослідження якості підземних вод, як джерел водопостачання міста Тернопіль представлено у статті [8].

Оцінку якісного складу питних підземних вод сеноман-нижньокрейдяного водоносного комплексу на території Харківської області проводила Прибилова В.М. [9]. Ризики споживання питної води з підвищеним вмістом нітратів на здоров’я населення Житомирської об’єднаної територіальної громади досліджено Валерко Р.А. зі співавторами [10]. Якість питної води у Західному регіоні України [11], у тому числі ризики споживання питної води з підвищеним вмістом нітратів для здоров'я населення Тернопільської області надано у роботі [12]. Досліджено також особливості водозабезпечення та якість питної води для населення Поліських районів Рівненської області [13], результати подібних досліджень щодо екологічної оцінки стану питної води у межах об’єднаних територіальних громад Житомирського району на надано у [14, 15]. Результати дослідження якості підземних вод, зокрема вплив нітратного забруднення вод на здоров’я населення США надано у роботах [16 – 18].

Мета дослідження – проаналізувати якість підземних вод різних джерел водопостачання Хоростківської міської територіальної громади.

Об’єкт та методи дослідження

Об’єктом дослідження є джерела водопостачання Хоростківської територіальної громади, предметом – виступає хімічний склад та якісні показники підземних вод, які використовуються для водопостачання в межах досліджуваної громади.

Для визначення загальної твердості води з приватних колодязів села Верхівці, використано метод титрування. Для цього методу застосовувано певне обладнання, аміачна буферна суміш з pH ~ 10, $Na_2H_2Y{\cdot}2H_2O$ (0,05 н. розчин), комплексон III, еріохром чорний. Як відомо, загальна твердість води має бути не більше 7 мг×екв/дм^3 [19]. Визначення загальної твердості води, тобто вмісту кальцію та магнію, базується на титруванні іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} розчином комплексону III. Для фіксації точки еквівалентності застосовується індикатор еріохром чорний. У діапазоні pH 7–11 він утворює з цими катіонами комплексні сполуки червоного та синього кольорів. Оскільки комплексон III формує зі згаданими іонами більш стійкі комплекси, ніж індикатор, під час титрування останні руйнуються. Завершення реакції підтверджується появою чистого вільного індикатора синього забарвлення [20].

Матеріалами для проведення дослідження послужили дані: Регіонального офісу водних ресурсів у Тернопільській області, Державної установи «Тернопільський обласний лабораторний центр МОЗ України», а також узагальненні дані розділу Охорона навколишнього середовища [21]. Окремо опрацьовано звіти з водокористування (форма 2-ТП) у розрізі територіальних громад [2] і дані моніторингу водних ресурсів Державного агентства водних ресурсів України.

Лабораторні дослідження проб води проводили у Державній установі «Тернопільський обласний лабораторний центр МОЗ України» та лабораторії хімії навколишнього середовища Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Також з використанням методу геохімічної оцінки якості підземних вод з різних джерел водопостачання Хоростківської ТГ.

Результати та обговорення

Водокористування Хоростківської ТГ, як і будь-якої адміністративної одиниці, охоплює водопостачання та водовідведення. Водопровідна мережа громади протяж-

ністю 30 км забезпечує централізоване водопостачання лише 15,5% населення. У громаді централізованою системою водопостачання охоплено 37% житлового фонду та всі об'єкти соціальної інфраструктури. Єдиним населеним пунктом із централізованим водопостачанням є місто Хоростків. У селах воду отримують переважно з шахтних колодязів та приватних свердловин, розташованих на присадибних ділянках. Водопровідна мережа міста зношена на 80%, що створює значну екологічну проблему для населення громади [21].

Аналіз даних [2] водокористування Хоростківської ТГ за 2023 рік визначив, що використано 84% на питні і санітарно-гігієнічні потреби (46 тис.м^3) та 16% на виробничі потреби (9 тис.м^3) [2] (рис. 2).

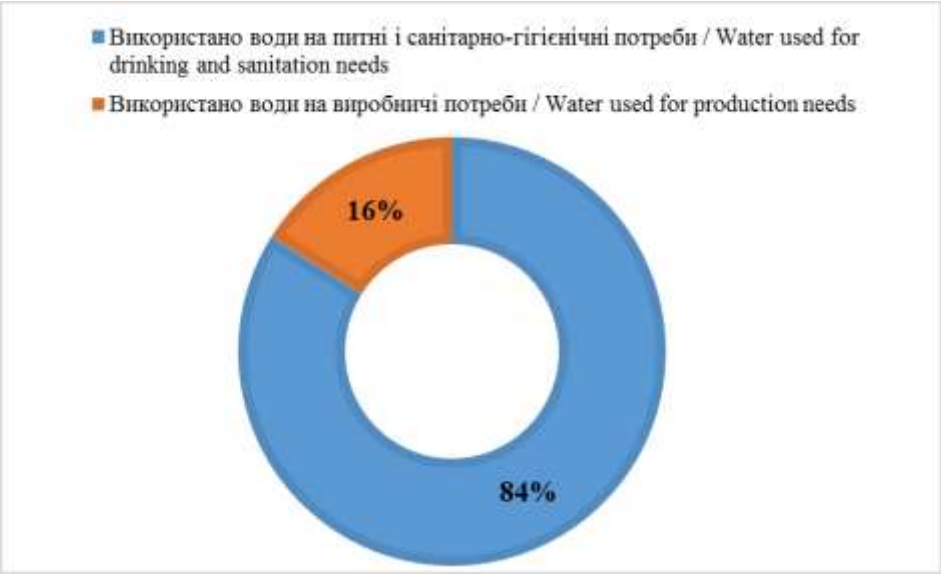


Рис. 2 – Водопостачання Хоростківської громади, за 2023 рік
Fig. 2 – Water supply of the Khorostkivska community, in 2023

З огляду на необхідність забезпечення всіх мешканців Хоростківської громади централізованим водопостачанням, розраховано прогнозований добовий обсяг питної води для потреб населення, який становить приблизно 3,2 тис.м^3 (табл. 1). Нормативи водопостачання визначено відповідно до Державних будівельних норм: для міста Хоростків – 250 літрів на особу, для сільських населених пунктів – 200 літрів на особу (ДБН В.2.5.-74:2013) [21].

Система водовідведення у Хоростківській громаді функціонує в м. Хоростків, і охоплює лише 11% населення. Каналізаційна мережа загальної протяжності 18 км має незадовільний стан, і майже 80% потребує заміни [3].

Обсяг загального водовідведення у 2023 році складав 38 тис. м^3 води, причому 36 тис. м^3 стічних вод без очистки скинуто у поверхневі водні об'єкти [2]. Очистка стічних вод на очисних спорудах та інших об'єктах у 2023 році в громаді не здійснювалась.

Рекомендується приділити увагу утилізації стічних вод в індивідуальних садибах, що є актуальним через перехід приватних домогосподарств на водопостачання з місцевих колодязів. Для збору стічних вод у дворах будуються «септики» (вигрібні ями), але лише невелика частка відповідає нормативним вимогам і тому значна кількість стічних вод просочується в ґрунт. Колодязі питної води розташовуються часто на відстані 10-20 м від «септиків», і до них з часом потрапляє забруднена інфільтратом вода, що значно погіршує якість колодязної води. Питання утилізації стічних вод є актуальним. Мешканці вивозять стічні води та побутові відходи, передусім, у лісопосадки та балки, що призводить до масштабного неконтрольованого забруднення підземних вод і ґрунтів, як у межах населених пунктів, так і поза ними [22].

З гідрогеологічної точки зору територія Хоростківської територіальної громади належить до Волино-Подільського артезіанського басейну, який розташований на південно-західній окраїні Східно-Європейської платформи. Підземні води широко поширені та зосереджені у верхній тріщинуватій зоні тортону-сенон-туруну, а також

Таблиця 1

Прогнозовані об'єми господарсько-питного водоспоживання та водовідведення для потреб населення Хоростківської громади [21]

Table 1

Projected volumes of domestic water consumption and wastewater disposal for the needs of the population of the Khorostkivska community [21]

Населений пункт / Settlement	**Кількість населення, осіб / Population, persons**	**Обсяг водоспоживання, тис. м³/добу / Volume of water consumption, thousand m³/day**	**Обсяг водовідведення, тис. м³/добу / Wastewater disposal volume, thousand m³/day**
м. Хоростків Khorostkiv city	6740	1,68	1,51
с. Увисла Uvysla village	1280	0,26	0,25
с. Клювинці Kluvintsy village	1100	0,22	0,21
с. Хлопівка Khlopivka village	1060	0,21	0,20
с. Перемилів Peremyliv village	1060	0,21	0,20
с. Великий Говилів Velykyi Hovyliv village	945	0,19	0,18
с. Сорока Soroka village	735	0,15	0,14
с. Карашинці Karashyntsi village	485	0,10	0,09
с. Верхівці Verkhivtsi village	400	0,08	0,07
с. Малий Говилів Malyi Hovyliv village	350	0,07	0,06
Разом по громаді *Together in the community*		*3,17*	*2,91*

у глибших палеозойських відкладах. За умови збереження сучасного рівня викори-стання, запаси прісних підземних вод є достатніми як за кількісними, так і за якісними показниками, експлуатуються чи є основними [24].

Підземні водоносні горизонти, які експлуатуються через артезіанські свердловини, є основними джерелами водопостачання споживачів Хоростківської ТГ. Гідрогеологічні умови громади сприяють забезпеченню водопостачання за рахунок підземних вод. Обсяг добового водозабору для централізованого постачання населених пунктів громади становить 0,1 тис. м³/добу [21].

За даними Хоростківської міської ради, якість води з артезіанських свердловин у водопровідній мережі міста відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [25], за винятком показників кольоровості, вмісту амонійного азоту та загальної твердості (табл. 2).

Окрім джерел централізованого водопостачання, проведено аналіз гідрохімічних показників проб підземних вод із приватних свердловин м. Хоростків (табл. 3).та селищ Перемилів і Хлопівка (табл. 4). Визначено, що перевищень гранично допустимих концентрацій фізико-хімічних і санітарно-токсикологічних показників не виявлено та якість води відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [25] Показники проб питної води з трьох криниць у м. Хоростків та селищі Карашинці надано у таблиці 4.

Мікробіологічний аналіз проб води не виявив загальних коліформ та патогенних ентеробактерій. Визначено перевищення вмісту нітратного азоту та показника загальної твердості у проб води з криниці за адресою вул. Музейна, 4 у м. Хоростків та перевищення показника загальної твердості визначено у зразках води з криниці на вул. Незалежності, 74 у м. Хоростків.

Таблиця 2

Хімічний склад водопровідної питної води м. Хоростків

Table 2

Chemical composition of tap drinking water of the Khorostkiv city

Показник / Indicator	**Норма / standard** [25]	**м. Хоростків, водопровідна мережа / Khorostkiv city, water supply network**		**м. Хоростків, артезіанська свердловина №1 / Khorostkiv city, artesian well №1**		**м. Хоростків, артезіанська свердловина №2 / Khorostkiv city, artesian well №2**	
		2021	**2022**	**2021**	**2022**	**2021**	**2022**
pH	6,5-8,5	7,2	6,9	7,1	7,5	7,4	7,3
Окисність, *мг/дм³* Oxidity, *mg/dm³*	≤5	1,09	2,2	1,21	1,13	0,86	1,55
Азот амонійний, *мг/дм³* Ammonium nitrogen, *mg/dm³*	0,5	*2,8*	*3,9*	*2,9*	*2,9*	*4,4*	*2,9*
Азот нітритний, *мг/дм³* Nitrite nitrogen, *mg/dm³*	0,5	0,016	0,28	0,013	0,019	0,04	0,025
Азот нітратний, *мг/дм³* Nitrate nitrogen, *mg/dm³*	50	3,72	3,86	3,5	3,58	2,75	2,77
Загальна твердість, *мг-екв/дм³* Overall hardness, *mg-eq/dm³*	≤7	*8,1*	*10,3*	*8,6*	*8,2*	*10,5*	*8,6*
Загальне залізо, *мкг/дм³* Overall iron, *mcg/dm³*	≤2	0,78	0,13	0,83	0,85	1,05	0,13
Кольоровість, ° Chromaticity, °	≤20	*24*	*31*	*30*	*30*	*30,1*	*25,4*

Таблиця 3

Санітарно-хімічні показники проб підземних вод з приватних свердловин [3]

Table 3

Sanitary-chemical indicators of private wells groundwater [3]

Назва параметрів / Parameter name	**Норма / standard** [25]	**Проба №1 / Sample №1**	**Проба №2 / Sample №2**	**Проба №3 / Sample №3**
pH	6,5-8,5	7,13	7,13	6,9
Сухий залишок, *мг/дм³* Dry residue, *mg/dm³*	≤1500	390,0	420,0	375,0
Загальна жорсткість, *ммоль/дм³* Overall hardness, *mg-eq/dm³*	≤10,0	6,4	7,8	7,2
Загальна лужність, *ммоль/дм³* Overall alkalinity, *mmol/dm³*	≤6,5	6,0	6,4	6,5
Загальне залізо, *мг/дм³* Total iron, *mcg/dm³*	≤1,0	0,0	0,0	0,0
Кальцій, *мг/дм³* Calcium, *mg/dm³*	≤130	114,0	128,0	120,0
Магній, *мг/дм³* Magnesium, *mg/dm³*	≤80	8,5	17,0	14,6
Сульфати, *мг/дм³* Sulphates, *mg/dm³*	≤500	17,3	15,6	11,0
Хлориди, *мг/дм³* Chlorides, *mg/dm³*	≤350	17,7	39,5	21,3
Амоній, *мг/дм³* Ammonium, *mg/dm³*	≤2,6	0,0	0,3	0,0
Натрій, *мг/дм³* Sodium, *mg/dm³*	≤200	10,8	6,0	9,0
Нітрати NO_3, *мг/дм³*/ Nitrates (NO_3), *mg/dm³*	≤50	4,2	16,5	6,6
Sample №1 – Khorostkiv city, **Sample №2** – Peremyliv village, **Sample №1** – Khlopivka village				

Таблиця 4

Хімічний склад питної води громадських криниць Хоростківської територіальної громади

Table 4

Chemical composition of drinking water in public wells Khorostkivska territorial community

Показник / Indicator	**Норма / standard** [25]	**м. Хоростків, вул. Незалежності, 74 / Khorostkiv city, 74 Nezalezhnosti str.**	**м. Хоростків, вул. Музейна, 4 / Khorostkiv city, 4 Muzejna str.**	**с. Карашинці, (біля школи) / Karashyntsi village, (near the school)**
pH	6,5-8,5	7,0	7,03	7,13
Окисність, *мг/дм³*/ Oxidity, *mg/dm³*	≤5	0,98	2,33	1,05
Азот амонійний, *мг/дм³*/ Ammonium nitrogen, *mg/dm³*	0,5	0,19	0,3	0,25
Азот нітритний, *мг/дм³*/ Nitrite nitrogen, *mg/dm³*	0,5	0,04	0,04	0,03
Азот нітратний, *мг/дм³*/ Nitrate nitrogen, *mg/dm³*	50	42,8	***82,7***	35,9
Загальна твердість, *мг-екв/дм³*/ Overall hardness, *mg-eq/dm³*	≤7	***11,4***	***16,0***	4,6

В сільських населених пунктах Хоростківської ТГ питне та господарське водозабезпечення здійснюється через шахтні колодязі та індивідуальні свердловини. Досліджено зразки питної води з приватних криниць, визначали загальну твердість води з приватних криниць села Верхівці (рис. 3). Відбір проб здійснювався у криницях за адресом: вул. Грушевського, 11 (проба №1), вул. Шкільна, 22 (проба №2), вул. Зарічна, 13 (проба №3), вул. Лесі Українки, 1 (проба №4), вул. Центральна, 15а (проба №5) [3].

Отже, за результатами аналізу води з криниць приватних домогосподарств села Верхівці визначено, що показник загальної твердості більшості проб відповідає нормативам. Незначне перевищення визначено у пробах №1 та №4, де показник становить

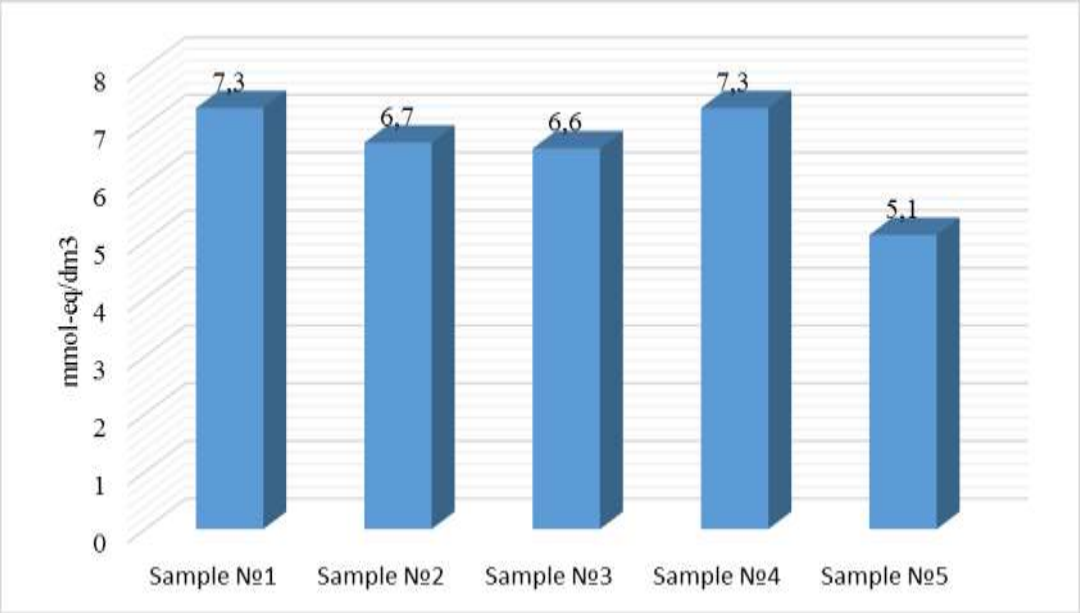


Рис. 3 – Показник загальної твердості води у криницях приватних домогосподарств (с. Верхівці) [3]

Fig. 3 – The total water hardness of wells in private households (in the village of Verkhivtsi) [3]

7,3 моль×екв/дм³. Найнижчий рівень твердості зафіксовано у пробі №5 з криниці на вул. Центральна, 15а, що відповідає оптимальним значенням (рис. 2) [3].

Висновки

На основі одержаних результатів якості підземних вод Хоростківської територіальної громади, можемо зробити висновки, що якість води основних джерел водопостачання громади відповідає санітарно-гігієнічним та екологічним нормам.

Проте, враховуючи великі обсяги скидання забруднених стічних вод та відсутність очисних споруд у громаді, можна стверджувати, що існують ризики для якості та безпечності поверхневих і підземних вод в межах території дослідження.

З метою недопущення забруднення вод підземних горизонтів, пропонуємо: відновити роботу очисних споруд у місті Хоростків; провести реконструкцію системи водовідведення у громаді та забезпечити сільські населені пункти системою централізованого водопостачання; облікувати та контролювати вивіз стоків приватних домогосподарств.

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

Список використаної літератури

1. *Децентралізація*. Офіційний сайт. URL: http://decentralization.gov.ua (дата звернення 19.03.2025 р.).
2. *Державне агентство водних ресурсів України*. Державний облік водокористування. URL: https://www.davr.gov.ua/derzhavnij-oblik-vodokoristuvannya (дата звернення 20.03.2025 р.).
3. 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
4. Новицька С., Кузик І., Дмитришин Н. Гідроекологічні проблеми та якість поверхневих вод Хоростківської територіальної громади. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*: Collection of scientific papers «ΛΌГOΣ» with Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. Oxford-Vinnytsia, 2023. С. 110-113. DOI: https://doi.org/10.36074/logos-23.06.2023.31
5. Сорока О.В., Кузик І.Р. Гідроекологічна безпека Золочівської територіальної громади. *Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді*: збірник матеріалів ІІ Всеукр. наук. конф. студ. та молодих вчених. Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет». Луцьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2023. С. 143-147. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/28996/1/Soroka_Kuzyk.pdf
6. Кузик І. Гідроекологічна безпека Підволочиської територіальної громади Тернопільської області. *Сучасний стан біосфери у науковій спадщині академіка Володимира Вернадського в контексті сучасних техногенних загроз*: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. Полтава: ПНПУ імені В.Г. Короленка, 2024. С. 87-91. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32597/1/Kyzuk_Conf_Poltava.pdf
7. Кузик І., Мельник Ю. Водокористування як чинник формування екологічної безпеки басейну річки Нічлава. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2023. №1. С. 240-247. DOI: https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.26
8. Царик Л.П., Кузик І.Р., Янковська Л.В. Водні об'єкти міста Тернопіль: гідрографія, екологічний стан та водопостачання. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* Вип. 37. 2022. С. 22-36. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-37-02
9. Прибилова В.М. Оцінка якісного складу питних підземних вод сеноман-нижньокрейдяного водоносного 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
10. 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. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. 2022. №3 (36). С. 137-141. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22

11. 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. DOI: https://doi.org/10.11603/1681-2786.2019.1.10278
12. 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. DOI: https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020
13. 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
14. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Екологічна оцінка стану питної води у межах об'єднаних територіальних громад укрупненого Житомирського району. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2021. Вип. 35. С. 37-47. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-04
15. Valerko R. A., Herasymchuk L. O. Assessment of ecological integral index of rural settlements development in the radioactively contaminated territory based on drinking water quality indicators. Publishing House "Baltija Publishing", 2020. P. 80-97. DOI: https://doi.org/10.30525/978-9934-588-45-7.5
16. Burow K.R., Nolan B.T., Rupert M.G., Dubrovsky N.M. Nitrate in Groundwater of the United States. *Environmental Science and Technol*. 2010. № 44 (13). P. 4988-4997. DOI: https://doi.org/10.1021/es100546y
17. Kelly, V. R., Cunningham, M. A., Curri, N., Findlay S. E., & Carroll S. M. The Distribution of Road Salt in Private Drinking Water Wells in a Southeastern New York Suburban Township. *Journal of Environment Quality*. 2018. Vol. 47. № 3. P. 445-451. DOI: https://doi.org/10.2134/jeq2017.03.0124
18. Schullehner J., Hansen B., Thygesen M., Pedersen C.B., Sigsgaard T. Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study: Nitrate in drinking water and CRC. *International Journal of Cancer*. 2018. Vol. 143 (1). P. 73-79. DOI: https://doi.org/10.1002/ijc.31306
19. Козак В., Козлюк О. Розробка галузевих стратегій та програм водопостачання, водовідведення та санітарії в об'єднаних територіальних громадах: методичний посібник. К.: DESPRO, 2019. 62 с.
20. Bayanova A.A. Monitoring the quality of drinking water of the regional decentralized water supply. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ*. 2019. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/5/052014
21. *Схема планування території Хоростківської територіальної громади Тернопільської області*. Пояснювальна записка. Том 1. ТзОВ «Український науково-проектний інститут цивільного будівництва». 2021. 184 с. URL: https://architecture.te.gov.ua/media/uploads/tom_1_horostkivska_tg.pdf
22. Tsaryk L., Yankovs'ka L., Tsaryk P., Novyts'ka S., Kuzyk I. (2020). Geoecological problems of decentralization (on Ternopol region materials). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29.(1), 196-205. DOI: https://doi.org/10.15421/112018
23. Природні умови та ресурси Тернопільщини. За заг. ред. М.Я. Сивого, Л.П. Царика. Тернопіль: ТзОВ: «Терно-граф», 2011. 512 с.
24. Стратегія розвитку Хоростківської ОТГ на 2019-2026 роки. URL: https://rada.info/upload/users_files/21157740/dfc1c7402b969ae05d6a6d3f508179f5.docx (дата звернення 17.03.2025 р.).
25. Наказ Міністерства охорони здоров'я України №400 від 12.05.2010 р. «Про затвердження Державних санітарних норм і правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text (дата звернення 18.03.2025 р.).
26. Charrois J. A. Private drinking water supplies: challenges for public health. *CMAJ*. 2010. Vol. 182(10). P. 1061-1064. DOI: https://doi.org/10.1503/cmaj.090956
27. Хільчевський В.К. Моніторинг вод в Україні: методи оцінювання якості води для різних цілей у зв'язку зі змінами нормативної бази (2014-2021 рр.). *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. 2021. №3 (61). С. 6-19. DOI: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.3.1
28. Новицька С. Врахування оцінки якості води при використанні водних ресурсів Тернопільської області в рекреаційній галузі. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: географія*. 2017. №1. С. 124-130. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/8551/1/Novytska.pdf
29. Палапа Н.В. Забруднення питної води сільських селітебних територій та заходи з покращення її якості. *Агроекологічний журнал*. 2009. № 3. С. 43-45.
30. 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. DOI: https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.4.11

Стаття надійшла до редакції 30.03.2025
Стаття рекомендована до друку 03.05.2025

I. R. KUZYK[1], PhD (Earth Sciences)
Associate Professor of the Department of Geoecology and Hydrology
e-mail:kuzyk@tnpu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4491-1071
S. R. NOVYTSKA[1], PhD (Geography)
Associate Professor of the Department of Geoecology and Hydrology
e-mail: ekosvit@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7354-4787
L. V. YANKOVSKA[1], PhD (Geography)
Associate Professor of the Department of Geoecology and Hydrology
e-mail: lubayank@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7939-7423
B. M. PETRUSHKA[1],
Postgraduate Student of the Department of Chemistry and Methods of its Teaching
e-mail: bodik@tnpu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2766-4857
[1]*Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pediagogical University,*
2, Maxyma Kryvonisa, Str., Ternopil, 46027, Ukraine

GROUNDWATER QUALITY FROM DIFFERENT WATER SUPPLY SOURCES OF THE KHOROSTKIVSKA TERRITORIAL COMMUNITY OF TERNOPIL REGION

Purpose. Analyse the quality of groundwater from different water sources in the Khorostkivska urban territorial community.

Methods. System and statistical analysis, geochemical groundwater quality assessment method and titration method.

Results. It has been established that the structure of water use in the Khorostkivska community is dominated by the use of water for drinking, sanitation and production needs. The main sources of water supply are surface and groundwater. The qualitative parameters of samples of tap water from of the Khorostkiv city, three private wells and three public wells within the community and five wells of private households in the village of Verkhivtsi of the Khorostkivska territorial community were investigated. It has been established that the sources of centralised water supply of the Khorostkiv city do not meet the requirements of Sanitary-Epidemiological Norms 2.2.4-171-10 in terms of ammonium nitrogen and chromaticity. Exceedances of nitrate nitrogen and overall hardness parameters were observed in water samples taken from the public well in the Khorostkiv city at 4 Muzejna Street. The results of determining the overall water hardness in the wells of private households in Verkhivtsi village showed that two out of five samples exceeded the standard values.

Conclusions. The water quality of the main sources of water supply in the community generally meets sanitary and hygienic and environmental standards, however, there are risks to the quality and safety of surface and groundwater. In order to prevent contamination of groundwater, it is proposed to restore the operation of treatment facilities in the city of Khorostkiv, provide rural settlements with a centralized water supply system, and control the removal of wastewater from private households.

KEY WORDS: *groundwater, territorial community, chemical composition, pollution, drinking water.*

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

References

1. *Decentralization*. Official website. Retrieved from http://decentralization.gov.ua (in Ukrainian).
2. *State Water Resources Agency of Ukraine*. State accounting of water usage. Retrieved from https://www.davr.gov.ua/derzhavnij-oblik-vodokoristuvannya (in Ukrainian).
3. Novytska, S., Kuzyk, I., Yankovska, L., Taranova, N. (2024). Water resources of the Hhorostkiv territorial community: ecological status, water use problems, optimisation measures. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography, 1*(56), 202-214. https://doi.org/10.25128/2519-4577.24.1.24
4. Novytska, S., Kuzyk, I., Dmytryshyn, N. (2023). Hydroecological problems and surface water quality of the Khorostkivska territorial community. *Collection of scientific papers «ΛΌΓΟΣ» with Proceedings of the V International Scientific-Practical Conference: Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*:, Oxford-Vinnytsia, 110-113. https://doi.org/10.36074/logos-23.06.2023.31 (in Ukrainian).

5. Soroka, O.V., Kuzyk, I.R. (2023). Hydroecological safety of the Zolochiv territorial community. *Scientific achievements and discoveries of modern youth*: collection of materials of the II All-Ukrainian scientific conference of students and young scientists. State Higher Educational Institution «Donetsk National Technical University». Lutsk: «DonNTU». 143-147. Retrieved from http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/28996/1/Soroka_Kuzyk.pdf (in Ukrainian).
6. Kuzyk, I. (2024). Hydroecological safety of Pidvolochysk territorial community of the Ternopil region. *The current state of the biosphere in the scientific heritage of academician Volodymyr Vernadsky in the context of modern man-made threats*: materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference. Poltava: Korolenko National Pedagogical University. 87-91. Retrieved from http://dspace.tnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32597/1/Kyzuk_Conf_Poltava.pdf (in Ukrainian).
7. Kuzyk, I., Melnyk, Y. (2023). Pollution of the Nichlava river as a factor of ecological safety of its basin. Scientific *Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, 1, 240-247. https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.26 (in Ukrainian).
8. Tsaryk, L.P., Kuzyk, I.R., Yankovska, L.V. (2022). Water facilities of the Ternopil city: hydrography, ecological condition and water supply. *Man and environment. Issues of neoecology*, (37), 22-36. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-37-02 (in Ukrainian).
9. Prybylova, V.M. (2015). Assessment of the quality composition of drinking groundwater of the Cenomanian-Lower Cretaceous aquifer complex in the Kharkiv region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology».* (43), 75-82. Retrieved from https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/5746 (in Ukrainian).
10. Valerko, R., Herasymchuk, L., Zozulya, V. (2022). Risk assessment of drinking water consumption with high nitrate content on the health of the population of the Zhytomyr *United Territorial Community. Scientific-practical Journal «Ecological Sciences»*, *3*(36), 137-141. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22 (in Ukrainian).
11. Lototska, O.V., Kondratjuk, 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 Organization of Ukraine*, *1*(79), 12-18. https://doi.org/10.11603/1681-2786.2019.1.10278 (in Ukrainian).
12. 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*, 20-24. https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020
13. Liho, O.A., Gakalo, O.I. (2015). Peculiarities of water supply to the population of Polissya districts of Rivne region. *Bulletin of Social Hygiene and Health Care Organization of Ukraine*, *1*(69), 122-132. Retrieved from https://ep3.nuwm.edu.ua/3761/1/Vs6913.pdf (in Ukrainian).
14. Valerko, R. A., Herasymchuk, L. O. (2021). Ecological assessment of the state of drinking water within the united territorial communities of the enlarged Zhytomyr district. *Man and environment. Issues of neoecology*, (35), 37-47. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-04 (in Ukrainian).
15. Valerko, R. A., Herasymchuk, L. O. (2020). Assessment of ecological integral index of rural settlements development in the radioactively contaminated territory based on drinking water quality indicators. Publishing House "Baltija Publishing", 80-97. https://doi.org/10.30525/978-9934-588-45-7.5
16. Burow, K.R., Nolan, B.T., Rupert, M.G., Dubrovsky, N.M. (2010). Nitrate in Groundwater of the United States. *Environmental Science and Technol*, *44* (13), 4988-4997. https://doi.org/10.1021/es100546y
17. Kelly, V. R., Cunningham, M. A., Curri, N., Findlay S. E., & Carroll S. M. (2018). The Distribution of Road Salt in Private Drinking Water Wells in a Southeastern New York Suburban Township. *Journal of Environment Quality*, *3*, 445-451. https://doi.org/10.2134/jeq2017.03.0124
18. Schullehner, J., Hansen, B., Thygesen, M., Pedersen, C.B., Sigsgaard, T. (2018). Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study: Nitrate in drinking water and CRC. *International Journal of Cancer*, *143* (1), 73-79. https://doi.org/10.1002/ijc.31306
19. Kozak, V., Kozljuk, O. (2019). Development of industry Strategies and Programmes for Water Supply, Wastewater Treatment and Sanitation in Amalgamated Territorial Communities: Methodological Guide. K.: DESPRO. (in Ukrainian).
20. Bayanova, A.A. (2019). Monitoring the quality of drinking water of the regional decentralized water supply. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/5/052014
21. *Territory planning scheme for the Khorostkivska community of the Ternopil Oblast*. (2021). Explanatory note. Vol.1. «Ukrainian Research and Design Institute of Civil Engineering LLC». Retrieved from https://architecture.te.gov.ua/media/uploads/tom_1_horostkivska_tg.pdf (in Ukrainian).
22. Tsaryk, L., Yankovska, L., , P., Novytska, S., Kuzyk, I. (2020). Geoecological problems of decentralization (on Ternopol region materials). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, *29*(1), 196-205. https://doi.org/10.15421/112018
23. Syvyi, M.Y., Tsaryk, L.P. (Eds.). (2011). Natural conditions and resources of Ternopil region. Ternopil: «Ternograf». (in Ukrainian).

24. *Development Strategy of the Khorostkivska united community for 2019-2026*. Retrieved from https://rada.info/upload/users_files/21157740/dfc1c7402b969ae05d6a6d3f508179f5.docx (in Ukrainian).
25. *Order of the Ministry of Health of Ukraine* №400, 12.05.2010 r. «On approval of the State Sanitary Norms and Rules «Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption». Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text (in Ukrainian).
26. Charrois, J. A. (2010). Private drinking water supplies: challenges for public health. *CMAJ*. 182(10), 1061-1064. https://doi.org/10.1503/cmaj.090956
27. Khilchevskyi, V.K. (2021). Water monitoring in Ukraine: methods for assessing water quality for various purposes in connection with changes in the regulatory framework (2014-2021). *Hydrology, hydrochemistry, hydroecology* 3(61), 6-19. https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.3.1 (in Ukrainian).
28. Novytska, S. (2017). The assessment of water quality in water resources use of the Ternopil region recreation purposes. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*. 1, 124-130. Retrieved from http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/8551/1/Novytska.pdf (in Ukrainian).
29. Palapa, N.V. (2009). Contamination of drinking water in rural areas and measures to improve its quality. *Agroecological Journal*, 3, 43-45. (in Ukrainian).
30. Fajfura, V.V., Bicjura, L.O., Andrusishin, T.V., Petrishin, N.I. (2022). Environmental modernisation of territorial community development in the context of transition to a «green» economy. *Innovative Economy*, (4), (92), 74-79. https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.4.11 (in Ukrainian).

The article was received by the editors 30.03.2025
The article is recommended for printing 03.05.2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03
УДК (UDC): 504.4.54

С. М. ЮРАСОВ, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри екології та охорони довкілля
e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4312-249X
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

В. Д. КАРАУЛОВ, PhD (Екологія),
головний спеціаліст відділу організації безпекових заходів
e-mail: vitdmdpss@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0151-3196
Управління організації безпеки та розслідування аварій і подій на наземному транспорті
Державної служби України з безпеки на транспорті
вул. Антоновича, 51, Київ, 03150, Україна

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

УДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУ ЯКОСТІ ІРИГАЦІЙНИХ ВОД

Мета. Удосконалення методичних підходів до оцінювання і прогнозування якості поливних вод з врахуванням їх часової мінливості на основі аналізу іригаційних властивостей річкових вод Одеської області.

Методи. Статистичні, математичне моделювання і прогнозування.

Результати. Встановлено, що оцінку і прогноз якості іригаційних вод необхідно виконувати з урахуванням мінливості їх складу і властивостей у часі. Показано, що використання середніх значень показників за попередній період часу може призвести до помилок при оцінці якості іригаційних вод. Рекомендовано ризик погіршення якості вод за окремим показником розглядати, як забезпеченість нормативу цього показника. Пропонується, спираючись на досвід країн ЄС, обмежити ризик погіршення якості вод на рівні 10%. Вказується, що суттєвим недоліком методики оцінки небезпеки засолення ґрунту в ДСТУ 2730:2015 є необхідність аналізу гіпотетичних токсичних солей у поливних водах при кожному розрахунку класифікаційного показника, що є дуже незручним при аналізі даних спостережень за тривалі періоди часу. Пропонується усунути цей недолік за рахунок використання детальної типізації іригаційних вод із специфічним набором гіпотетичних солей у кожному їх підтипі, що дозволяє надати формули розрахунку показника $e(rCl^-)$ для цих підтипів вод. Вказується, що спрощення масових розрахунків дозволяє визначити параметри закону розподілу показника $e(rCl^-)$ і оцінити ризик погіршення якості вод для різних типів ґрунтів. Встановлено, що в умовах Одеської області оцінку ризику натрієвого осолонцювання ґрунту при поливах можливо виконувати за показником співвідношення концентрацій натрію і кальцію (k_{Na1}). Значна частина дослідження присвячена апробації і уточненню запропонованих методик оцінювання і прогнозу іригаційних характеристик вод. Основні результати роботи вперше отримані у вітчизняній практиці екологічних досліджень.

Висновки. Вітчизняні методичні підходи оцінки і прогнозу якості іригаційних вод потребують подальшого розвитку особливо в частині врахування мінливості у часі цих вод. Подальші дослідження також необхідне спрямувати на обґрунтування обмеження ризиків погіршення якості вод, оскільки прийнятий у статті європейський рівень 10% є орієнтовним.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *джерело зрошувальної води, удосконалення оцінки якості, ризик погіршення, норми ЄС, прогнозування ризиків*

Як цитувати: Юрасов С. М., Караулов В. Д., Терземан В. В. Удосконалення оцінки і прогнозу якості іригаційних вод. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 34 - 47. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03

In cites: 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), 34-47. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03 (in Ukrainian)

© Юрасов С. М., Караулов В. Д., Терземан В. В., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Вступ

Центральну і південну частини Одеської області займає степ з дуже посушливим кліматом особливо в її південній частині. Дефіцит вологи для сільгосп-культур тут дорівнює приблизно середньої кількості опадів протягом вегетаційного періоду, що потребує розвитку поливного землеробства.

Проблема іригації сільгоспугідь Одеської області залишається дуже актуальним завданням. Основна причина цього полягає в нерівномірності розподілу водних ресурсів по території області. Дунай і Дністер – є основними джерелами іригаційних вод на зазначеній території, проте вони суттєво віддалені від масивів сільськогосподарських полів, які потребують зрошення. Інші водні об'єкти півдня Одеської області не придатні для іригаційних цілей. Утворення водосховища Сасик шляхом опріснення дунайськими водами колишнього лиману з однойменною назвою не привело до очікуваного результату: вода в ньому умовно придатна для зрошення оточуючих ґрунтів. Тут слід додати, що наявна іригаційна система Одеської області, побудована ще в минулому столітті, зношена на 80% і не придатна для подальшої експлуатації. Крім того, методичне забезпечення іригаційної оцінки якості вод потребує удосконалення.

По-перше. У вітчизняній практиці при оцінці якості іригаційних вод, як правило, використовують усереднені за деякий період часу значення показників. Такий підхід не можна вважати вірним, оскільки склад вод протягом зрошувального періоду року (ЗПР) може дуже сильно змінюватися. Відсутність урахування мінливості якості іригаційних вод може привести до того, що протягом ЗПР у деякі проміжки часу (сумарно до 50%) при поливі будуть використовуватися непридатні для зрошення води. Більш того, до суттєвих помилок може привести наявність позитивного часового тренду у показників якості.

По-друге. Деякими з методик важко користуватися на практиці. Наприклад, у методиці оцінювання небезпеки засолення ґрунту при поливах (ДСТУ 2730:2015) передбачається аналіз гіпотетичних солей і визначення токсичних іонів. Виконувати такий аналіз за кожний строк дуже складна задача особливо при довгих рядах спостережень.

У зв’язку з вищенаведеним, оцінка іригаційних характеристик річкових вод Одеської області, аналіз мінливості їх іригаційних властивостей, а також удосконалення методик оцінки якості іригаційних вод є *актуальним завданням.*

Об’єкт дослідження – формування якості річкових вод, як джерела зрошення сільгоспугідь.

Предмет дослідження – іригаційні характеристики річкових вод Одеської області та методики оцінювання якості поливних вод.

Мета: удосконалення методичних підходів до оцінювання якості поливних вод з врахуванням їх часової мінливості на основі аналізу іригаційних властивостей річкових вод Одеської області.

Вирішувалися задачі:

- аналіз існуючих методик оцінки якості іригаційних вод і вибір показників для вирішення поставленого завдання;
- оцінка сучасного стану річкових вод в Одеській області;
- аналіз мінливості іригаційних показників якості вод, визначення параметрів законів їх розподілу та оцінка ризику використання непридатних для зрошення вод при поливі сільгоспугідь;
- вибір найбільш вдалих прикладів застосування методичних удосконалень.

Матеріали та методи дослідження

Вимоги до якості іригаційних вод. Оцінки якості іригаційних вод присвячено роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів. Тут можна відмітити: С.В. Скока [1], Л. Грановської [2], М.М. Ковальова [3], О.В. Морозова [4], Л.І. Воротинцева [5], С.І. Сніжко [6], А.П. Блажко [7]. Основні положення оцінки якості іригаційних вод відображені у нормативних документах [8-10]. Серед зарубіжних авторів можна згадати роботи: T. Abbasi [11], B.M. Amin [12], S.G. Chornyy [13], G. Hussain [14], P.S. Minhas [15], J.C. Nnaji [16], G. Nikolaou [17], P.R. Shaikh [18], H. Hailu [19], G.W. Anyango [20], M. Zaman [21].

У розробці вітчизняних систем іригаційних критеріїв екологічних [8] і агрономічних [9, 10] приймали участь: С.А. Балюк, В.Я. Ладних, П.І. Кукоба, Л.О. Часова, М.А. Захарова, Г.Я. Чегринець, Р.Г. Нікула, Г.І. Корчак, Л.В. Григор'єва, І.В. Мудрий, М.І. Ромащенко, Т.О. Грінченко, С.Я. Бєздніна; Л.І.

Воротинцева; О.А. Недоцюк, О.А. Носоненко.

При аналізі згаданих джерел встановлено, що у цілому показники якості іригаційних вод можна поділити на чотири частини і розташувати в такій послідовності (за їх значенням): концентрація солей; співвідношення головних іонів; концентрація токсичних елементів, які можуть негативно впливати на сільськогосподарські рослини та навколишнє середовище; концентрація біогенних елементів. Усі показники якості іригаційних вод мають велике значення, але послідовність оцінки виглядає такою: якщо за мінералізацією вода не придатна для зрошення – не має сенсу розглядати інші показники; якщо мінералізація води відповідає потребам зрошення, тоді необхідно аналізувати співвідношення головних іонів (мекв/дм^3); якщо за співвідношенням іонів вода придатна для зрошення, тоді необхідно аналізувати концентрацію токсичних і біогенних елементів.

У подальшому при дослідженнях обрано показники з перших двох частин: концентрація солей, класифікаційний показник засолення ґрунту $e(rCl^-)$ (ДСТУ 2730:2015), pH і співвідношення головних іонів.

Оцінка ризику засолення ґрунтів в залежності від загальної мінералізації (M_3) поливної води за О.М. Костяковим:

- клас 1 «придатна для зрошення» – $M_3 \leq 0{,}4$ г/дм^3;
- клас 2 «обмежено придатна для зрошення» – $0{,}4 < M_3 \leq 1{,}0$ г/дм^3;
- клас 3 «підвищено небезпечна при зрошенні» – $1{,}0 < M_3 \leq 3{,}0$ г/дм^3;
- клас 4 «не придатна для зрошення» – $M_3 > 3$ г/дм^3.

В ДСТУ 2730:2015 небезпека засолення ґрунту при поливах (табл. 1) оцінюється за показником $e(rCl^-)$. У табл. 1 для різних типів ґрунтів містяться нормативи по казника $e(rCl^-)$ [10] для вод трьох іригаційних класів: придатна, обмежено придатна і не придатна для зрошення. Показник $e(rCl^-)$ обчислюють за формулою (1) [10]

$$e(rCl^-) = rCl^- + 0{,}2(rSO_4^{2-})_T + 0{,}4(rHCO_3^-)_T + 5rCO_3^{2-}, \quad (1)$$

де: rCl^- – концентрація хлорид-іонів, мекв/дм^3; $(rSO_4^{2-})_T$ – концентрація токсичних сульфат-іонів, мекв/дм^3; $(rHCO_3^-)_T$ – концентрація токсичних гідрокарбонат-іонів, мекв/дм^3; rCO_3^{2-} – концентрація токсичних карбонат-іонів, мекв/дм^3.

Суттєвим недоліком методики [10] є необхідність аналізу гіпотетичних солей відповідно послідовності вказаної в табл. 2. Це дуже незручно і ускладнює масові розрахунки.

Таблиця 1

Оцінка якості зрошувальної води за показником $e(rCl^-)$ (ДСТУ 2730:2015) [10]

Table 1

Evaluation of irrigation water quality by indicator $e(rCl^-)$ (ДСТУ 2730:2015) [10]

Значення показника $e(rCl^-)$ за групами ґрунтів (за гранулометричним складом у шарі 0-100 см, мекв/дм^3)/ Values of $e(rCl^-)$ by soil groups (by granulometric composition in the layer 0-100 cm, meq/dm^3						Клас якості води/ Water quality class
Піщаний/ Sandy	Супіщаний/ Sandy loamy	Легко-суглинковий/ Light loamy	Середньо-суглинковий/ Medium loamy	Важко-суглинковий/ Heavy loamy	Глинистий/ Clay	
< 30	< 26	< 22	< 18	< 14	< 10	I
30 ÷ 40	26 ÷ 36	22 ÷ 32	18 ÷ 28	14 ÷ 24	10 ÷ 20	II
≥ 40	≥ 36	≥ 32	≥ 28	≥ 24	≥ 20	III

Таблиця 2

Схема аналізу солей (ДСТУ 2730:2015) [10]

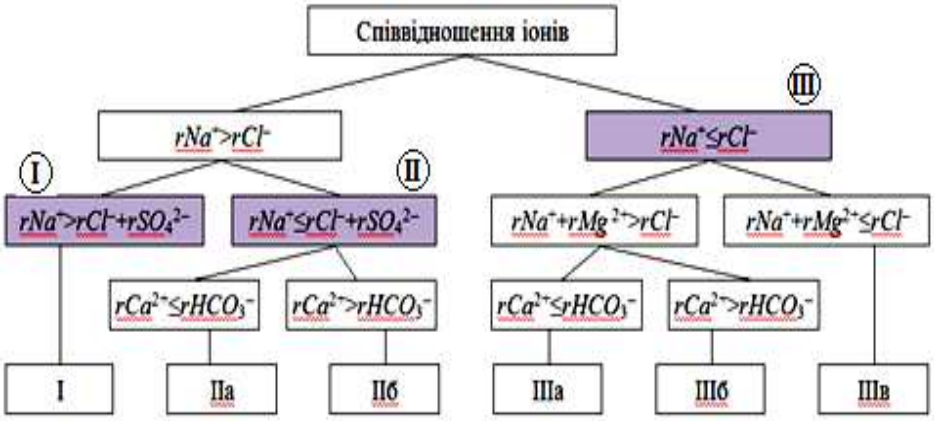
Table 2

Scheme of salt analysis (DSTU 2730:2015) [10]

Іон/ Ion	rCO_3^{2-}	$rHCO_3^-$	rSO_4^{2-}	rCl^-
rCa^{2+}	–	2	5	8
rMg^{2+}	–	3	6	9
$rNa^+ + rK^+$	1	4	7	10

Усунення згаданого недоліку можливо зробити шляхом визначення типів іригаційних вод, що мають свої, специфічні для кожного з них набори гіпотетичних солей. У цьому разі для кожного типу вод можна визначити набір токсичних іонів і надати розрахункову формулу показника $e(rCl^-)$. У роботах [22-25] запропоновано детальну типізацію іригаційних вод на основі типізації природних вод О.А. Альокіна (рис. 1). Кожен підтип іригаційних вод (I, II*а*, II*б*, III*а*, III*б* і III*в*) має свій специфічний набір гіпотетичних солей (табл. 3). У клітинці табл. 3, на перетині відповідного стовпця та рядка, вказано концентрацію іонів (мекв./дм^3), які входять до складу гіпотетичної солі. Ці іони взаємно врівноважують один одного та утворюють відповідну гіпотетичну сіль у водному розчині.

Для кожного підтипу вод у табл. 3 приведені формули розрахунку концентрації гіпотетичних токсичних солей у ваговій формі.



Цифрами I, II і III позначені співвідношення іонів у типах природних вод за О.А. Альокіним

Рис. 1 – Схема детальної типізації іригаційних вод [22-25]

The numbers I, II, and III denote the ratio of ions in the types of natural waters according to O.A. Alyokin.

Fig. 1 – Scheme of detailed typification of irrigation water [22-25]

Приклад отримання формул. Внаслідок взаємного врівноваження частин іонів Na^+ і HCO_3^- у воді умовно присутня питна сода $NaHCO_3$ (табл. 3(1)). У еквівалентному виразі концентрація цих частин складає ($rHCO_3^-$–rCa^{2+}–rMg^{2+}).

Вагова концентрація частини іонів натрію дорівнює 22,99*($rHCO_3^-$–rCa^{2+}–rMg^{2+}), у свою чергу частина гідрокарбонат-іонів як складова питної соди дорівнює 61,02*($rHCO_3^-$–rCa^{2+}–rMg^{2+}), тоді вагова концентрація $NaHCO_3$ буде дорівнювати 84,01*($rHCO_3^-$–rCa^{2+}–rMg^{2+}).

Враховуючи табл. 3 формулу (1) для різних підтипів вод можна записати так [22-25]:

I $\quad -e(rCl^-) = (rCl^- + rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+}) + 0{,}2(rSO_4^{2-}) + 0{,}4(rMg^{2+}) + 5rCO_3^{2-}$;

II*а*, III*а* $\quad -e(rCl^-) = rCl^- + 0{,}2(rSO_4^{2-}) + 0{,}4(rHCO_3^- - rCa^{2+}) + 5rCO_3^{2-}$

II*б*, III*б* $\quad -e(rCl^-) = rCl^- + 0{,}2(rSO_4^{2-} + rHCO_3^- - rCa^{2+}) + 5rCO_3^{2-}$;

III*в* $\quad -e(rCl^-) = rCl^- + 5rCO_3^{2-}$.

Коментар формули розрахунку $e(rCl^-)$ для <u>підтипу I</u>: іони rCl^- і rNa^+ завжди токсичні; іони rSO_4^{2-} у даному випадку усі токсичні оскільки повністю врівноважені токсичними іонами rNa^+ (табл. 3(1)) і гіпотетично утворюють токсичну сіль Na_2SO_4; частина іонів $rHCO_3^-$, яка дорівнює ($rHCO_3^-$–rCa^{2+}–rMg^{2+}), врівноважена іонами rNa^+ і утворює питну соду $NaHCO_3$ (за токсичністю ця сіль еквівалентна $NaCl$, тому згадана частина іонів об'єднана з rCl^-); ще одна частина іонів $rHCO_3^-$ врівноважена усіма іонами rMg^{2+}, дорівнює їх концентрації і утворює $Mg(HCO_3)_2$, ця сіль у ДСТУ 2730:2015 вважається токсичною. У цьому документі ($rHCO_3^-$–rCa^{2+}) – токсична лужність.

При наявності у воді аніонів CO_3^{2-}, визначення формули розрахунку $e(rCl^-)$ здійснюється за зменшеною кількістю катіонів натрію – (rNa^+–rCO_3^{2-}).

Таблиця 3

Склад гіпотетичних солей у різних підтипах вод (посилання у джерелах [22-25]) (пропозиція авторів)

Table 3

Composition of hypothetical salts in different subtypes of water (references [22-25]) (authors' proposal)

1) **Вагова концентрація токсичних солей (іонів), мг/дм³ / Weight concentration of toxic salts (ions), mg/dm3:** $NaCl$ =58,4·rCl^-; Na_2SO_4=71,0·rSO_4^{2-}; $NaHCO_3$=84,0·($rHCO_3^-$–rCa^{2+}–rMg^{2+});

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип I/ Subtype I
rCl^-	rCl^-	0	0	$rCl^-+rSO_4^{2-}<rNa^+$
rSO_4^{2-}	rSO_4^{2-}	0	0	
$rHCO_3^-$	$rHCO_3^-$–rCa^{2+}–rMg^{2+}	rMg^{2+}	rCa^{2+}	

2) —“—: $NaCl$ =58,4·rCl^-; Na_2SO_4=71,0·(rNa^+–rCl^-); $MgSO_4$=60,2·(rCl^-+rSO_4^{2-}–rNa^+).

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип II*а*/ Subtype II*a*
rCl^-	rCl^-	0	0	$rCl^-<rNa^+$ $rCl^-+rSO_4^{2-}\geq rNa^+$ $rHCO_3^-\geq rCa^{2+}$
rSO_4^{2-}	rNa^+–rCl^-	$rCl^-+rSO_4^{2-}$–rNa^+	0	
$rHCO_3^-$	0	$rHCO_3^-$–rCa^{2+}	rCa^{2+}	

3) —“—: $NaCl$ =58,4·rCl^-; Na_2SO_4=71,0·(rNa^+–rCl^-); $MgSO_4$=60,2·rMg^{2+}.

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип II*б*/ Subtype II*б*
rCl^-	rCl^-	0	0	$rCl^-<rNa^+$ $rCl^-+rSO_4^{2-}\geq rNa^+$ $rHCO_3^-<rCa^{2+}$
rSO_4^{2-}	rNa^+–rCl^-	rMg^{2+}	rCa^{2+}–$rHCO_3^-$	
$rHCO_3^-$	0	0	$rHCO_3^-$	

4) —“—: $NaCl$ =58,4·rNa^+; $MgCl_2$=47,6·(rCl^-–rNa^+); $MgSO_4$=60,2·rSO_4^{2-}.

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип III/ Subtype III*a*
rCl^-	rNa^+	rCl^-–rNa^+	0	$rCl^-\geq rNa^+$ $rCl^-<rNa^++rMg^{2+}$ $rHCO_3^-\geq rCa^{2+}$
rSO_4^{2-}	0	rSO_4^{2-}	0	
$rHCO_3^-$	0	$rHCO_3^-$–rCa^{2+}	rCa^{2+}	

5) —“—: $NaCl$ =58,4·rNa^+; $MgCl_2$=47,6·(rCl^-–rNa^+); $MgSO_4$=60,2·(rNa^++rMg^{2+}–rCl^-).

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип III*б*/ Subtype III*б*
rCl^-	rNa^+	rCl^-–rNa^+	0	$rCl^-\geq rNa^+$ $rCl^-<rNa^++rMg^{2+}$ $rHCO_3^-<rCa^{2+}$
rSO_4^{2-}	0	rNa^++rMg^{2+}–rCl^-	rCa^{2+}–$rHCO_3^-$	
$rHCO_3^-$	0	0	$rHCO_3^-$	

6) —“—: $NaCl$ =58,4·rNa^+; $MgCl_2$=47,6·rMg^{2+}; $CaCl_2$=55,5·(rCl^-–rNa^+–rMg^{2+}).

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип III*в*/ Subtype III*в*
rCl^-	rNa^+	rMg^{2+}	rCl^-–rNa^+–rMg^{2+}	$rCl^-\geq rNa^++rMg^{2+}$
rSO_4^{2-}	0	0	rSO_4^{2-}	
$rHCO_3^-$	0	0	$rHCO_3^-$	

Примітка: rNa^+ – розглядається як сума іонів натрію і калію.
Note: rNa+ is considered as the sum of sodium and potassium ions.

Співвідношення іонів. Для аналізу іригаційних властивостей річкових вод Одеської області обрані такі співвідношення головних катіонів:

$$k_{Na1} = rNa^+/rCa^{2+} \leq 1{,}0; \quad (2)$$

$$k_{Na2} = rNa^+/(rCa^{2+} + rMg^{2+}) \leq 0{,}70; \quad (3)$$

$$k_{Na3} = Na^+/(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+) \leq 0{,}65; \quad (4)$$

$$k_{Mg} = rMg^{2+}/(rCa^{2+} + rMg^{2+}) \leq 0{,}50, \quad (5)$$

де rNa^+, rCa^{2+} і rMg^{2+} – концентрація катіонів, мекв/дм³;
Na^+, Ca^{2+} і Mg^{2+} – концентрація катіонів, ммоль/дм³.

Ризик погіршення якості води. Можливість поливів сільгоспугідь у майбутньому згідно досвіду вітчизняних досліджень виконується за середніми значеннями показників якості вод у деякий попередній період часу. Це не дозволяє врахувати часову мінливість розглянутих показників. При такому способі оцінки якості вод майбутні поливи можуть досить часто виконуватися водою з порушенням вимог норм до співвідношень головних іонів. Сумарна тривалість таких інтервалів часу протягом ЗПР може досягати до 50%, якщо середнє значення показника наближатиметься до нормативу. Крім того, до суттєвої помилки може привести позитивний часовий тренд. У тому й іншому випадку потрібна оцінка ризику (або ймовірності) погіршення якості вод (РПЯВ) та його обмеження.

У вітчизняних нормах обмежень РПЯВ немає. Проте, в країнах ЄС при оцінці якості вод за санітарними або рибогосподарськими нормами відповідно до Директив [26-28] обмеження кількості перевищень нормативу за показником якості задається. За санітарними нормами для більшості показників якості це обмеження складає не більш 10% від загальної кількості спостережень. У такому випадку можна казати, що РПЯВ відповідно до Директив ЄС повинен бути не більш 10%.

Оскільки норматив якості води за деяким показником є межею її придатності чи не придатності для зрошення, то ймовірність перевищення цього нормативу можна розглядати як РПЯВ за розглянутим показником. Формула буде мати вигляд

$$R_{Hi} = 1 - P_i(H_i), \qquad (6)$$

де R_{Hi} – РПЯВ за i-им показником; $P_i(H_i)$ – ймовірність нормативу якості; H_i – норматив i-го показника.

Для характеристики розподілу показників якості вод зручним є логнормальний закон. Його параметрами являються середнє і середньоквадратичне відхилення логарифмованого ряду спостережень.

Якщо показник має тренд у часі, то РПЯВ за ним доцільно розраховувати для деякого потрібного моменту часу j [29]

$$R_{Hij} = 1 - P_{ij}(H_i) \qquad (7)$$

При нормуванні хронологічного ряду показника по лінії тренду, розрахункова формула буде мати вигляд [29]

$$R_{Hij} = 1 - P_{ij}(H_i/k_{TPij}), \qquad (8)$$

де $k_{TPij} = a_i*exp(j*b_i)$ – значення функції тренда в момент часу j; a_i і b_i – параметри лінії тренда i-го показника.

При розрахунках $P_{ij}(H_i/k_{TPij})$ з використанням редактора *Excel* формула розрахунку РПЯВ буде мати вигляд [29]:

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

де *ЛОГНОРМРАСП*() – оператор редактора *Excel*; 0 і $\check{G}_{HTi}$ – параметри розподілу i-го показника при його нормуванні по лінії експоненціального тренду [30, 31].

Якщо тренд відсутній, формула розрахунку РПЯВ має вигляд [29]

$$R_{Hi} = 1 - LOGNORM(H_i; \check{C}_i; \check{G}_i), \qquad (10)$$

де $\check{C}_i$ і $\check{G}_i$ – параметри розподілу і-го показника за логнормальним законом.

За формулами (9) або (10) можна прогнозувати ризик погіршення якості вод за окремим показником.

Таблиця 4

Ризик погіршення якості іригаційних вод для різних типів ґрунтів (пропозиція авторів)

Table 4

Risk of deterioration of irrigation water quality class for different soil types (authors' proposal)

Водний об'єкт (параметри закону розподілу *e*(*rCl*⁻): *Č*; *Ǧ*)/ Water object (parameters of the distribution law *e*(*rCl*⁻): *Č*; *Ǧ*)						
Ризик (%) погіршення класу якості вод для різних типів ґрунтів/ Risk (%) of water quality class deterioration for different soil types						**Клас якості води/ Water quality class**
Піщаний/ Sandy	**Супіщаний/ Sandy loamy**	**Легко-суглинковий/ Light loamy**	**Середньо-суглинковий/ Medium loamy**	**Важко-суглинковий/ Heavy loamy**	**Глинистий/ Clay**	
R (30)	*R* (26)	*R* (22)	*R* (18)	*R* (14)	*R* (10)	I
R (40)	*R* (36)	*R* (32)	*R* (28)	*R* (24)	*R* (20)	II

Орієнтуючись на нормативи показника $e(rCl^-)$ для різних типів ґрунтів у табл. 1, за формулами (9) або (10) можна розрахувати ризики погіршення якості іригаційної води для цих типів ґрунтів (табл. 4).

У вітчизняних нормах немає обмеження ризику перевищення нормативу (кількості перевищень ГДК), але спираючись на досвід країн ЄС, його можна встановити на рівні 10%.

Результати дослідження

У дослідженні використано результати спостережень Басейнового управління водними ресурсами на річках Одеської області, проведених у 25 пунктах протягом зрошувальних періодів з 2009 по 2019 роки. Для кожного періоду спостережень визначалися показники іригаційних властивостей води. Довжина часових рядів, загальна кількість яких становила близько 250, варіювалася від 30 до 78 значень. На основі цих даних було розраховано ймовірнісні характеристики показників якості води. У статті наведено результати цих розрахунків для окремих пунктів спостережень (табл. 5).

Згідно з табл. 5, для водних об'єктів Одеської області оцінку ризику натрієвого осолонцювання ґрунту можна здійснювати за показником k_{Na1} (формула (2)) без урахування k_{Na2} і k_{Na3}. Це пояснюється тим, що випадки перевищення нормативу за k_{Na1} (k_{Na1}>1,0) не завжди збігаються з перевищенням нормативів за k_{Na2} (k_{Na2}>0,7) або k_{Na3} (k_{Na3}>0,65) (наприклад у табл. 5 річки Ягорлик, М.Куяльник і Карасулак). Водночас усі випадки k_{Na2}>0,7 або k_{Na3}>0,65 співпадають з k_{Na1}>1,0 (річки Каплань, Сарата і Єніка). Ця закономірність була зафіксована на всіх 25 пунктах спостережень в Одеській області.

Таблиця 5

Іригаційні характеристики річок Одеської області (авторська розробка)

Table 5

Irrigation characteristics of the rivers of Odessa region (author's development)

Місце спостереження за якістю води/ Water quality observation site	***Mз*, мг/дм³**	***pH***	**Співвідношення іонів/ Ion ratio**			
			k_{Na1} ≤1,0	**k_{Na2} ≤0,7**	**k_{Na3} ≤0,65**	**k_{Mg} ≤0,5**
Басейн річки Дністер/ Dniester river basin						
р. Дністер, с.Маяки r. Dniester, Mayaki village	450 0%	7,5 50%	0,45 0%	0,27 0%	0,38 0%	0,37 23%
р. Білоч, с. Шершенці/ r. Biloch, Shershentsi village	822 9%	**7,6** 0%	0,40 0%	0,21 0%	0,31 0%	0,48 32%
р. Ягорлик, с. Артирівка / r. Yahorlyk, Artyrivka village	935 17%	**7,6** 0%	**1,11**	0,42 8%	0,47 0%	**0,62**
Басейн річок Причорномор'я/ Black Sea river basin						
р. М. Куяльник, с. Баранове / r. M. Kuyalnyk, Baranove village	1999 6%	**7,9** 0%	**1,54**	0,47 0%	0,50 0%	**0,69**
р. Каплань, с. Крутоярівка / r. Kaplan, Krutoyarivka village	2266 4%	**8,1** 0%	**2,60**	**1,07**	**0,68**	**0,59**
р. Сарата, с. Міняйлівка / r. Sarata, Minyaylivka village	3362	**7,9** 0%	**3,01**	**1,25**	**0,72**	**0,58**
Басейн річки Дунай/ Danube river basin						
р.Дунай, м. Рені / Danube river, c. Reni	335 0%	**8,1** 0%	0,29 0%	0,21 0%	0,29 0%	0,33 0%
р. Карасулак, с. Криничне / r. Karasulak, Krynychne village	3895	**7,9** 0%	**1,82**	0,67	0,57	**0,63**
р. Єніка,с. Першотравневе / r. Yenika, Pershotravneve village	5665	**8,1** 0%	**4,97**	**1,31**	0,72	**0,74**

Примітка: У табл. 5 напівжирним шрифтом виділені значення, що перевищують норматив.
Note: In Table 5, values exceeding the standard are highlighted in bold.

Іригаційна характеристика р. Дністер (*с. Маяки*). Середнє багаторічне значення загальної мінералізації (M_3) протягом зрошувального періоду року (ЗПР) складає 450 мг/дм^3 (табл. 5). За О.М. Костяковим вода відноситься до класу 2. Ризик погіршення класу якості води за M_3 (імовірність перевищення межі класу 2 – 1000 мг/дм^3) становить 0%. Вода у середньому має нейтральну реакцію (pH = 7,5, клас I), але протягом ЗПР з імовірністю 50% вона слабо лужна (клас II). Загроза натрієвого осолонцювання відсутня: k_{Na1}=0,45; ризик погіршення якості води за цим показником не перевищує 0%. Показник магнієвого осолонцювання k_{Mg} складає 0,37, але R_{kMg} за цим показником дорівнює 23%, тобто у середньому протягом 23% ЗПР показник k_{Mg}>0,5.

Показник k_{Mg} у водах Дністра має позитивний тренд у часі (рис. 2). Цей тренд добре описується експоненціальною залежністю з параметрами a=0,3055 і b=0,00008583. Параметри розподілу ряду, нормованого відносно лінії тренду (рис. 3), мають значення: $\check{C}_{HTi}$=0 і $\check{G}_{HT}$=0,2936.

Прогнозне значення ризику погіршення якості води р. Дністер на 01.07.2022 р. (що відповідає середній даті ЗПР) згідно з формулою (9) становить

R_H = 1 – *ЛОГНОРМРАСП*(0,5/(0,3055**exp*(([01.07.2022]–[01.01.2009])*
*0,00008583)); 0; 0,2936) = 0,41 = 41%,

де [01.01.2009] і [01.07.2022] – комірки в таблиці Excel з датами початку відліку часу та прогнозною відповідно.

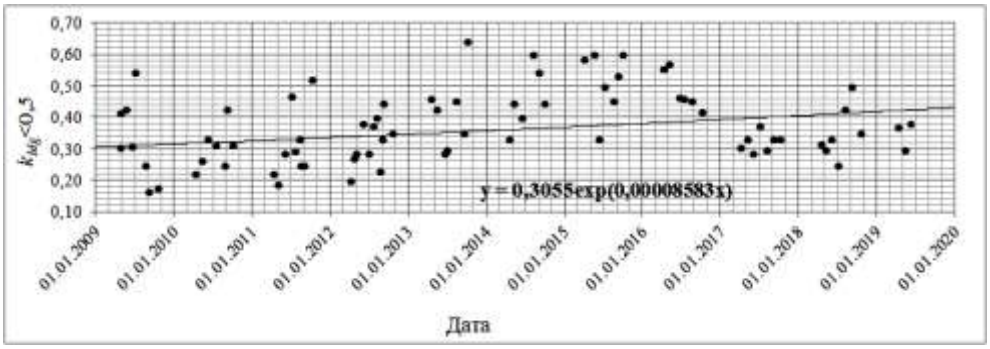


Рис. 2 – Часовий тренд показника магнієвого осолонцювання k_{Mg}

Fig. 2 – Time trend of the magnesium salinity index k_{Mg}

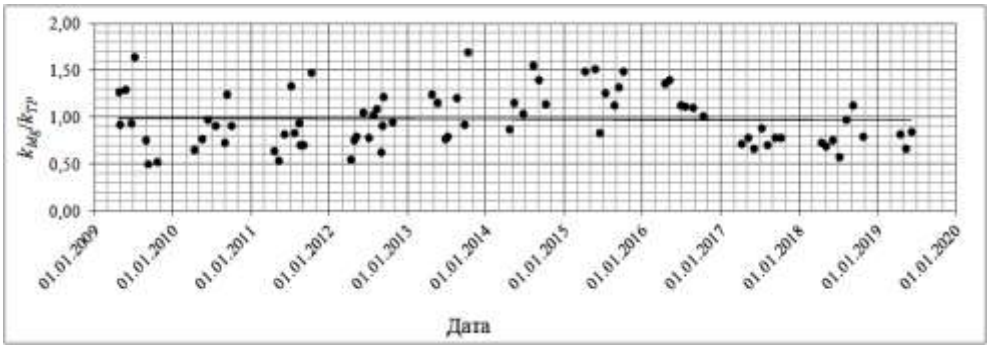


Рис. 3 – Хронологічна послідовність значень показника магнієвого осолонцювання, нормованих за лінією експоненціального тренда (k_{Mg}/k_{TP})

Fig. 3 – Chronological sequence of values of magnesium salinity index normalised by the exponential trend line (k_{Mg}/k_{TR})

Якщо часовий тренд показника k_{Mg} збережеться, то у ЗПР 2022 року ризик погіршення якості води R_{kMg} зросте до 41% при середньому значенні показника k_{TP} = 0,47. А в 2023 році очікується подальше збільшення: R_{kMg}=45%, k_{TP}=0,48.

На жаль перевірку прогнозу зробити не вдалося, оскільки результати спостережень після 2019 року відсутні.

За показником $e(rCl^-)$ води Дністра відносяться до класу I для усіх типів ґрунтів, для них ризик погіршення якості води дорівнює 0.

Застосування удосконаленої методики оцінки можливості іригаційного засолення ґрунтів з урахуванням норм ЄС і аналіз розрахунків аналізуємо на прикладі р. Малий Куяльник (табл. 6).

Іригаційні властивості вод р. М.Куяльник (*с. Баранове*) *за показником* $e(rCl^-)$: для піщаних і супіщаних ґрунтів води належать до I класу (придатні для зрошення), оскільки ризик погіршення їхньої якості ($R_{e(rCl-)}$) становить 4% і 8% відповідно (табл. 6), що не перевищує прийнятий рівень 10%. Для інших типів ґрунтів ризик погіршення якості води з I до II класу перевищує 10%.

Для легкосуглинкових і середньосуглинкових ґрунтів вода річки належить до II класу (обмежено придатна для зрошення), $R_{e(rCl-)}$ не перевищує 10%. Відповідно до ДСТУ 2730:2015, такі води вимагають додаткових заходів для використання в іригації.

Таблиця 6

Ризик погіршення якості вод р. М.Куяльник – с. Баранове при поливі різних типів ґрунтів (авторська розробка)

Table 6

The risk of water quality deterioration in the M.Kuyalnyk River – Baranove village under irrigation of different soil types (author's development)

р. М. Куяльник, с. Баранове (параметри закону розподілу $e(rCl^-)$: $\check{C}$=2,193, $\check{G}$=0,6140)/ r. M. Kuyalnyk Baranove village (parameters of the distribution law $e(rCl^-)$: $\check{C}$=2,193, $\check{G}$=0,6140)						
Ризик (%) погіршення якості вод для різних типів ґрунтів/ Risk (%) of water quality deterioration for different soil types						**Клас якості води/ Water quality class**
Піщаний/ Sandy	**Супіщаний/ Sandy loamy**	**Легко-суглинковий/ Light loamy**	**Середньо-суглинковий/ Medium loamy**	**Важко-суглинковий/ Heavy loamy**	**Глинистий/ Clay**	
4	**8**	16	31	55	84	I
1	1	**3**	**5**	11	22	II

Для важкосуглинкових і глинистих ґрунтів води р. М.Куяльник належать до III класу (непридатні для зрошення без попереднього поліпшення їхнього складу).

Характеристика вод р. М.Куяльник за іншими показниками. Мінералізація вод дорівнює 1999 мг/дм^3 (клас 3, верхня межа класу 3000 мг/дм^3), ризик погіршення до класу 4 дорівнює 6% (табл. 5).

Вода річки: має слаболужну реакцію *pH*=7,9 (клас II, верхня межа класу 8,8), ризик погіршення до класу III за *pH* дорівнює 0; сприяє натрієвому і магнієвому осолонцюванню протягом усього ЗПР.

Іригаційна характеристика р. Дунай (*м. Вилкове*, табл. 5). Мінералізація вод відноситься до класу 1 з ризиком погіршення 0. Вода річки: має лужну реакцію (клас II) з ризиком погіршення 0; за усіма іншими показниками придатна для зрошення з ризиком погіршення 0.

Для усіх типів ґрунтів загроза іригаційного засолення відсутня. Води річки Дунай за своїми іригаційними характеристиками являються найкращими на території Одеської області.

Висновки

Оцінку якості вод з метою їх використання для поливів у майбутньому (а також вод іншого призначення) необхідно виконувати з урахуванням мінливості складу та властивостей цих вод у часі особливо при наявності позитивного тренду показників якості. Використання середніх значень показників за минулий період часу при оцінці якості іригаційних вод може привести до того, що поливи у наступні роки часто будуть здійснюватися водою з порушенням іригаційних вимог в залежності від співвідношення середніх значень показників і їх іригаційних нормативів. Частота таких поливів може досягати 50%.

Ймовірність перевищення нормативно-

го значення окремого показника якості води слід розглядати як ризик погіршення якості вод за цим показником. У вітчизняних нормах відсутні обмеження щодо ризику погіршення якості води, тому, з урахуванням досвіду країн ЄС, доцільно орієнтовно встановити це обмеження на рівні 10%.

Суттєвим недоліком методики оцінки небезпеки іригаційного засолення ґрунту в ДСТУ 2730:2015 є необхідність аналізу гіпотетичних токсичних солей у поливних водах при кожному розрахунку класифікаційного показника $e(rCl^-)$, що є дуже незручним при аналізі даних спостережень за тривалі періоди часу. Це можна усунути, використовуючи детальну типізацію іригаційних вод із специфічним набором гіпотетичних солей у кожному підтипі вод, що дозволяє надати формули розрахунку показника $e(rCl^-)$ для цих підтипів вод. У свою чергу, спрощення масових розрахунків дозволяє визначити параметри закону розподілу показника $e(rCl^-)$ та оцінити ризик погіршення якості вод для різних типів ґрунтів.

В умовах Одеської області оцінку ризику натрієвого осолонцювання ґрунту при поливах можливо виконувати за показником співвідношення концентрацій натрію і кальцію (k_{Na1}), не використовуючи співвідношення натрію з сумою кальцію і магнію (k_{Na2}) та натрію з сумою усіх головних катіонів (k_{Na3}). Оскільки випадки k_{Na1}>1,0 не завжди співпадають з k_{Na2}>0,70 або k_{Na3}>0,65. І навпаки усі випадки k_{Na2}>0,70 або k_{Na3}>0,65 співпадають з k_{Na1}>1,0.

Подальші дослідження слід спрямувати на обґрунтування обмеження ризиків погіршення якості вод, оскільки прийнятий у статті європейський рівень 10% є орієнтовним.

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

Список використаної літератури

1. Скок С.В. Оцінка придатності стічних вод для зрошення сільськогосподарських культур. *Аграрні інновації*. 2021. *5*. С. 75-79. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.12
2. Hranovska, L., Morozov, O., Pisarenko, P., Vozhegov, S. Ecological problems of irrigated soils in the south of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin. Series "Geology. Geography. Ecology*". 2022. No *57*. P. 282-295. DOI: https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-21
3. Ковальов, М.М., Звєздун, О.М., Михайлова, Д. Агроекологічна оцінка якості підземних вод для систем мікрозрошення в умовах північного степу України. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2020. *1*, С. 16–23. DOI: https://doi.org/10.32851/wba.2020.1.2
4. Морозов, О.В., Морозов, В.В., Ісаченко, С.О. Науково методичні підходи щодо оцінки якості природних вод для зрошення (на прикладі Каховської зрошувальної системи). *Водні біоресурси та аквакультура*. 2019. № *1*. С. 90-101. DOI: https://doi.org/10.32851/wba.2019.1.8
5. Воротинцева, Л.І. Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. *89*, с. 41-50. DOI: https://doi.org/10.31073/acss89-05
6. Сніжко, С.І. *Оцінка та прогнозування якості природних вод*. Київ: Ніка-Центр, 2001. URL: https://www.researchgate.net/publication/310832649_Assessment_and_forecasting_of_natural_water_quality (дата звернення: 09.10.2024).
7. Блажко, А.П. Екологічне оцінювання якості поверхневих вод в межиріччі Дністер-Південний Буг в межах Одеської області для краплинного зрошення. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2024. *74*. С. 121-138. DOI: https://doi.org/10.47049/2226-1893-2024-3-121-138
8. ВНД 33-5.5-02-97. *Якість вод для зрошення. Екологічні критерії.* Харків: Державний комітет України по водному господарству, 1998. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/2472/7/nd002%20zah.pdf (дата звернення: 09.10.2024).
9. ДСТУ 2730-94. *Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії*. Київ: Держстандарт України, 1994.
10. ДСТУ 2730:2015. *Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії*. Київ: «УкрНДНЦ», 2016. URL:https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10395-zahyst_dovkillya._yakist_pryrodnoyi_vody_dlya_zroshen.pdf (дата звернення: 09.10.2024).
11. Abbasi, T., Abbasi, S.A. *Water quality indices*. Amsterdam: Elsevier Sci Ltd, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54304-2.00016-6
12. Bhat, M.A., Wani, S.A., Singh, V.K., Sahoo1, J., Tomar, D., Sanswal, R. An Overview of the Assessment of

Groundwater Quality for Irrigation. *Journal of Agricultural Science and Food Research*. 2018. Vol. *9*. No 1. URL: https://www.longdom.org/open-access/an-overview-of-the-assessment-of-groundwater-quality-for-irrigation-17296.html (дата звернення: 09.10.2024).
13. Chornyy, S., Isaeva, V. Agronomic evaluation of irrigation water on the Southern Buh and Kamianska irrigation systems. *Journal of water and land development*. 2022. Vol. *54*. P. 77–83. DOI: https://doi.org/10.24425/jwld.2022.141557
14. Hussain, G., Alquwaizany, A., Al-Zarah, A. Guidelines for irrigation water quality and water management in the Kingdom of Saudi Arabia: an overview. *Journal of Applied Sciences*. 2010. Vol. *10* (2). P. 79–96. DOI: https://doi.org/10.3923/jas.2010.79.96
15. Mishra, P.C. *Some Aspects of the Quality of Water in and around Rourkela*. PhD thesis. Odisha, India, 2005. DOI: https://doi.org/10.1002/ird.2946
16. Nnaji, J.C., Uzairu, A., Harrison, G.F.S., Balarabe, M.L. Effect of Pollution on the Physico-chemical Parameters of Water and Sediments of River Galma, Zaria, Nigeria. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*. 2010. Vol. *1*(2). P. 115–122. URL: https://www.researchgate.net/publication/235914633_Effect_of_Pollution_on_the_Physico-Chemical_Parameters_of_Water_and_Sediments_of_River_Galma_Zaria_Nigeria (дата звернення: 09.10.2024).
17. Nikolaou, G., Neocleous, D., Christophi, C., Heracleous, T. Markou, M. Irrigation ground water quality characteristics: a case study of Cyprus. *Atmosphere*. 2020. *11*. DOI: https://doi.org/10.3390/atmos11030302
18. Shaikh, P.R., Shaikh, I.R., Bhosle, A.B. Water quality and sedimentary analyses of Siddheshwar dam (India) for assessing irrigational suitability. *Iranian Chemical Communication*. 2017. Vol. *5*. No 3. P. 315–337. URL: https://icc.journals.pnu.ac.ir/article_3678.html (дата звернення: 09.10.2024).
19. Hailu, H., Wogi, L., Feyissa, S., Assessment of Irrigation Water Quality Status in Dry Season Wheat Production in Selected Districts of West Hararghe Zone, Ethiopia. *Cross Current International Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*. 2024. P. 93–105. DOI: https://doi.org/10.36344/ccijavs.2024.v06i04.002
20. Anyango, G.W., Bhowmick, G.D., Bhattacharya, N.S. A Critical Review of Irrigation Water Quality Index and Water Quality Management Practices in Micro-Irrigation for Efficient Policy Making. *Desalination and Water Treatment*. 2024. Vol. *318*. P. 1–17. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100304
21. Zaman, M., Shahid, S.A., Heng, L. Irrigation water quality. *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. 2018. P.113–131.DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3
22. Yurasov, S.M., Kuzmina, V.A., Karaulov, V.D. Irrigative Assessment of Sasyk Water Quality. *Environmental problems*. 2021. Vol. *6*. 2. P. 69–77. DOI: https://doi.org/10.23939/ep2021.02.069
23. Караулов В.Д., Юрасов С.М. Недоліки методики ДСТУ 2730:2015 оцінки якості вод за небезпекою іригаційного засолення грунту і її удосконалення. *Грааль науки*. 2022. *23*. С. 183-195. DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.23.12.2022.29
24. Караулов, В.Д., Житкевич, М.Я., Юрасов, С.М. Удосконалення методики оцінки якості іригаційних вод у ДСТУ 2730:2015. *Грааль науки*. 2023. *25*, С. 190–197. DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.03.2023.030
25. Юрасов, С.М., Караулов, В.Д., Житкевич, М.Я. Іригаційні властивості вод і їх мінливість на прикладі водних об‘єктів Одеської області. *Аграрні інновації*. 2023. № *17*. С. 62–68. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.8
26. *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: 10.10.2024).
27. *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: 09.10.2024).
28. *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: 09.10.2024)
29. 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: 05.01.2025)
30. 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: 09.10.2024).
31. 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*. N 3. P. 167–176. DOI: https://doi.org/10.12912/27197050/147447

Стаття надійшла до редакції 08.02.2025
Стаття рекомендована до друку 26.03.2025

S. M. YURASOV, PhD (Technic), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4312-249X
Odesa I.I. Mechnikov National University
15, Lvivska Str., Odesa, 65016, Ukraine

V. D. KARAULOV, PhD (Environmental Science),
Chief Specialist of the Department for Organisation of Security Measures
e-mail: vitdmdpss@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0151-3196
Department of Safety Organisation and Investigation of Accidents and Events on Land Transport of the State Service of Ukraine for Transport Safety
51, Antonovycha Str., Kyiv, 03150, Ukraine

V. V. TERZEMAN,
Postgraduate student of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: mikkymailz@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-2298-1003
Odesa I.I. Mechnikov National University,
15, Lvivska Str., Odesa, 65016, Ukraine

IMPROVED ASSESSMENT AND FORECASTING OF IRRIGATION WATER QUALITY

Purpose. Improvement of methodological approaches to assessing and forecasting the quality of irrigation water, taking into account its temporal variability, based on the analysis of irrigation properties of river waters in Odesa region.

Methods. Statistical, mathematical modelling and forecasting.

Results.. It has been established that the assessment and forecast of irrigation water quality must be carried out taking into account the variability of their composition and properties over time. It has been shown that the use of average values of indicators for the previous period of time can lead to errors in assessing the quality of irrigation water. It is recommended to consider the risk of water quality deterioration for a separate indicator as the provision of the norm for this indicator. It is proposed, based on the experience of EU countries, to limit the risk of water quality deterioration to 10%. It is indicated that a significant drawback of the methodology for assessing the risk of soil salinization in DSTU 2730:2015 is the need to analyze hypothetical toxic salts in irrigation waters for each calculation of the classification indicator, which is very inconvenient when analyzing observation data for long periods of time. It is proposed to eliminate this drawback by using detailed typification of irrigation waters with a specific set of hypothetical salts in each of their subtypes, which allows providing formulas for calculating the $e(rCl^-)$ indicator for these subtypes of water. It is indicated that the simplification of mass calculations allows determining the parameters of the distribution law of the $e(rCl^-)$ indicator and assessing the risk of deterioration of water quality for different types of soils. It was established that in the conditions of the Odessa region, the risk of sodium salinization of the soil during irrigation can be assessed using the ratio of sodium and calcium concentrations (k_{Na1}). A significant part of the study is devoted to the testing and refinement of the proposed methods for assessing and forecasting irrigation water characteristics. The main results of the work were obtained for the first time in the domestic practice of environmental research.

Conclusions. Domestic methodological approaches to assessing and forecasting the quality of irrigation water require further development, especially in terms of taking into account the variability of these waters over time. Further research should also be directed at substantiating the limitation of the risks of water quality deterioration, since the European level of 10% adopted in the article is indicative.

KEYWORDS: *irrigation water source, improved quality assessment, risk of deterioration, EU regulations, risk forecasting*

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

References

1. Skok, S.V. (2021). Assessment of the suitability of wastewater for crop irrigation. *Agrarian innovations, 5*, 75-79. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.12 (in Ukrainian)
2. Hranovska, L., Morozov, O., Pisarenko, P., & Vozhegov, S. (2022). Ecological problems of irrigated soils in the south of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin, Series "Geology. Geography. Ecology"*. (57), 282-295. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-21

3. Kovalev, M.M., Zvezdun, O.M. & Mikhailova, D. (2020). Agroecological assessment of groundwater quality for microirrigation systems in the northern steppe of Ukraine. *Water bioresources and aquaculture, 1*, 16-23. https://doi.org/10.32851/wba.2020.1.2 (in Ukrainian)
4. Morozov, O.V., Morozov, V.V., & Isachenko, S.O. (2019). Scientific and methodological approaches to assessing the quality of natural waters for irrigation (on the example of the Kakhovka irrigation system), *Water bioresources and aquaculture*, *1*, 90–101. https://doi.org/10.32851/wba.2019.1.8 (in Ukrainian)
5. Vorotyntseva, L.I. (2020). Systematic approach to sustainable management of irrigated soils in the context of climate change. *Agrochemistry and soil science, 89*, 41-50. https://doi.org/10.31073/acss89-05 (in Ukrainian)
6. Snizhko, S.I. (2001). *Assessment and forecasting of natural water quality*, Kyiv, Nika-Tsentr. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/310832649_Assessment_and_forecasting_of_natural_water_quality (in Ukrainian)
7. Blazhko, A.P. (2024). Ecological assessment of surface water quality in the Dniester-Southern Bug interfluve within the Odesa region for drip irrigation. *Bulletin of Odesa National Maritime University*. *74*, 121-138. https://doi.org/10.47049/2226-1893-2024-3-121-138 (in Ukrainian)
8. VND 33-5.5-02-97. *Water quality for irrigation. Environmental criteria*, Kharkiv, State Committee of Ukraine for Water Management. Retrieved from https://ep3.nuwm.edu.ua/2472/7/nd002%20zah.pdf (in Ukrainian)
9. DSTU 2730-94. *The quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria*, Kyiv, State Standard of Ukraine. (in Ukrainian)
10. DSTU 2730:2015. *The quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria*, Kyiv, UkrNDNTs. Retrieved from https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10395-zahyst_dovkillya._yakist_pryrodnoyi_vody_dlya_zroshen.pdf (in Ukrainian)
11. Abbasi, T., & Abbasi, S.A. (2012). *Water quality indices*. Amsterdam: Elsevier Sci Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54304-2.00016-6
12. Bhat, M.A., Wani, S.A., Singh, V.K., Sahoo1, J., Tomar, D., & Sanswal, R. (2018). An Overview of the Assessment of Groundwater Quality for Irrigation. *Journal of Agricultural Science and Food Research, 9 (1)*, Retrieved from https://www.longdom.org/open-access/an-overview-of-the-assessment-of-groundwater-quality-for-irrigation-17296.html
13. Chornyy, S., & Isaeva, V. (2022). Agronomic evaluation of irrigation water on the Southern Buh and Kamianska irrigation systems. *Journal of water and land development*, *54*, 77–83. https://doi.org/10.24425/jwld.2022.141557
14. Hussain, G., Alquwaizany, A., & Al-Zarah, A. (2010). Guidelines for irrigation water quality and water management in the Kingdom of Saudi Arabia: an overview. *Journal of Applied Sciences*, *10* (2), 79–96. https://doi.org/10.3923/jas.2010.79.96
15. Mishra, P.C. (2005) *Some Aspects of the Quality of Water in and around Rourkela.* PhD thesis. Odisha, India. https://doi.org/10.1002/ird.2946
16. Nnaji, J.C., Uzairu, A., Harrison, G.F.S., & Balarabe, M.L. (2010). Effect of Pollution on the Physico-chemical Parameters of Water and Sediments of River Galma, Zaria, Nigeria. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*, *1*(2), 115–122. Available at: https://www.researchgate.net/publication/235914633_Effect_of_Pollution_on_the_Physico-Chemical_Parameters_of_Water_and_Sediments_of_River_Galma_Zaria_Nigeria
17. Nikolaou, G., Neocleous, D., Christophi, C., Heracleous, T., & Markou, M. (2020). Irrigation ground water quality characteristics: a case study of Cyprus. *Atmosphere*, *11*. https://doi.org/10.3390/atmos11030302
18. Shaikh, P.R., Shaikh, I.R., & Bhosle, A.B. (2017). Water quality and sedimentary analyses of Siddheshwar dam (India) for assessing irrigational suitability. *Iranian Chemical Communication*, *5*(3), 315–337. Retrieved from https://icc.journals.pnu.ac.ir/article_3678.html
19. Hailu, H., Wogi, L., & Feyissa, S. (2024). Assessment of Irrigation Water Quality Status in Dry Season Wheat Production in Selected Districts of West Hararghe Zone, Ethiopia. *Cross Current International Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 6(4), 93–105. https://doi.org/10.36344/ccijavs.2024.v06i04.002
20. Anyango, G.W., Bhowmick, G.D., & Bhattacharya, N.S. (2024). A Critical Review of Irrigation Water Quality Index and Water Quality Management Practices in Micro-Irrigation for Efficient Policy Making. *Desalination and Water Treatment*, *318*, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100304
21. Zaman, M., Shahid, S.A., & Heng, L. (2018). Irrigation water quality. *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*, (pp. 113–131). https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3
22. Yurasov, S.M., Kuzmina, V.A., & Karaulov, V.D. (2021). Irrigative Assessment of Sasyk Water Quality. *Environmental problems*, *6*(2), 69–77). https://doi.org/10.23939/ep2021.02.069
23. Karaulov, V.D., & Yurasov, S.M. (2022). Disadvantages of the methodology of DSTU 2730:2015 for assessing water quality for the risk of irrigation salinisation of soil and its improvement. *Grail of Science*, *23*, 183-195. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.23.12.2022.29 (in Ukrainian)
24. Karaulov, *V.D.*, Zhytkevych, M.Ia., & Yurasov, S.M. (2023). Improving the methodology for assessing the

quality of irrigation water in DSTU 2730:2015. *The grail of science*, *25*, 190–197. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.03.2023.030 (in Ukrainian)
25. Yurasov, S.M., Karaulov, V.D., & Zhytkevych, M.Ia. (2023). Irrigation properties of water and their variability on the example of water bodies in Odesa region. *Agrarian innovations*, 17, 62–68. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.8 (in Ukrainian)
26. Council Directive 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0440&from=en
27. Council Directive 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. Retrieved from http://river.bio.auth.gr/wp-content/uploads/2016/09/Directive-76-160-EEC-Bathing-Water.pdf
28. 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
29. 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*. pp. 45-48. Retrieved from https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/13263a08-580f-4be6-bfdc-b4bbe07781e7/content (in Ukrainian)
30. 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)
31. 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

The article was received by the editors 08.02.2025
The article is recommended for printing 26.03.2025

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-04
UDC (УДК): 338.49: 656.2: 504.5

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

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

Y. D. KORNIICHUK,
Bachelor,
e-mail: yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0742-3213
National university of Kyiv Mohyla academy
2, Skovorody Str., Kyiv, 04070, Ukraine

S. V. HOROSHKOV[1, 2],
Bachelor,
e-mail: stas20055008@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-4310-9165
[1]*Taras Shevchenko National University of Kyiv*,
60, Volodymyrska Str., Kyiv, 01033, Ukraine
[2]*V.N. Karazin Kharkiv National University*,
4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

D. V. MASLOV,
Postgraduate Student
e-mail: 20denismaslov@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-7397-8329
National university of Kyiv Mohyla academy
2, Skovorody Str., Kyiv, 04070, Ukraine

ECOLOGICAL ASSESSMENT AND FORECASTING OF SURFACE WATER CONDITIONS IN THE DNIPRO RIVER IN ZAPORIZHZHIA

Purpose. To provide a comprehensive environmental assessment and forecast of the condition of surface waters of the Dnipro River within the Zaporizhzhia region, with a focus on the dynamics of key water quality indicators during the period 2013–2024. Special attention is given to anthropogenic factors, particularly the consequences of military actions and the destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant, which significantly altered the hydrological regime and impacted the ecological balance of the river.

Methods. Systems analysis, statistical data processing methods, distribution analysis, and regression modeling were employed to assess retrospective dynamics and predict future trends.

Results. Long-term monitoring data obtained from the Water Monitoring Laboratory of the Basin Water Resources Department of the Azov Sea Rivers were used. The primary focus was on evaluating six key water quality indicators: phosphates, ammonium, sulfate and chloride ions, biochemical oxygen demand over five days (BOD_5), and dissolved oxygen concentration, to assess the ecological state of the Dnipro River's surface waters in the Zaporizhzhia region, particularly in the drinking water intake area (DVS No. 1) in the upper reservoir of the Dnipro HPP. Phosphate and ammonium concentrations show periodic fluctuations driven by seasonal factors and fertilizer usage. Sulfate levels exhibit high variability of both natural and anthropogenic origin, while chloride concentrations remain relatively stable. Data on dissolved oxygen and BOD_5 indicate seasonal dynamics, which have been disrupted since 2023 due to the destruction of the Kakhovka Dam. The analysis confirmed the river's capacity for partial self-recovery, particularly under reduced anthropogenic pressure during wartime. Regression

© Horoshkova L.A., Menshov O. I., Korniichuk Y. D., Horoshkov S, V., Maslov D. V., 2025

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

models were developed for predictive assessment of pollution levels and environmental risks.

Conclusions. The study identified key ecological problems in the Dnipro River, including organic and mineral pollution, disrupted hydrological regimes, and decreased oxygenation. The war-related destruction of hydrotechnical infrastructure exacerbated these issues. Despite this, the river demonstrated resilience through natural self-purification processes, especially as phosphate and ammonium loads declined. Restoration of ecological balance will require systemic monitoring, rehabilitation of water infrastructure, and regulation of pollutant sources. The developed models provide a basis for forecasting and managing surface water quality under both peacetime and post-war recovery scenarios.

KEY WORDS: *Dnipro River, war consequences, surface water, ecological monitoring, phosphate, ammonium, sulfate, chloride, dissolved oxygen, BOD_5, anthropogenic impact, forecasting*.

Як цитувати: Horoshkova L. A., Menshov O. I., Korniichuk Y. D., Horoshkov S. V., Maslov D. V. Ecological assessment and forecasting of surface water conditions in the Dnipro river in Zaporizhzhia. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 48 – 62. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-04

In cites: Horoshkova, L. A., Menshov, O. I., Korniichuk, Y. D., Horoshkov, S. V., & Maslov, D. V. (2025). Ecological assessment and forecasting of surface water conditions in the Dnipro river in Zaporizhzhia. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 48 – 62. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-04

Introduction

The issue of preserving water resources in river basins, particularly their rational utilization, is extremely relevant under current conditions. Since the beginning of the war, Ukraine's water resources have experienced additional anthropogenic impact, thus necessitating continuous monitoring of surface water conditions. Among the rivers affected by this additional impact is the Dnipro. Therefore, there is a need to conduct a comprehensive analysis of the ecological state of the Dnipro River basin to identify the most pressing problems requiring immediate solutions. As is known, the surface waters of the Dnipro River are of key importance for water supply in Ukraine. At the same time, the Dnipro's aquatic ecosystem is under constant anthropogenic pressure, causing gradual and persistent deterioration of its ecological state. To improve the quality of surface waters in the Dnipro basin, it is necessary to implement a reliable and effective model for forecasting the state of the ecosystem, including accounting for the impact of war.

Objects and Research Methods

To assess the impact of anthropogenic load, including war impact on the surface water conditions in the Dnipro River in Zaporizhzhia, a study was conducted on the water quality of the Dnipro River using data from the Water Monitoring Laboratory of the Basin Department for Water Resources of Azov Rivers. Comparative analysis was carried out for the monitoring station: Dnipro River, 328 km, Zaporizhzhia, upper tailrace of the Dnipro HPP, drinking water intake of Zaporizhzhia (DWS No. 1) (47°81'80" N, 35°10'00" E) during 2015-2024.

Results and Discussion

The ecological state of the Dnipro River has long attracted attention, as it is the country's main waterway, but remains under constant anthropogenic pressure [1-4]. Considering the changing situation, there is a need for continuous monitoring of its surface water quality in the context of main pollutants, which include phosphate and ammonium ions, sulfates and chlorides, and others, as well as assessing the ratio of BOD_5 to dissolved oxygen concentration.

Phosphates play a key role in the functioning of biota and hydroecosystems in general. Under optimal concentration conditions, they contribute to increased ecosystem productivity and influence the species composition of aquatic organisms. However, exceeding the maximum permissible limits of phosphates changes the trophic status of water bodies, stimulating the development of organisms that release harmful metabolites, negatively affecting other inhabitants of the water body and deteriorating water quality. Phosphate levels in aquatic environments vary seasonally, related both to their sources (weathering and dissolution of

rocks, application of phosphorus fertilizers and detergents) and biological processes (life activities and death of organisms). The main sources of anthropogenic phosphate pollution are considered to be agricultural runoff, wastewater from treatment facilities, and industrial enterprises [5-7].

Ammonium ions are one form of nitrogen naturally present in the environment. They are primarily concentrated in the upper layers of the hydrosphere, where intensive decomposition of protein substances from aquatic organisms and accumulation of their metabolic products occur. In this context, ammonium acts as a natural element of the aquatic environment, involved in the nitrogen cycle in the biosphere. At the same time, its concentration must remain within permissible levels, as excessive content can cause serious ecological consequences. Specifically, elevated NH_4^+ levels in surface waters promote the development of eutrophication [4, 9], which harms biodiversity: this phenomenon stimulates excessive growth of certain algae species, which reduce dissolved oxygen content in the water. As a result, the water bodies' ability to self-purify is significantly impaired.

Sulfates are the most common anions present in aquatic ecosystems. The main factors for increasing their concentration in water bodies are the processes of organism death, oxidation of substances, and influx from groundwater [10, 11]. Sulfate ions (SO_4^{2-}) enter natural waters primarily through dissolution of sulfur-containing minerals such as gypsum, as well as through oxidation of sulfur and sulfides. Additionally, a significant portion consists of sulfur released during the decomposition of plant and animal remains, as well as from wastewater.

Chlorides enter surface waters from mineral fertilizers containing chlorine-containing potassium compounds, as well as from domestic and industrial effluents. Due to high solubility, chlorides are poorly adsorbed by suspended matter and are hardly assimilated by aquatic organisms. Their concentration plays an important role in forming non-carbonate water hardness. Chloride ion (Cl^-) also enters water bodies through dissolution of chlorine-containing minerals. An additional source is atmospheric transport from marine and oceanic areas to continental water bodies. The significant increase in chloride concentrations in recent years is associated with increased impact of industrial and municipal wastewater [11].

The biochemical oxygen demand (BOD) indicator shows how much oxygen is required for complete oxidation of organic substances in a water body. During the oxidation and decomposition of organic matter, BOD values decrease. Simultaneously with consumption, oxygen enters surface waters from the atmosphere and water saturation with dissolved oxygen occurs. This diffusion compensates for oxygen losses during decomposition of organic matter in water. This relationship is described by the well-known Streeter-Phelps model, which allows evaluation of the balance between oxygen consumption in water due to organic matter decomposition and its recovery through atmospheric diffusion. This, in turn, allows assessment of water quality and its capacity for natural self-purification [12, 13].

When monitoring surface waters, it is important not only to determine the content of substances in them, but also to compare the obtained data with maximum permissible concentrations, which are indicators of the safe level of harmful substances per unit volume or mass in the aquatic environment that has minimal impact on human health [14, 15].

The research object was the surface water condition of the Dnipro River within the monitoring station: Dnipro River, 328 km, Zaporizhzhia, upper tailrace of the Dnipro HPP, drinking water intake of Zaporizhzhia (DWS No. 1) (47°81'80" N, 35°10'00" E). The study covered the period 2013-2024 and was conducted for the following parameters: phosphate ions, ammonium ions, sulfate ions, chloride ions, BOD_5, and dissolved oxygen.

Figure 1 presents the results of analysis of phosphate and ammonium ion dynamics in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024.

Analysis of phosphate and ammonium ion dynamics in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024 revealed clear changes that are both seasonal and anthropogenically induced. During 2017-2020, indicators for both ions demonstrated relative stability with typical fluctuations caused by surface runoff from agricultural lands and domestic discharges.

Since 2021, there has been a trend toward decreased phosphate concentration, reaching a minimum in mid-2022. Simultaneously, in July 2022, an abnormally high spike in ammonium ion concentration was observed, exceeding 0.8

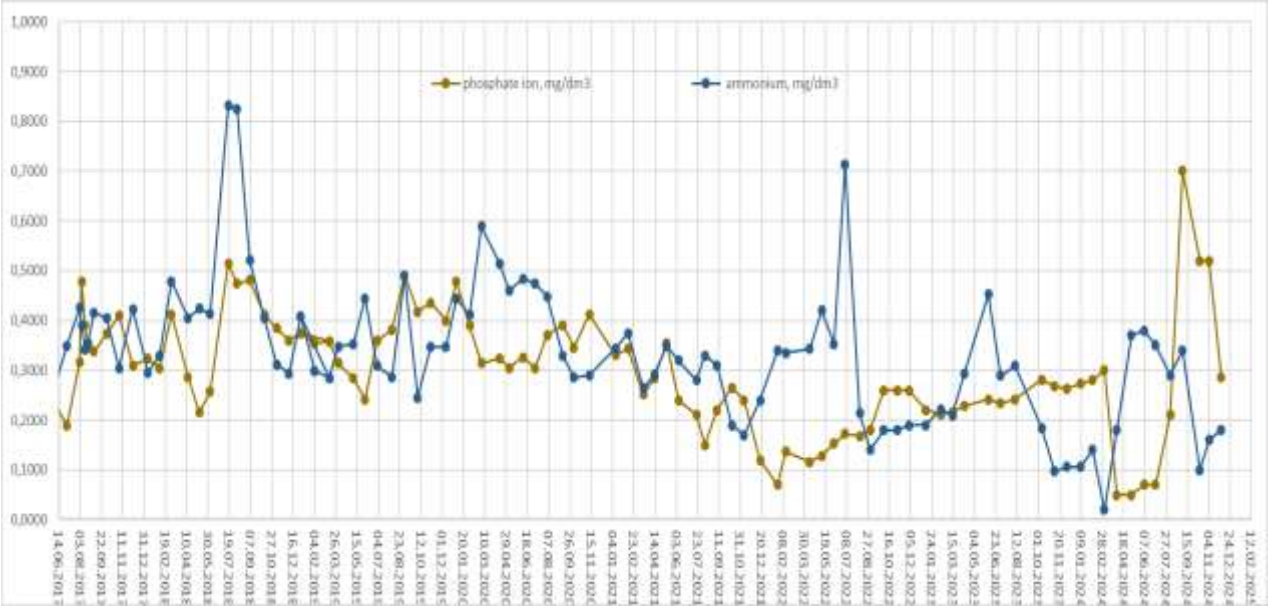


Fig. 1 – Dynamics of phosphate and ammonium ion content in Dnipro River surface waters in Zaporizhzhia during 2017-2024

mg/dm³. This may be a result of local discharges or increased mineralization of organic matter under conditions of reduced flow, high temperature, and dissolved oxygen deficit.

In 2023-2024, ammonium content gradually decreases, indicating activation of nitrification processes. In the presence of oxygen, ammonium is oxidized to nitrites (by bacteria of the genus Nitrosomonas) and further to nitrates (Nitrobacter), indicating improved water body aeration and stabilization of ecosystem processes. Phosphates during this period demonstrate gradual growth with individual sharp peaks (September-October 2024), likely related to mobilization of phosphates from bottom sediments under anaerobic conditions or through the influence of organic matter decomposition (SPAR).

Overall, a complex interaction of chemical and biogeochemical processes is observed - reduced anthropogenic load decreased phosphate and ammonium influx, while changes in hydrodynamics, particularly through HPP damage, affected flow, oxygen regime, and remobilization of compounds from bottom sediments.

Figure 2 presents the results of analysis of sulfate and chloride ion dynamics in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024.

Fig. 2 – Dynamics of sulfate and chloride ion content in Dnipro River surface waters in Zaporizhzhia during 2017-2024

The graph demonstrates fluctuations in sulfate and chloride ion concentrations in river water, which are indicators of mineralization, degree of anthropogenic load, and hydrochemical stability of the aquatic environment.

Throughout the entire period, sulfate concentrations (blue line) fluctuate within 30-90 mg/dm³, with notable peaks in certain months (e.g., 05.2021, 10.2021, 09.2022, 11.2023, 11.2024). Such anomalous increases may be related to local wastewater discharges or active oxidation of organic matter during changes in hydrochemical regime. Increased sulfates may also result from microbiological decomposition of biota, particularly during periods of algae death, or active sulfate reduction with subsequent release of sulfur-containing compound oxidation products.

Characteristically, sulfate ions demonstrate higher variability, which is typical for ions that can actively come from anthropogenic sources - industrial enterprises, storm and domestic runoff. Particularly sensitive fluctuations are observed in 2022-2023, which may reflect the impact of military actions and disruption of wastewater treatment facilities.

Unlike sulfates, chloride ions (green line) have more stable concentration, maintained in the range of 25-40 mg/dm³. This corresponds to the nature of chlorides as conservative ions that are not actively involved in biogeochemical processes and have high solubility. However, short-term decreases (e.g., in 07.2021 and 04.2022) may result from technical errors or local water dilution, for example, after severe floods or increased water exchange.

Overall, comparison of dynamics for both ions indicates increased reactivity of sulfates in the river water system, while chlorides remain a stable indicator of overall mineralization level. Increased sulfates with unchanged chloride levels may indicate activation of biochemical processes - particularly, oxidation of SPAR or hydrogen sulfide formation with subsequent oxidation to SO_4^{2-} under variable oxygen regime conditions.

Figure 3 presents the results of analysis of dissolved oxygen concentration dynamics and biochemical oxygen demand over 5 days in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024.

The graph depicts the dynamics of two key indicators of aquatic environment condition: dissolved oxygen concentration and biochemical oxygen demand over 5 days (BOD_5). Both parameters are closely related to the intensity of biochemical processes and are primary markers of water body self-purification and its ecological state.

During the period from 2017 to 2022, typical seasonal dynamics are observed; in summer, dissolved oxygen levels decrease, which is due to reduced solubility at elevated water temperatures and activation of microbiological decomposition of organic matter. During this time, BOD_5 values increase, as elevated temperature and organic load stimulate metabolic activity of aerobic bacteria, increasing oxygen consumption. In autumn and winter, conversely,

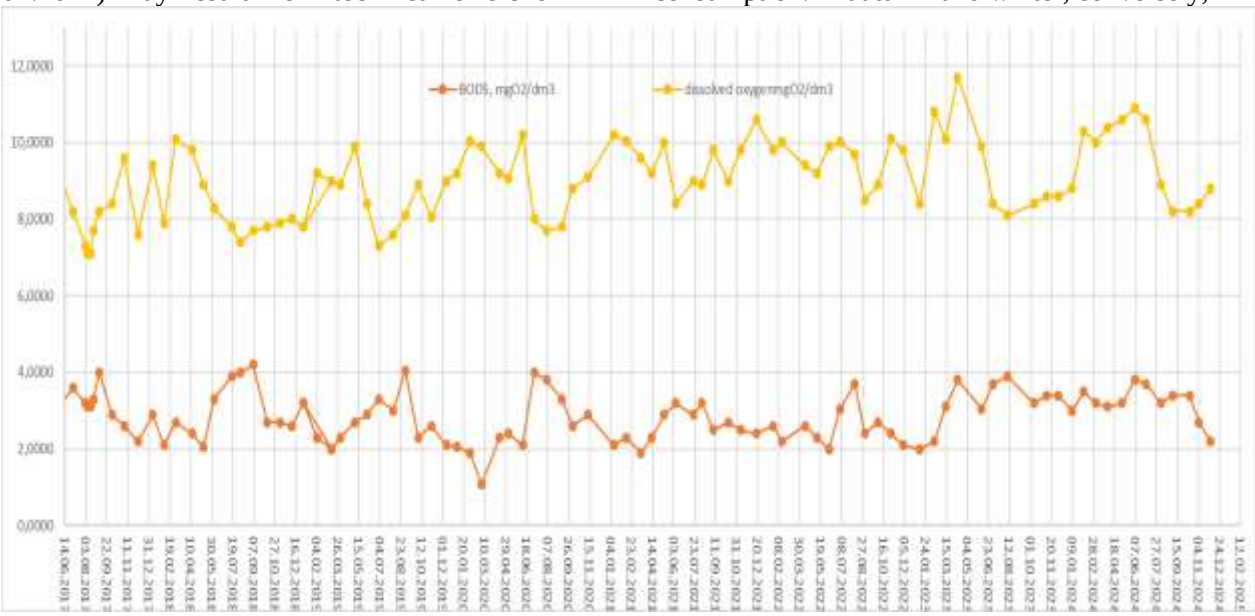


Fig. 3 – Dynamics of dissolved oxygen concentration and biochemical oxygen demand over 5 days in Dnipro River surface waters in Zaporizhzhia during 2017-2024

there is an increase in dissolved oxygen concentration and decrease in BOD_5 - the result of slowed biochemical processes and improved oxygen solubility.

However, beginning in 2023, this clear seasonal rhythm is disrupted. The graph shows a significant decrease in dissolved oxygen during the summer and autumn period of 2023, while BOD_5 values remain relatively stable, without corresponding growth. This may indicate oxygen deficit caused by hydrological regime disruption due to destruction of the Kakhovka HPP (06.2023) and reduced flow velocity, limiting water mixing and oxygen saturation from the atmosphere.

Continued organic matter decomposition under conditions of limited oxygen access in 2023-early 2024 explains the low DO level with relatively unchanged BOD_5 - available organic substances decompose with slowing, and oxygen access is limited. During the summer period of 2024, increased DO indicates partial restoration of aeration, possibly through improved weather conditions or reduced anthropogenic load (particularly organic matter), which is also evidenced by stability or even slight decrease in BOD_5.

Overall, the graph confirms the effect of "biochemical paradox": when high dissolved oxygen levels correspond to low BOD_5 (ecosystem capable of self-purification), and its decrease without accompanying BOD_5 growth indicates disruption of natural organic matter oxidation due to reduced flow and decreased atmospheric diffusion. Such changes demonstrate reduced adaptive potential of the aquatic ecosystem under the influence of hydrotechnical and climatic factors.

For overall assessment of anthropogenic load levels from pollutants and their impact on BOD_5 levels and dissolved oxygen concentration, distribution histograms were constructed for the period 2015-2024.

Figure 4 presents a histogram of phosphate ion concentration distribution in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024.

The distribution histogram of phosphate ion concentrations in Dnipro River water demonstrates an asymmetric (right-skewed) character with a modal interval of 0.36-0.44 mg/dm³, indicating predominance of moderate phosphate loading levels. Approximately 80% of values are concentrated within 0.22-0.50 mg/dm³ - typical for water bodies with regular impact from wastewater and agricultural runoff. Such concentrations can support increased aquatic ecosystem productivity but promote phytoplankton biomass accumulation, especially during summer periods, increasing the risk of eutrophication development. Individual high values (>0.65 mg/dm³) are likely related to local unauthorized discharges or episodic ferti-

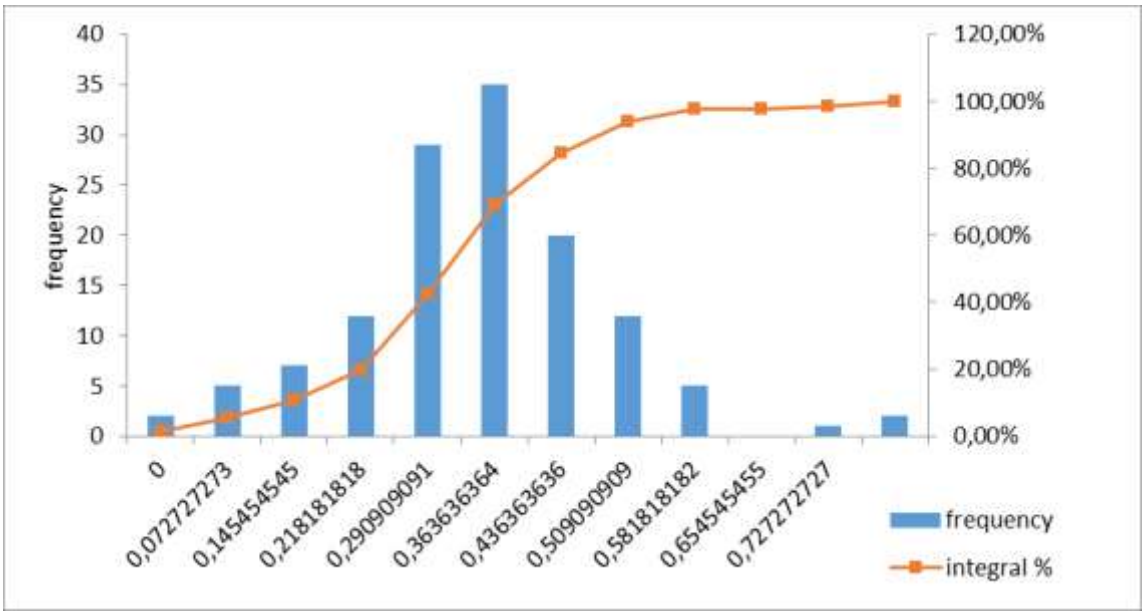


Fig. 4 – Distribution histogram of phosphate ion concentrations in Dnipro River surface waters in Zaporizhzhia during 2017-2024

lizer washout, and indicate disruption of the water body's buffer capacity. This distribution profile indicates the need for systematic monitoring and ecological control of phosphate loading sources.

Figure 5 presents a histogram of ammonium ion concentration distribution in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024.

The histogram demonstrates frequency distribution of ammonium ion concentrations, which has a pronounced right-skewed distribution with a maximum in the 0.31-0.39 mg/dm³ range. The main portion of values (over 80%) is

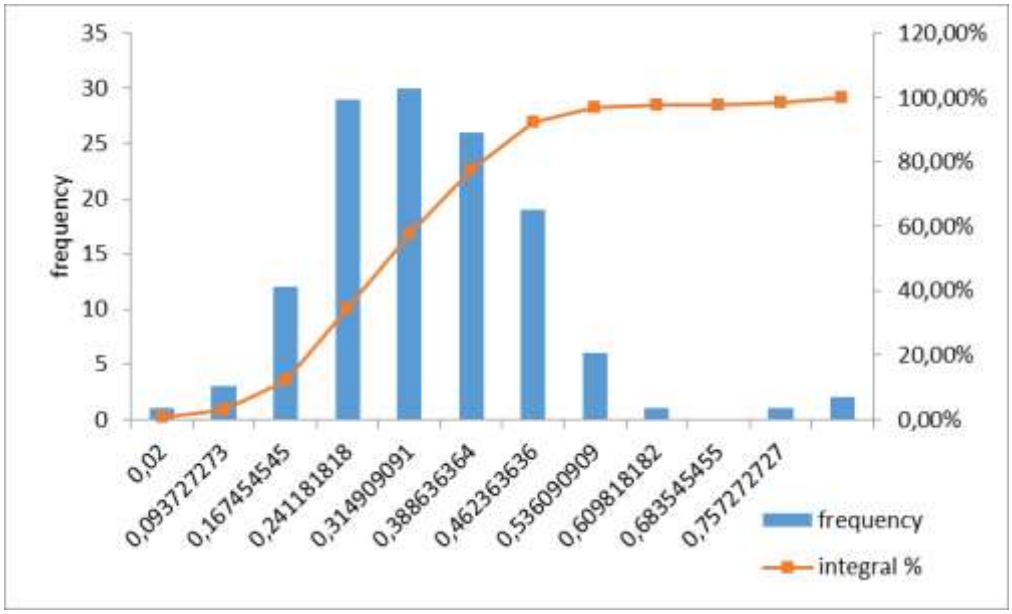


Fig. 5 – Distribution histogram of ammonium ion concentrations in Dnipro River surface waters in Zaporizhzhia during 2017-2024

concentrated within 0.24-0.53 mg/dm³, indicating the presence of a persistent ammonium pollution source, likely of domestic or agricultural origin. The cumulative curve (integral %) confirms predominance of average values, characteristic of aquatic systems with regular anthropogenic load but still capable of self-purification. Ammonium is an intermediate product of organic matter mineralization and an important indicator of oxygen regime. With sufficient dissolved oxygen levels, NH_4^+ undergoes nitrification to nitrites and further to nitrates, so this distribution form indicates relatively aerobic conditions.

At the same time, individual emissions with concentrations above 0.60 mg/dm³ (outliers on the right) indicate episodic overloads or reduced aeration - likely due to local discharges or flow reduction due to hydrotechnical changes (e.g., dam destruction or seasonal low water). This distribution profile is typical for waterways affected by anthropogenic factors but still maintaining buffer capacity for self-purification. At the same time, the presence of even occasional high concentrations requires enhanced control, as NH_4^+ is toxic to aquatic biota under high pH and temperature conditions characteristic of summer periods.

Figure 6 presents a histogram of sulfate ion concentration distribution in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024.

The distribution of sulfate concentrations has a normal distribution character with a maximum within 56-66 mg/dm³, corresponding to the natural mineralization level for large river systems with moderate technogenic load. The main mass of values (over 80%) is concentrated in the 46-75 mg/dm³ range, confirmed by the smooth cumulative curve. This indicates a stable source of sulfate influx - particularly from natural minerals (gypsum, sulfides), as well as from domestic and industrial wastewater.

Sulfates are indicators of the water body's oxidative regime, and high values may indicate active organic matter decomposition processes or influx of sulfur-containing compounds. Individual cases of concentrations above 84 mg/dm³ may result from local pollution, desorption processes from bottom sediments, or atmospheric runoff impact.

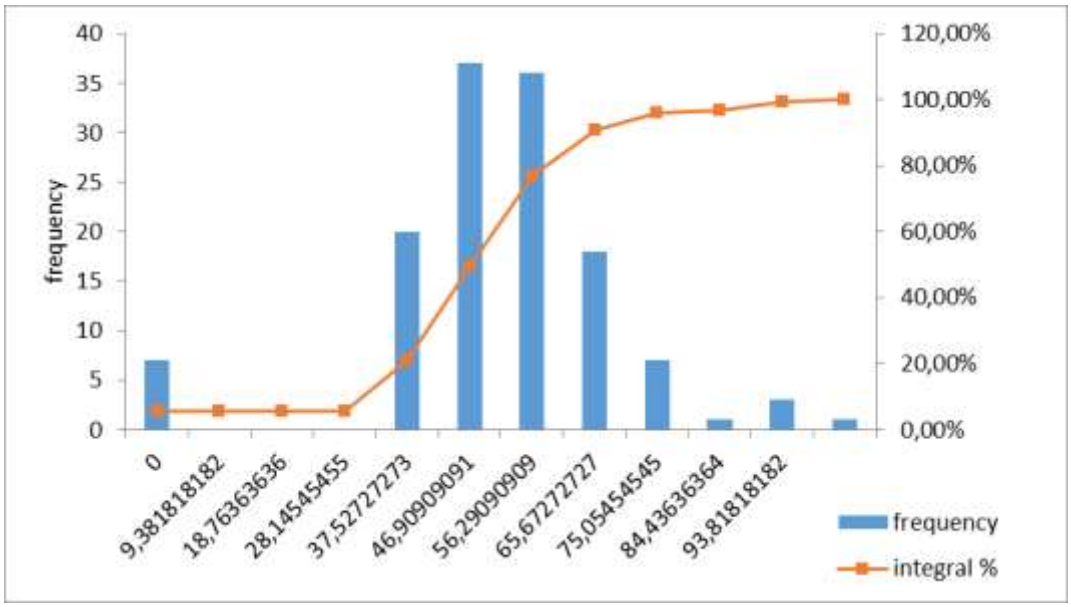


Fig. 6 – Distribution histogram of sulfate ion concentrations in Dnipro River surface waters in Zaporizhzhia during 2017-2024

This distribution profile is typical for river systems experiencing seasonal changes and having both natural and anthropogenic sources of SO_4^{2-} influx. High concentrations at low oxygen levels can also serve as a substrate for sulfate reduction with hydrogen sulfide (H_2S) formation, which is potentially toxic to aquatic biota.

Figure 7 presents a histogram of chloride ion concentration distribution in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024. The chloride ion distribution histogram is characterized by left-skewed asymmetry with a modal class in the 36.2-40.3 mg/dm³ range, indicating predominance of moderate mineralization levels. Over 80% of observations are concentrated within 28-44 mg/dm³, typical for freshwater river systems with background hydrogeochemical regime and minimal anthropogenic load.

Chlorides, as inert conservative ions, do not participate in the biogeochemical cycle and are not adsorbed by bottom sediments, so their distribution serves as a marker of hydrochemical background stability. The absence of pronounced extreme values in the right tail of the distribution indicates minimal influence of point

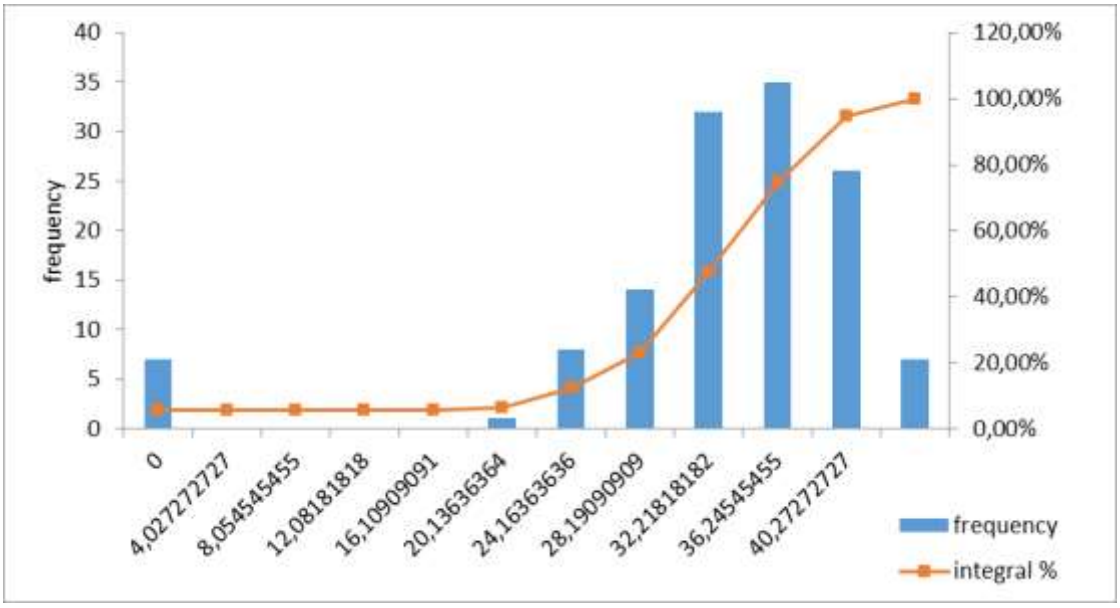


Fig. 7 – Distribution histogram of chloride ion concentrations in Dnipro River surface waters in Zaporizhzhia during 2017-2024

pollution sources - particularly domestic or industrial effluents characteristic of urbanized territories.

The presence of individual low values in the left part of the histogram (below 12 mg/dm³) may result from water dilution by flood or atmospheric precipitation or seasonal reduction in mineralization.

Thus, Cl^- distribution reflects hydrochemical stability and can be used as an indicator of background conditions when assessing changes in more reactive aquatic environment components.

Figure 8 presents a histogram of BOD_5 value distribution in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024.

The distribution of BOD_5 values has an asymmetric form with a maximum in the 2.7-3.1 mgO_2/dm^3 range, indicating predominance of moderate organic pollution. Most values (≈80%) are within 2.3-3.8 mgO_2/dm^3, corresponding to

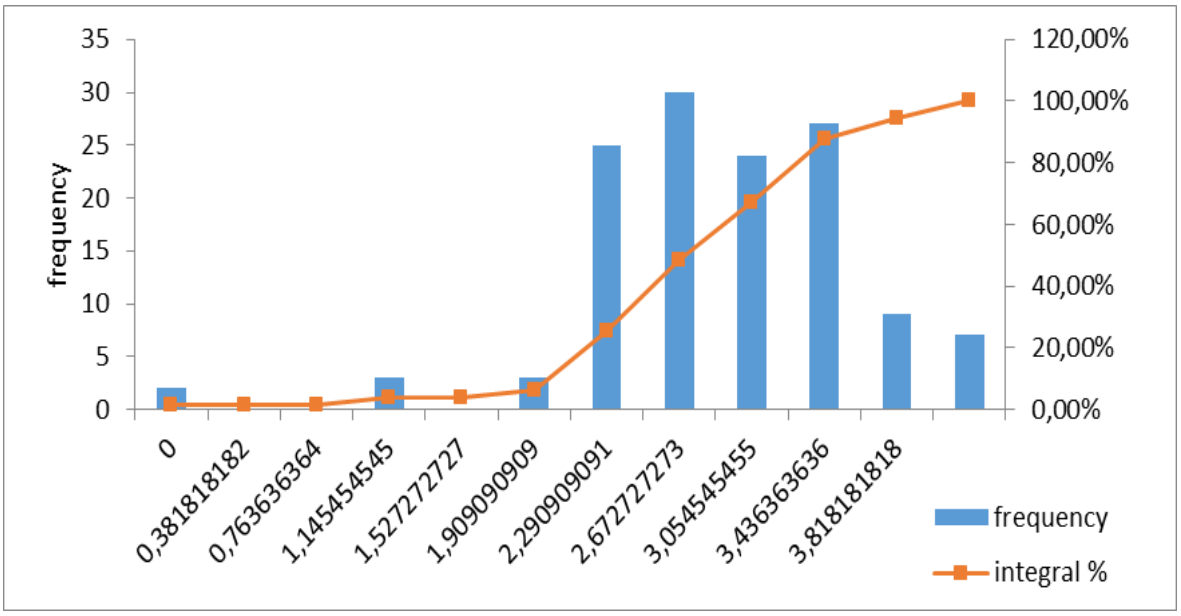


Fig. 8 – Distribution histogram of BOD_5 values in Dnipro River surface waters in Zaporizhzhia during 2017-2024

the level of weak to moderate anthropogenic load according to water quality ecological assessment classification. This profile is typical for water bodies with biodegradable organic matter of domestic and agricultural origin. The BOD_5 indicator is an integral biochemical indicator characterizing the oxygen requirement of aerobic microorganisms for oxidation of dissolved organic matter. Stable peak position in the medium range indicates conditions for natural self-purification and relatively aerobic environment. The presence of individual high values (>3.8 mg/dm³) indicates periodic local organic matter influx, likely from effluents without proper treatment. The cumulative percentage distribution curve (integral %) confirms uniform transition from background to elevated values, indicating absence of sharp anthropogenic emissions.

Figure 9 presents a histogram of dissolved oxygen concentration distribution in the surface waters of the Dnipro River in Zaporizhzhia during 2017-2024. The distribution of dissolved oxygen concentrations has a clearly defined modal interval of 9.7-10.4 mgO_2/dm^3, where the largest number of observations are concentrated. Over 80% of all values are within 8.2-11.2 mgO_2/dm^3, indicating the aerobic nature of the environment, favorable for aquatic biota functioning. This level of oxygen saturation corresponds to good ecological conditions, characteristic of water bodies with moderate organic loading and active oxygen diffusion from the atmosphere. It also indicates effective self-purification through aerobic oxidation of organic matter. The presence of a small number of values above 12 mgO_2/dm^3 may be related to intensive photosynthetic activity of algae during daytime, especially in summer. At the same time, the absence of a significant number of low values (<7 mg/dm³) indicates stable oxygen regime and absence of critical phenomena related to oxygen deficit (hypoxia), usually observed in reservoirs with reduced flow or excessive eutrophication.

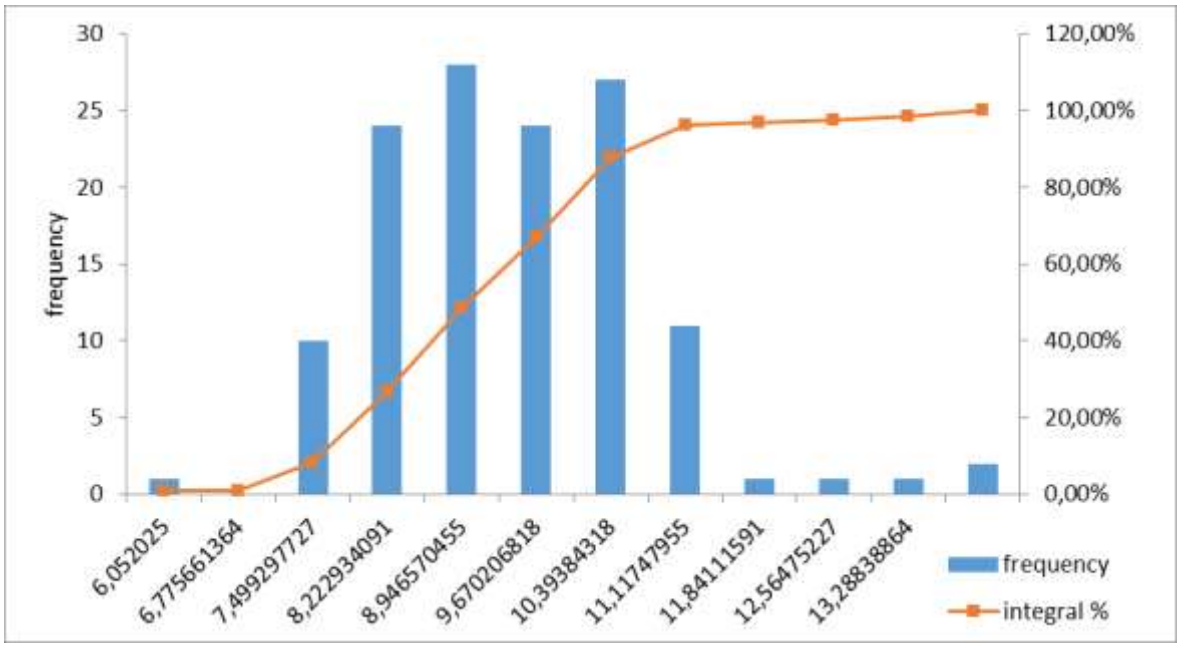


Fig. 9 – Distribution histogram of dissolved oxygen concentrations in Dnipro River surface waters in Zaporizhzhia during 2017-2024

The obtained distribution is an indicator of stable hydrobiological state, allowing maintenance of natural self-purification mechanisms and providing conditions for aerobic transformation of organic and inorganic pollutants.

To determine dynamics of anthropogenic load level changes on Dnipro River surface waters (DWS-1 station) and subsequent forecasting in the context of individual pollutants, corresponding regression equations were constructed. Annual average values of harmful substance emissions were used in their construction (i.e., seasonality of pollution was leveled).

Figure 10 presents the dynamics of phosphate and ammonium ion concentration changes in water during 2013-2024 and corresponding approximating curves.

Regression equation of the identified dependence for phosphate ions:

$$y = 5 \times 10^{-8}x^6 - 6 \times 10^{-4}x^5 + 2.7458x^4 - 6.8999 \times 10^3x^3 + 1 \times 10^7x^2 - 7 \times 10^9x + 2 \times 10^{12},$$

approximation reliability – $R^2 = 0.8047$.

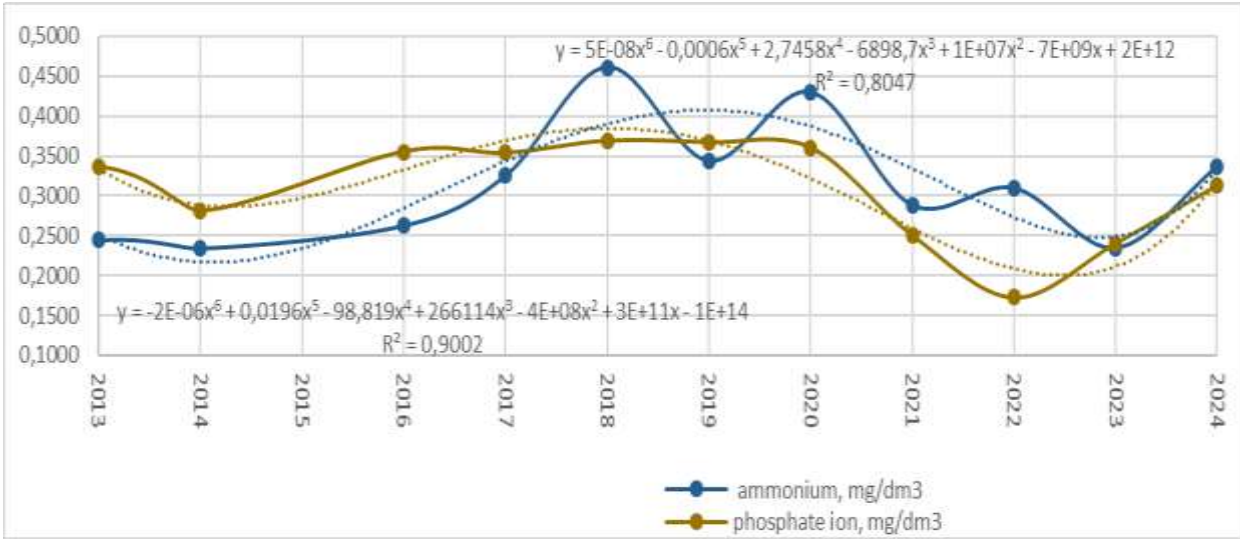


Fig. 10 – Dynamics of phosphate and ammonium ion concentration changes in water during 2013-2024 and corresponding approximating curves

The identified dependencies indicate that phosphate ion content reduction in water occurs periodically, namely being minimal in 2014 and in 2022.

Regression equation of the identified dependence for ammonium ions:

$$y = -2 \times 10^{-6}x^6 + 1.96 \times 10^{-2}x^5 - 98.819x^4 + 2.66114\times \times 10^5x^3 - 4 \times 10^8x^2 + 3 \times 10^{11}x - 1 \times 10^{14},$$

approximation reliability – $R^2 = 0.9002$.

The identified dependencies indicate that ammonium ion content reduction in water also occurs periodically, being at low levels during 2013-2015, and then in 2019, 2021, and in 2023.

This provides grounds to confirm the assumption regarding the main impact factor - fertilizer application, as reduction in application of some fertilizers is compensated by others. Additionally, from 2016 to 2021, general situation deterioration was observed, as average content of phosphate and ammonium ions in water increased. After situation improvement during 2022-2023 (due to reduced fertilizer application), in 2024 there was a return to previous trends.

Figure 11 presents the dynamics of sulfate and chloride ion concentration changes in water during 2013-2024 and corresponding approximating curves.

Regression equation of the identified dependence for sulfate ions:

$$y = 3 \times 10^{-4}x^6 - 3.0774x^5 + 1.5511 \times 10^4x^4 - 4 \times 10^7x^3 + 6 \times 10^{10}x^2 - 5 \times 10^{13}x + 2 \times 10^{16},$$

approximation reliability – $R^2 = 0.7549$.

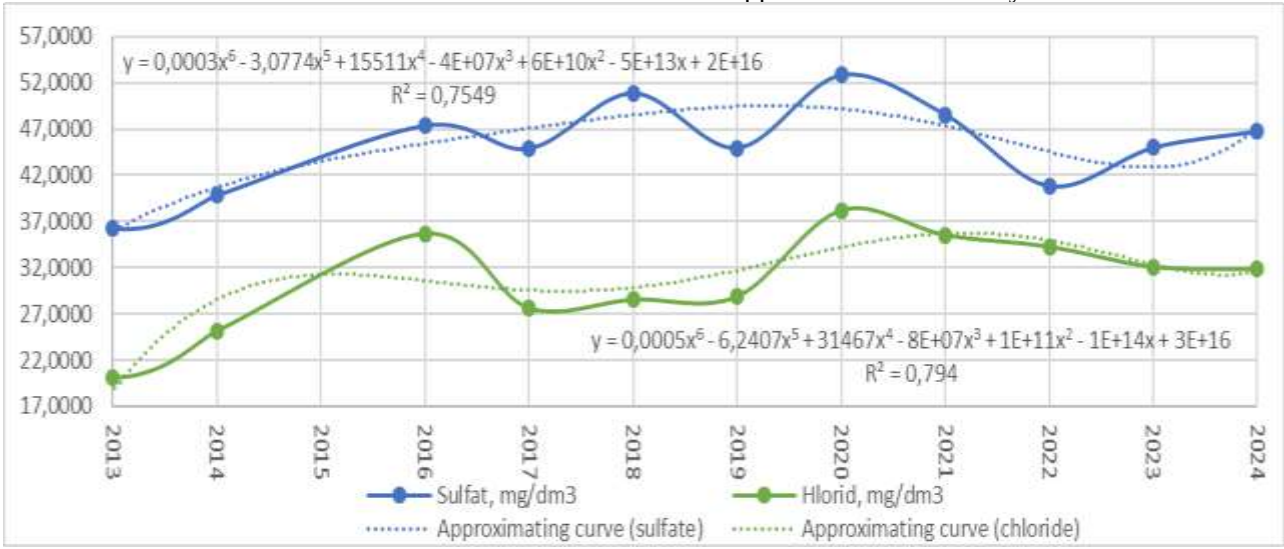


Fig. 11 – Dynamics of sulfate and chloride ion concentration changes in water during 2013-2024 and corresponding approximating curves

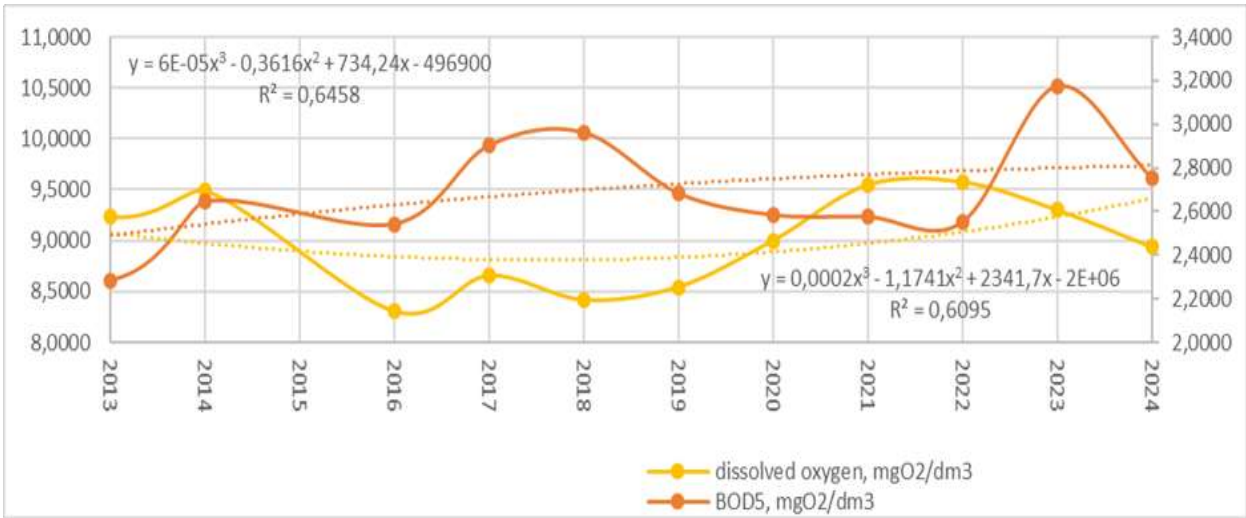


Fig. 12 – Dynamics of BOD_5 and dissolved oxygen concentration changes in water during 2013-2024 and corresponding approximating curves

Regression equation of the identified dependence for chloride ions:

$y = 5 \times 10^{-4}x^6 - 6.2407x^5 + 3.1467x^4 - 8 \times 10^7x^3 + + 1 \times 10^{11}x^2 - 1 \times 10^{14}x + 3 \times 10^{16}$,

approximation reliability – $R^2 = 0.794$

The identified dependencies indicate that chloride ion content changes in water are also insignificant. As can be seen, sulfate and chloride ion content during 2013-2016 increased, while in subsequent years it fluctuates around a certain average level.

Figure 12 presents the dynamics of BOD_5 and dissolved oxygen concentration changes during 2013-2024 and corresponding approximating curves.

Regression equation of the identified dependence for BOD_5:

$y = 6 \times 10^{-5}x^3 - 0.3616x^2 + 7.3424 \times 10^2x - 4.969 \times 10^5$,

approximation reliability – $R^2 = 0.6458$.

The identified dependencies indicate that maximum indicator levels were in 2017-2018 and in 2023 (significant increase) with practically unchanged level in other years.

Regression equation of the identified dependence for dissolved oxygen:

$y = 2 \times 10^{-4}x^3 - 1.1741x^2 + 2.3417 \times 10^3x - 2 \times 10^6$,

approximation reliability – $R^2 = 0.6095$.

The identified dependencies indicate that minimum indicator levels were in 2016-2019 and in 2024, with maxima observed in 2014 and during 2021-2022.

Therefore, opposite trends exist for BOD_5 and dissolved oxygen, as should be expected. The obtained results provide grounds to confirm the assumption about the existence of self-purification capacity despite existing anthropogenic influences.

Conclusions

The study covered the period 2013-2024 and was conducted in the context of the following indicators: phosphate ions, ammonium ions, sulfate ions, chloride ions, BOD_5, and dissolved oxygen.

It was established that the main anthropogenic load is created by industry, agriculture, and municipal enterprises. The consequences of war were also assessed, namely the destruction of the Kakhovka HPP dam (destruction of the Kakhovka Reservoir) and cessation of Dnipro HPP operations. Considering that indicators of surface water ecological state are BOD_5 and dissolved oxygen level, special attention was given to these indicators.

It was established that during 2017-2022, typical seasonal dynamics of indicators were observed. Since 2023, the clear seasonal rhythm changed due to disruption of hydrological regime through destruction of the Kakhovka HPP (06.2023) and reduced flow velocity, limiting water mixing and oxygen saturation from the atmosphere. Nevertheless, reduced pollution levels by phosphate and ammonium ions since the beginning of war has provided the possibility for self-purification of Dnipro River surface waters.

For overall assessment of anthropogenic load levels from pollutants and their impact on BOD_5 levels and dissolved oxygen concentration in Dnipro River surface waters, distribution histograms were constructed for the period 2015-2024.

Forecasting of anthropogenic load levels for main pollutants was carried out using regression equations, and predicted levels of BOD_5 and dissolved oxygen concentration in Dnipro River surface waters were determined.

Conflict of Interest

The research was carried out under project 0124U004208 "Ecological and economic optimization of logistics infrastructure during war and post-war reconstruction of Ukraine," implemented as part of the scientific work program, scientific-technical and infrastructure projects funded from special fund resources obtained from the European Union's external assistance instrument for fulfilling Ukraine's obligations in the European Union Framework Programme for Research and Innovation "Horizon 2020".

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

References

1. Savchuk, D. (2003). Ecological and economic aspects of the functioning of the Dnipro reservoirs. *Ecological Bulletin*, (5–6), 24–26. (in Ukrainian)
2. 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*, 6(2/2019), 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 (in Ukrainian)
3. 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*, 5/10(89), 32–38. Retrieved from http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5546
4. Mohan, D., Sarswat, A., Ok Y.S., & Pittman, Jr. C.U. (2014). Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent – a critical review. *Bioresource Technology*, *160*, 191–202. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120
5. Owens, P.N., & Walling, D.E. (2002), The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins. *Water Research*, *36*(3), 685–701.
6. Yan Z., Wu L., Lv T., Tong C., Gao Z., Liu Y., ... & Yu D. (2022), Response of spatio-temporal changes in sediment phosphorus fractions to vegetation restoration in the degraded river-lake ecotone. *Environmental Pollution*, *308*, Article 119650. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119650
7. Humnytskyi, Ya.M., Sabadash, V.V., & Tyzhbir, H.A. (2011). Mechanism of ammonium ion sorption by natural aluminosilicates. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series: Chemistry, Technology of Substances and Their Application*, (726), 308–311. (in Ukrainian)
8. Nguen, M.L., & Tanner, C.C. (1998). Ammonium removal from wastewaters using natural New Zealand zeolites. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, *41*, 427–446.
9. Klymenko, V.H., & Petrova, N.V. (2011). Assessment of the water quality of the Kharkiv River. Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University. (in Ukrainian)
10. Nabyvanets B.Y., Osadchyi V.I., Osadcha N.M., Nabyvanets Yu.B. (2007). Analytical chemistry of surface waters. Ukrainian Hydrometeorological Research Institute. Kyiv: Naukova Dumka. (in Ukrainian)
11. 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
12. 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
13. Streeter, H.W., & Phelps, E.B. (1958). *A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River*. US Public Health Service Bulletin. Retrieved from https://udspace.udel.edu/items/03d5883b-d6e7-4cf6-8a35-e14f9190302f
14. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. Order on approval of environmental safety standards for water bodies used for fishery purposes regarding maximum permissible concentrations of organic and mineral substances in marine and fresh waters (biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD), suspended solids, and ammonium nitrogen): 30.07.2012. No. 471 (with amendments). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12#Text (in Ukrainian)
15. Ministry of Health of Ukraine. On approval of hygienic standards for water quality of water bodies for drinking, household, and other needs of the population: Order dated 02.05.2022 No. 721 (with amendments). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text (in Ukrainian)

The article was received by the editors 13.04.2025
The article is recommended for printing 15.05.2025

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

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

Ю. Д. КОРНІЙЧУК,
Бакалавр
e-mail: yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0742-3213
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

С. В. ГОРОШКОВ[1, 2]
Бакалавр
e-mail: stas20055008@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-4310-9165
[1]*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*
вул. Володимирівська. 60, Київ, 01033, Україна
[2]*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,*
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

Д. В. МАСЛОВ,
Аспірант
e-mail: 20denismaslov@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-7397-8329
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ ДНІПРО У ЗАПОРІЖЖІ

Мета. Надати комплексну екологічну оцінку та прогнозування стану поверхневих вод річки Дніпро в межах Запорізької області з акцентом на динаміку основних показників якості води у 2013–2024 роках. Особлива увага приділяється антропогенним факторам, зокрема наслідкам військових дій і руйнування Каховської гідроелектростанції, що суттєво змінили гідрологічний режим і вплинули на екологічну рівновагу річки.

Методи. Системний аналіз, методи статистичної обробки, аналіз розподілу та регресійне моделювання для оцінки динаміки у ретроспективі та прогнозування майбутніх тенденцій.

Результати. Використано багаторічні дані моніторингу, отриманих з Лабораторії моніторингу вод Басейнового управління водних ресурсів річок Приазов'я. Основна увага приділялася оцінці шести ключових показників якості води: фосфатів, амонійних, сульфатних і хлоридних іонів, біохімічного споживання кисню протягом п'яти діб ($БСК_5$) та концентрації розчиненого кисню для оцінки екологічного стану поверхневих вод річки Дніпро в межах Запорізької області, зокрема у районі водозабору питної води (ДВС №1) у верхньому б'єфі Дніпровської ГЕС. Концентрації фосфатів і амонію демонструють періодичні коливання, зумовлені сезонними чинниками та використанням добрив. Рівень сульфатів відзначається високою мінливістю як природного, так і техногенного походження, тоді як концентрації хлоридів залишаються порівняно стабільними. Дані про розчинений кисень і $БСК_5$ свідчать про сезонну динаміку, яка порушується з 2023 року внаслідок руйнування Каховської дамби. Аналіз підтвердив здатність річки до часткового самовідновлення, особливо за умов зниженого антропогенного навантаження в період війни. Для прогнозної оцінки рівнів забруднення та екологічних ризиків було розроблено регресійні моделі.

Висновки. Визначено основні екологічні проблеми річки Дніпро, зокрема органічне й мінеральне забруднення, порушення гідрологічного режиму та зниження рівня кисню. Руйнування гідротехнічної інфраструктури, пов'язане з війною, загострило ці проблеми. Попри це, річка демонструє здатність до природного самовідновлення, особливо завдяки зменшенню навантаження фосфатами та амонієм. Відновлення екологічного балансу потребуватиме системного моніторингу, реконструкції водогосподарської інфраструктури та контролю за джерелами забруднення. Розроблені моделі можуть бути використані для прогнозування та управління якістю поверхневих вод як у мирний час, так і в період повоєнного відновлення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *річка Дніпро, наслідки війни, поверхневі води, екологічний моніторинг, фосфати, амоній, сульфати, хлориди, розчинений кисень, БСК₅, антропогенний вплив, прогнозування*.

Конфлікт інтересів

Дослідження проводилося в рамках проекту 0124U004208 «Еколого-економічна оптимізація логістичної інфраструктури під час війни та повоєнної відбудови України», що реалізується в рамках програми наукових робіт, науково-технічних та інфраструктурних проектів, що фінансуються за рахунок коштів спеціального фонду, отриманих від інструменту зовнішньої допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України в Рамковій програмі Європейського Союзу з досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

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

Список використаної літератури

1. Савчук Д. Екологічні та економічні аспекти функціонування Дніпровських водосховищ. *Екологічний вісник*. 2003. № 5–6. С. 24-26.
2. Пономаренко Р. В., Пляцук Л. Д., Третьяков О. В., Ковальов П. А. Визначення екологічного стану головного джерела водопостачання України. *Техногенно-екологічна безпека.* 2019. № 6(2/2019). С. 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
3. Bezsonnyi V., Tretyakov O., Khalmuradov B., Ponomarenko R. Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies.* 2017. № 5/10(89). P. 32-38. URL: http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5546
4. Mohan D., Sarswat A., Ok Y.S., Pittman Jr. C.U. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent – a critical review. Bioresour. Technol. 2014. 160, P. 191–202. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120
5. Owens P.N., Walling D.E. The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins. Water research, 2002. 36(3), P. 685–701.
6. Yan Z., Wu L., Lv T., Tong C., Gao Z., Liu Y., ... & Yu D. Response of spatio-temporal changes in sediment phosphorus fractions to vegetation restoration in the degraded river-lake ecotone. *Environmental Pollution.* 2022. 308, 119650. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119650
7. Гумницький, Я. М., Сабадаш В.В., Тижбір Г.А. Механізм сорбції іонів амонію природними алюмосилікатами. *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування.* 2011. № 726. с. 308–311.
8. Nguen M. L., Tanner C. C. Ammonium removal from wastewaters using natural New Zealand zeolites. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* 1998. Vol. 41. P. 427–446.
9. Клименко В.Г., Петрова Н.В. Оцінка якості води р. Харків. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2011. 58 с.
10. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут. Київ : Наукова думка, 2007. 456 с.
11. 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. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580216
12. 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. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-3-170-26-34
13. Streeter H. W., Phelps E. B. (1958). A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River. US Public Health Service Bulletin. URL: https://udspace.udel.edu/items/03d5883b-d6e7-4cf6-8a35-e14f9190302f
14. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об’єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту): 30.07.2012. № 471 (зі змінами і доповненнями). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12#Text
15. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об’єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення: наказ Міністерства охорони здоров’я України від 02.05.2022 № 721 (зі змінами і доповненнями). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text

Стаття надійшла до редакції 13.04.2025
Стаття рекомендована до друку 15.05.2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-05
УДК (UDC): 911.5+504

С. П. СОНЬКО, 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
Уманський національний університет,
вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська область, 20305, Україна

І. Д. ЗЕЛЕНЧУК,
аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності
e-mail: zelenchuk.id@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-8517-6617
Уманський національний університет,
вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська область, 20305, Україна

Т. П. НОВІКОВА, канд. с.-г. наук,
доцент кафедри біології та здоров'я людини
e-mail:seminukt@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8177-9698
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,
вул. Садова, 2, м. Умань, Черкаська область, Україна, 20300

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО, ЯК ЧИННИК ДЕСТРУКЦІЇ ПРИРОДНИХ ЛАНДШАФТІВ І ВТРАТИ ПОТЕНЦІАЛУ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ

Мета. Виявлення геопросторових закономірностей деструкції ландшафтів під впливом будівництва швидко-монтованих метало-каркасних об'єктів, кількісна оцінка втрат екосистемних послуг та формулювання рекомендацій із застосування інтегрованого екосистемного підходу й геоінформаційного моніторингу для мінімізації екологічних ризиків при подальшому розвитку інфраструктури.

Методи. Системний аналіз, ретроспективно-оціночний аналіз, лабораторний метод, інженерно-картографічний метод, статистичний метод

Результати. Розглянуто деструкцію ландшафтів під впливом промислового будівництва та логістичних комплексів в умовах швидкої відбудови в різних ландшафтних зонах України. Основна увага зосереджена на дослідженні порушення зв'язків між живими та інертними компонентами ландшафту. Активне будівництво уздовж транспортних коридорів М-06 та М-05 у 50-км зоні Києва призвело до порушення зв'язків між інертними та живими компонентами ландшафту, що проявляється в трансформаціях територій, а саме – агроландшафтів (–1,5 %) і лісових ландшафтів (–0,5 %) та відповідному збільшенні забудованих територій (+30 %). Акцентовано увагу на порушенні структурно-функціональної цілісності ландшафтних комплексів внаслідок урбанізаційного тиску та втрати ландшафтної стабільності. Визначено трансформаційні вектори ландшафтної деструкції, зокрема фрагментацію, редукцію біотичних зв'язків і порушення екосистемної регуляції.

Висновки. Промислове будівництво спричинило одночасну втрату екосистемних послуг (зниження обсягів продовольства й прісної води), регуляційних функцій (послаблення кліматичного й гідрологічного саморегулювання, зростання ерозії), культурних вигод (скорочення рекреаційного, освітнього та естетичного потенціалу) і підтримувальних процесів (порушення ґрунтоутворення й біогеохімічних циклів).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *ландшафт, агроландшафт, лісові, селитебні, промислові, болотні, компоненти, ґрунт, екосистемна послуга, швидко-монтований металевий каркас, будівельно-монтажна робота, GIS.*

Як цитувати: 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. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-05

In cites: Sonko S. P., Zelenchuk I. D., & Novikova T. P. (2025). Industrial construction as a factor in the destruction of natural landscapes and the loss of the ecosystem services potential *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (43), 63-77. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-05 (in Ukrainian)

© Сонько С. П., Зеленчук І. Д., Новікова Т. П., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Вступ

Будь-яка свідома антропогенна трансформація ландшафтів має на меті оптимізацію умов життєдіяльності людей. Однак із ростом населення та інтенсифікацією господарської діяльності до природних систем було введено численні синтетичні речовини й технологічні процеси, які вийшли за межі природної саморегуляції біосфери й призвели до деградації потенціалу екосистемних послуг. Накопичені негативні наслідки урбанізації та промислового освоєння територій потребують системного аналізу та прогнозування з використанням географічних і екологічних підходів [1, 2].

У географічних дослідженнях для класифікації процесів ландшафтної деструкції застосовують покомпонентний принцип, який оцінює вплив на атмосферу, гідросферу, літосферу, рослинний і тваринний світ, і функціональний принцип, що групує деструктивні зміни за характером порушення екосистемних функцій.

Інтенсивне зведення швидко-монтованих будівель (ШМБ) промислових і логістичних об'єктів у 50-км зоні правобережжя Києва вздовж транспортних коридорів М-05 і М-06 призвело до фрагментації агроландшафтів і лісових ландшафтів, порушення просторової структури природно-територіальних комплексів та дезінтеграції енергетичних і біогеохімічних потоків. Ці трансформації знижують провізійний, регуляційний, підтримувальний і культурний потенціал ландшафтів, що вимагає розробки інструментів екологічно збалансованого просторового планування.

Порушення просторових і функціональних зв'язків між компонентами ландшафтного комплексу унаслідок будівельної діяльності є однією з ключових проблем сучасного ландшафтознавства та геоекології. Інженерно-будівельні втручання призводять до структурної перебудови геосистем, змінюючи морфологію рельєфу, гідрологічний режим, ґрунтово-біотичні характеристики та природні міграційні потоки речовини й енергії. Наслідком цих процесів є трансформація природного середовища, деградація ландшафтів і втрата ними потенціалу здійснення екосистемних функцій.

Гостру потребу у вирішенні цієї проблеми зумовило зростання уваги до наукових підходів, спрямованих на дослідження механізмів антропогенної модифікації ландшафтів та розробку методів їхньої рекультивації, реабілітації й адаптивного управління природокористуванням. Актуальність ландшафтного аналізу ландшафтного комплексу є незаперечна з огляду на сучасні тенденції інтенсивного та екстенсивного господарського використання природних ресурсів. Прискорений розвиток будівельної діяльності, пов'язаний із необхідністю розміщення релокованих промислових підприємств та створення логістичних хабів для їхнього функціонування у безпечніших регіонах України забезпечує не лише економічну стабільність у складний час, але й спричинює суттєві трансформації ландшафтних систем. Для такого будівництва відводяться переважно території з високим рівнем сільськогосподарської освоєності, що надалі спричинятиме їхню поступову урбанізацію. Це зумовлює незворотні антропогенні зміни, які порушують структуру ландшафтів, змінюють баланс їхніх геокомпонентів і спричиняють деструкційні зміни компонентів ландшафту [3].

Важливим чинником активізації деструктивних процесів є не стільки саме будівництво, скільки недотримання технологічних норм ведення будівельних робіт, використання екологічно небезпечних матеріалів, а також ігнорування обов'язкових природоохоронних заходів, зокрема озеленення, рекультивації та благоустрою. Непродумана будівельна діяльність сприяє посиленню деструктивних процесів у ландшафтах ступінь і тип яких визначають рівень екологічної шкоди та масштаби порушення взаємозв'язків між інертними та живими компонентами ландшафту. Наслідки деструктивних процесів можуть варіюватися за характером та масштабами, призводячи як до фрагментації ландшафтів, так і до повної деградації природних комплексів та суміжних природно-господарських систем, аж до створення загрози для життя та здоров'я людини. Оцінка втрати потенціалу надання екосистемних послуг ландшафтами, спричинених будівельною діяльністю, здійснюється на основі аналізу рівня деградації та забруднення складових довкілля, а також визначення впливу цих змін на здоров'я населення та умови його проживання.

Ландшафтні екосистемні послуги (ЛЕП) – це нематеріальні вигоди та корисні ресурси, що отримує людина від послуг екосистеми, ландшафтного біорізноманіття, кліматичних або інших ландшафтних чинниках [4]. ЛЕП безпосередньо впливають на якість життя населення через різні категорії

вигод, зокрема: послуги постачання (продовольство, сировина, вода); джерела виробництва енергії; культурні та соціальні послуги; наукові можливості; послуги підтримки екосистем [5].

Сучасні будівельні корпорації поступово усвідомлюють, що реалізація стратегічних цілей і планів будівництва неможлива без дотримання принципів збалансованого природокористування та впровадження екосистемного підходу на всіх етапах ведення БМР. Будівельна діяльність нерідко призводить до втрати низки екосистемних послуг, відновлення або компенсація яких може вартувати значних економічних та соціальних витрат. Сьогодні Україна перебуває на етапі стратегічного планування майбутньої післявоєнної відбудови, що охоплюватиме відновлення зруйнованих промислових підприємств, логістичних вузлів й суміжної інфраструктури. Одним із ключових викликів цього процесу є умова дотримання екосистемних принципів і використання екологічно дружніх технологій. Екосистемні послуги лежать в основі збалансованого розвитку, тому їхня цінність надзвичайно велика. На сучасному етапі обов'язковою умовою послідовного розвитку України є та концепція розвитку, що забезпечує задоволення потреб нинішнього покоління без зниження спроможності майбутніх поколінь забезпечувати власні потреби.

Оцінка глибини антропогенних змін ландшафтних систем з метою оцінки їхнього геоекологічного, геофізичного, господарського та економічного стану територій є пріоритетним напрямом сучасних фізико-географічних досліджень. Існуючі дослідження щодо мінливості ландшафтів, оцінки антропогенного впливу на них, трансформації та деградації, попри їхній широкий розвиток, потребують постійного вдосконалення та системного підходу [6].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення швидкого відновлення зруйнованих бойовими діями виробничих будівель, логістичних та складських комплексів з урахуванням принципів екологічної безпеки та сталого просторового розвитку. Реалізація таких будівельних процесів можлива завдяки використанню сучасних інженерно-будівель-них рішень, зокрема технологій ШМБ промислових та виробничих об'єктів на основі металевих або залізобетонних каркасів високого ступеня заводської готовності. Таким чином, індустріальне відновлення територій на основі інноваційних будівельних технологій має ґрунтуватися на системному врахуванні екологічних ризиків, передбачати всебічну оцінку антропогенного навантаження на компоненти ландшафту та сприяти поєднанню виробничої доцільності з охороною природного середовища.

Дослідження спрямоване на виявлення геопросторових закономірностей деструкції ландшафтного комплексу під впливом будівництва швидкомонтованих метлокаркасних об'єктів, кількісна оцінка втрат екосистемних послуг та формулювання рекомендацій із застосування інтегрованого екосистемного підходу й геоінформаційного моніторингу для мінімізації екологічних ризиків при подальшому розвитку інфраструктури. Для цього виконано аналіз динаміки землекористування за даними дистанційного зондування, GIS-моделювання та багатокритеріальної оцінки антропогенного навантаження на ландшафтні системи.

Мета роботи – проаналізувати вплив будівництва промислових будівель з використанням швидко-монтованих металокаркасів (ШМК) на деструкцію ландшафтів, оцінити рівень втрати екосистемних послуг шляхом визначення ступеня порушення зв'язків між інертними компонентами ландшафту внаслідок такого будівництва.

Методологія, об'єкти та методи дослідження

Сучасні ландшафтознавчі дослідження охоплюють не лише аналіз морфологічної будови та різноманіття ландшафтів, а й прогнозування їхньої динаміки під впливом природних і антропогенних чинників [7]. Одним із найбільш поширених проявів антропогенізації природних ландшафтів є їх модифікація внаслідок будівельної діяльності. Технологічні етапи будівництва об'єктів виробничої та складської інфраструктури є стимулюючими факторами розвитку деструкції територіальних комплексів, на яких здійснюється таке будівництво. Навіть на ранніх етапах будівництва, таких як зняття родючого шару ґрунту або закладання фундаменту, ініціюється каскад деструктивних процесів, що спричиняють трансформацію або руйнування геокомпонентів. Внаслідок інженерного втручання активізуються ерозійні процеси, зокрема посилюється водна та

вітрова ерозія ґрунтів, що в свою чергу призводить до дефляції та денудації певних компонентів ландшафту. Подальша взаємодія ендогенних і екзогенних рельєфотвірних чинників техногенного та природного генезису створює передумови для прогресуючої деградації ландшафтів [8], що супроводжується порушенням функціональних взаємозв'язків між компонентами ландшафту та, відповідно, втратою потенціалу їх екосистемних послуг.

Теоретичні передумови концепції послідовного розвитку людства було закладено ще В. І. Вернадським у вченні про ноосферу, згідно якого подальший розвиток людства пов'язується з вирішальним впливом колективного розуму на виробничу та інші види діяльності, що здійснюють зміни в навколишньому середовищі та умовах існування.

Питання дослідження та оцінювання екосистемних послуг в Україні становлять відносно новий науковий напрям, що перебуває на початковому етапі розвитку. У межах цього напряму поступово формується коло українських науковців, зацікавлених у його подальшому теоретичному обґрунтуванні та практичному застосуванні. Окремі аспекти, зокрема вивчення і впровадження відновлюваних джерел енергії, набувають особливої актуальності в умовах значних втрат традиційних генеруючих потужностей енергетичної інфраструктури, спричинених тривалими воєнними діями.

Дослідження деструктивних змін у ландшафтах потребує чіткого розуміння термінів, тому доцільно розпочати з аналізу наукових підходів і визначень, що розкривають сутність деструктивних процесів і явищ у антропогенно змінених ландшафтах.

Деструкція (від лат. destructio – руйнування) – це процес порушення чи руйнування структури чого-небудь. Як правило деструкція відбувається під дією фізичних, механічних, хімічних або біологічних факторів [9]. При деструкції можуть одночасно діяти кілька факторів, зокрема найбільш поширеною є одночасна дія фізичних та хімічних факторів.

Деструкція є одним із центральних понять фундаментальної онтології Мартіна Гайдеґґера та використовується у противагу методу феноменологічної редукції (лат. reductio — повернення, відновлення), яка полягає у спрощенні явищ аж до втрати їхніх ознак, властивостей або об'єктів. Деструкція у Гайдеґґера охоплює три взаємопов'язані операції: редукцію, конструкцію буття та деструкцію традиції, виступаючи необхідним корелятом редуктивної конструкції [10]. У ландшафтознавстві деструкція трактується як порушення структури й стійкості ландшафтних систем під впливом природних або антропогенних чинників [6]. Термін «деструкційне забруднення», який інколи трапляється у фаховій літературі, є некоректним; натомість доцільно використовувати поняття «деструктивна трансформація», що охоплює кар'єрне розроблення корисних копалин, урбанізацію, будівництво доріг, порушення водостоку, ерозію ґрунтів та інші процеси антропогенної зміни ПТК.

У межах даного дослідження запропоновано визначення терміну «деструкція ландшафтів». Під деструкцією ландшафтів або ландшафтних систем розуміють сукупність процесів, що призводять до порушення або руйнування їхньої просторової структури та функціональних взаємозв'язків між окремими компонентами, а також із суміжними геосистемами. Однак, у результаті деструкції може зберігатися частина непорушених зв'язків між окремими елементами [10].

Також слід дати визначення ландшафтній системі – це складна інтегральна сукупність взаємопов'язаних природних комплексів, що утворюють єдину територіальну систему, яка є однорідною за природними умовами зі специфічною структурою і властивостями [11].

Для коректного аналізу результатів даного дослідження необхідним є уточнення наступних визначень: *дегресуюча деструкція ландшафту* – це показник зменшення, погіршення, редукції чи перетворення одних ландшафтних систем в інші спричинений зовнішніми або внутрішніми чинниками. *Регресуюча деструкція* – це показник неминучих еволюційних трансформацій за яких відбувається збільшення одного виду територій за рахунок неминучого скорочення окремих видів територій або компонентів ландшафту, зокрема ґрунтового покриву, ареалів проживання, популяцій видів, елементів біоценозу, тощо.

Теоретичною базою цього дослідження слугували наукові праці провідних українських географів та ландшафтознавців. Зокрема, варто виокремити доробок у сфері дослідження антропогенних ландшафтів відомого вченого-ландшафтознавця Дениси-

ка Г. І., чиї праці присвячені значимості антропогенних осередків, як індикаторів сучасного екологічного дестабілізованого середовища [12], а також вивчення проблемних аспектів прогнозування розвитку антропогенних ландшафтів в Україні та значенню антропогенного ландшафтознавства у проектуванні ландшафтів майбутнього [13].

Базою для виконання розрахункових обґрунтувань антропогенної деструкції ландшафтів слугував фундаментальний методичний доробок [6].

Особливо важливими у контексті даного дослідження є праці, що становлять теоретичну основу даної статті, а саме – дослідження з аналізу та структурування ландшафтних компонентів [14], а також дослідження впливу будівництва промислових об'єктів на ландшафтні системи [3]. У даній роботі розглядається вплив будівельної діяльності на деструкційні процеси компонентів ландшафту, з використанням сучасних методик оцінки вразливості ландшафтів та вивчення змін інертних компонентів у результаті виконання БМР [15, 16]. Спираючись на результати вищенаведених досліджень, в цій роботі запропоновано термін «Оцінка величини деструкції ландшафту».

Також в цьому досліджені використані програмні засади European Landscape Convention (ELC) і результати теоретичних досліджень і публікацій зарубіжних авторів, що спеціалізуються на дослідженнях впливу на ландшафти та їхні компоненти [17 – 19].

Методологічною основою дослідження є поєднання статистичного та порівняльно-географічного аналізу, аналізу і синтезу результатів математичних розрахунків, методу співставлення та порівняння, ретроспективно-оціночний аналіз, лабораторний метод, порівняльно-географічний метод, інженерно-картографічний метод, статистичний метод. Джерельну базу для дослідних розрахунків становили статистичні звіти земельного фонду місцевих громад, результати досліджень інженерно-геодезичних, інженерно-геологічних та гідрологічних умов будівельних майданчиків, а також лабораторні аналізи проб ґрунтів, відібраних до та після виконання будівельно-монтажних робіт.

Теоретичною основою для дослідження екосистемних послуг слугували методичні рекомендації щодо оцінки вартості послуг екосистем [20], огляд послуг [21] та дані аналізу міжнародних і вітчизняних концепції з оцінки екосистемних послуг [22].

Загальна міжнародна класифікація екосистемних послуг (CICES), дані якої широко використовується для картографування, оцінки та обліку екосистем і природного капіталу [23].

Наразі існує кілька теоретичних підходів до визначення сутності екосистемних послуг, кожен з яких орієнтований на конкретні цільові групи. За результатами даного дослідження було уточнено визначення «екосистемні послуги». *Екосистемні послуги* – це вигоди, які люди отримують від екосистем через їхні природні функції, що забезпечують умови для життя, регулюють навколишнє середовище та підтримують виробничу діяльність.

Результати дослідження та обговорення

Функціонування антропогенно змінених ландшафтних комплексів або окремих ділянок будівництва неминуче супроводжується деструкційними процесами, що спричинюють порушення просторових і функціональних зв'язків між інертними, мобільними та активними компонентами ландшафту. Навіть використання сучасних будівельних технологій, зокрема будівництво швидкомонтованих будівель, за умови дотримання високих екологічних стандартів будівництва супроводжується хоч і незначними але, все-таки змінами натуральних компонентів ландшафту – літогенної основи, повітряних мас, водних мас, ґрунтів, біоти. Будь-яка будівельна діяльність, так чи інакше, супроводжується порушенням рельєфу та ґрунтового покриву, викидами в атмосферу внаслідок роботи будівельної техніки й механізмів, впливом на водне середовище чи гідрологічний режим. У сукупності ці фактори зумовлюють стійке порушення взаємозв'язків між компонентами ландшафту, що, у свою чергу, призводить до втрати екосистемних послуг ландшафтів різного рангу.

Ландшафт складається з компонентів, які поділяються на природні (основні, або географічні) та специфічні. До природних географічних компонентів ландшафту належать вода, повітря, гірські породи, ґрунти та живі організми. Специфічними компонентами ландшафту є клімат і рельєф, (рис. 1). З урахуванням функціональної ролі

в геосистемі ландшафтознавиця А. В. П'яткова розподіляє компоненти ландшафту на три групи [14]:

- *інертні* – мінеральна частина та рельєф, які становлять фіксовану основу геосистеми;
- *мобільні* – повітряні й водні маси, що виконують транзитні та обмінні функції;
- *активні* – біота, яка забезпечує саморегуляцію, відновлення та стабілізацію геосистеми.

Структура ландшафту певної території являє собою складну систему, що охоплює різнорангові ландшафтні комплекси. Відомості про ландшафти та їх просторову диференціацію є визначальними для розроблення ландшафтного районування.

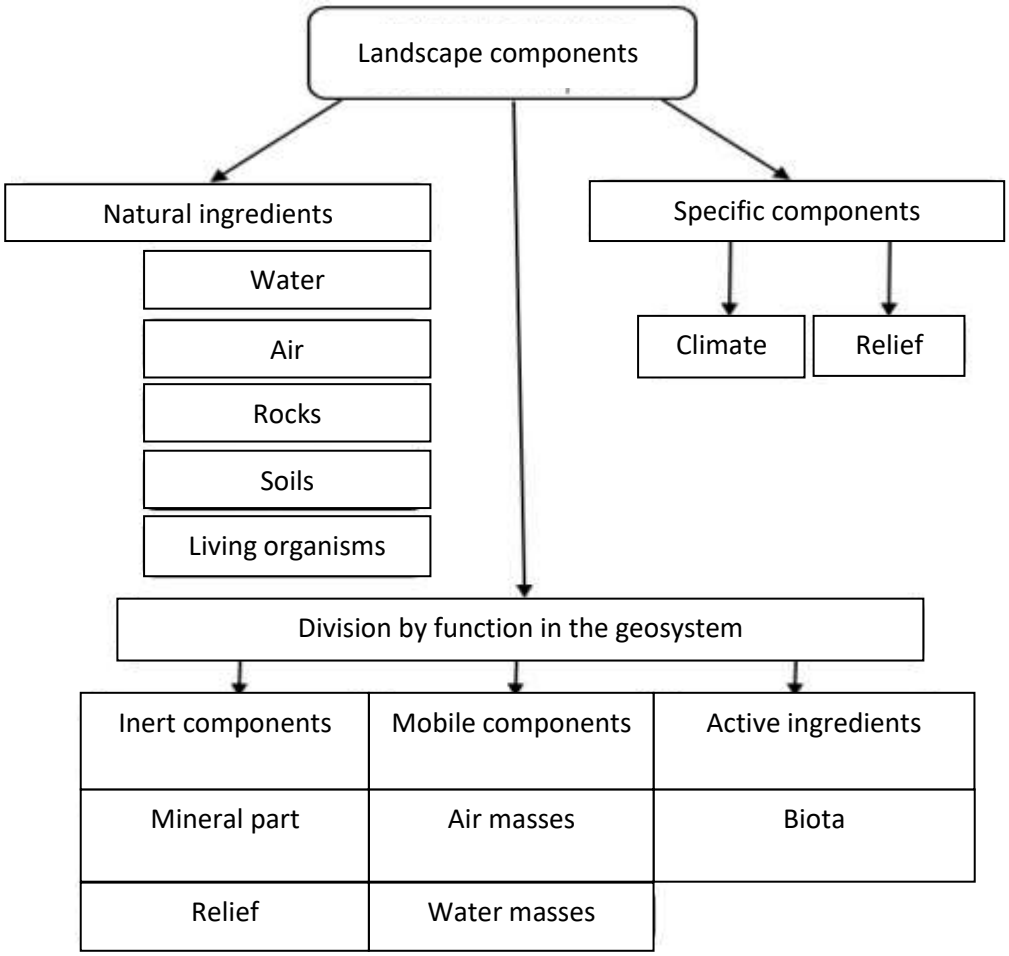


Рис. 1 – Структурно-функціональна класифікація компонентів ландшафту за генезисом і функціональною роллю в геосистемі

Fig. 1 – Structural and functional classification of landscape components by genesis and functional role in the geosystem

Результати такого районування слугують науковим підґрунтям для впровадження ландшафтно-планувальних заходів. Методологічна основа ландшафтного районування передбачає комплексне врахування морфологічної структури ландшафтів, їх генезису, просторових взаємозв'язків між компонентами, а також чинників природної диференціації. В ландшафтних дослідженнях географи та ландшафтознавці для аналізу порушень використовують різні підходи, зокрема покомпонентний принцип, який враховує вплив діяльності на окремі компоненти ландшафту, такі як ґрунти, води, атмосферу, рослинність і тваринний світ. На практиці покомпонентний принцип часто поєднують із функціональним підходом, який систематизує порушення за однорідністю змін, спричинених господарською діяльністю людини.

Для аналізу деструкції ландшафтних систем, в даному дослідженні обрані ландшафти на яких виконувалась найбільш активна промислова та логістична забудова в

період з 2000 - 2025 р. р., а саме в 50-ти кілометровій зоні правобережної частини м. Києва вздовж міжнародних транспортних коридорів, М-06 Київ-Чоп та М-05 Київ-Одеса.

Дослідження проводились за трьома основними видами господарського використання територій, що характерні для ландшафтних районів мішанолісової зони Київського Полісся, зокрема: сільськогосподарські; лісовкриті і забудовані території. Для дослідження деструкції прилеглих ландшафтів вздовж доріг міжнародного значення, М-06 Київ-Чоп та М-05 Київ-Одеса, опрацьовувались наступні матеріали:

1. Інтерактивна ландшафтна карта Київської області;
2. Топографічна карта (рис. 2.) масштабу 1:100 000 (2000 р.);
3. Топографічна карта масштабу 1: 100 000 (2022р.);
4. План сучасного використання території Київської області 2022 рік (рис. 3).

Для розрахунку показника деструкції вихідними даними слугували – звітні відомості про структуру земельного фонду Державної служби статистики України, зокрема звіти за формами 6-зем. та 6б-зем. З метою повноти розрахунків у межах даного дослідження було проаналізовано розподіл земельного фонду Київської області за цільовим призначенням та співвіднесено його з типами ландшафтів (табл. 1) в період з 2000 по 2025 рік.

До початку обчислень показників деструкції було виконано аналіз картографічних матеріалів за вказаний період та проведено картографування сучасного стану ландшафтів і територій зазначених в таблиці 1, а також притаманних їм біоценозів за допомогою інструментів GIS. Також було обраховано площу виявлених змін або трансформацій кожного типу територій. Створена карта буде необхідною у подальших дослідженнях для визначення просторових меж зон відновлення чи втрати зв'язків між компонентами ландшафту, а також для оцінки дії кожної з екосистемних послуг і кількості людей, яким надаються такі послуги.

Обчислення коефіцієнту деструкції доцільніше виконувати в межах окремо взятої фації, урочища або місцевості. Але у зв'язку з відсутністю статистичних відомостей за окремими природно-територіальними комплексами (ПТК), було проаналізовано більші за площею території і отримані результати інтерпольовано на окремі ландшафтні місцевості.

Рис. 2 – Фрагмент топографічної карти доріг міжнародного значення М-06 Київ-Чоп та М-05 Київ-Одеса в Київській області 2000р.

Fig. 2 – Fragment of the topographic map of the international roads M-06 Kyiv-Chop and M-05 Kyiv-Odesa in the Kyiv region in 2000

Рис. 3 – Фрагмент плану сучасного використання території Київської області [24]

Fig. 3 – A fragment of the plan for the modern use of the territory of the Kyiv region [24].

Таблиця 1

Структура розподілу земельного фонду Київської області*

Table 1

Structure of the land fund distribution in Kyiv region*

№	Види територій по яких виконується розрахунковий аналіз/ Types of territories for which the calculation analysis is performed	Площа земель по роках/ Land area by year							
		2000		2010		2020		2021	
		тис. га thousand hectares	% площі області % area of the region	тис. га thousand hectares	% площі області % area of the region	тис. га thousand hectares	% площі області % area of the region	тис. га thousand hectares	% площі області % area of the region
1.	Агроландшафти/ Agricultural areas	1676,0	59,6	1663,4	58.3	1658,5	58,9	1658,9	58,9
2.	Лісові ландшафти/ Forested areas	651,0	24,8	650,1	24,4	648,7	23,03	648,7	23,03
3.	Селітебні та промислові ландшафти/ Built-up areas	113,6	4,0	128,5	4,4	137,4	4,9	137,4	4,9
4.	Болотні ландшафти/ Open wetlands	49,4	1,8	49,5	1,8	49,8	1,83	49,8	1,83

*Розраховано за даними [25].
*Calculated based on data [25].

В розрахунковому аналізі, загальну площу окремо досліджуваної території, розділено за функціональними ознаками:

$$\sum_{зпт} = \sum_{ст} + \sum_{лт} + \sum_{зт} \quad (1)$$

Де: $\sum_{ст}$ – агроландшафти (га);
$\sum_{лт}$ – лісові ландшафти (га);
$\sum_{зт}$ – селитебні та промислові ландшафти (га);
$\sum_{зпт}$ – загальна площа досліджуваної території.

Розрахунковий аналіз згідно формули 1 дає можливість зафіксувати структуру ландшафту окремо взятої території на певний період часу. Детальне дослідження та вивчення деструктивних процесів ландшафтів не можливе без часово-просторового аналізу, розрахунків їх співставлення і порівняння. Саме тому, результати даних аналітичних розрахунків стану ландшафтів порівнюється із його минулими станами завдяки архівним даним та відомостям.

$$S_д = \sum_{ст2000} - \sum_{ст2025} \quad (2)$$

Де: $\sum_{ст2000}$ – агроландшафти станом на 2005 рік в га;
$\sum_{ст2025}$ – сьогоднішній стан агрол андшафтів в га;
$S_д$ – результуюче значення показника деструкції.

Якщо результуюче значення мінусове або плюсове, то на території дослідження відбувались дегресуючі або регресуючі деструкційні процеси, відповідно.

Саме тому запропонований математичний розрахунок дозволяє вираховувати площинну деструкцію для окремо взятого компоненту ландшафту. Аналогічно виконано обчислення деструкційних показників і за іншими природними компонентами [12]:

$$S_{д+} = \sum_{лт2000} - \sum_{лт2025} – \textit{дегресуюча деструкція} \quad (3)$$

$$S_{д-} = \sum_{зт2000} - \sum_{зт2025} – \textit{регресуюча деструкція} \quad (4)$$

Показник загальної деструкції D визначається за формулою 5:

$$D=(S_{д(+)}+S_{д(-)}) – \textit{загальна деструкція} \quad (5)$$

Отже, на підставі відповідних розрахунків можна визначити загальну величину деструкції ландшафту або окремого фрагмента території. Значення деструкції $S_д$ відображає площу перетворюваності певного ландшафту або окремих його компонентів за визначений період часу. Дегресуюча →деструкція → відповідає показникам, що характеризують зменшення, редукцію чи перетворення одних ландшафтних систем в інші. Зокрема, йдеться про невпинне зменшення площ агроландшафтів і лісових ландшафтів та перетворення їх в забудовані

території що і є відображенням дегресуючої деструкції ландшафту (рис. 4). До регресуючої деструкції відносяться забудовані території, які постійно збільшуються найбільше за рахунок вирубування дерев.

З урахуванням динаміки розподілення площ найбільших категорій землекористування Київської області за останній 21 рік (табл. 1) проаналізовано динаміку деструкції компонентів ландшафту. Порівняльні результати розрахунків деструкції відображені в зведеній в діаграмі рис. 4.

Як бачимо з отриманих результатів деструкція притаманна усім типам ландша фтів, що розглядались в даному дослідженні. Дегресуюча деструкція спостерігається для агроландшафтів та лісових ландшафтів. Регресуюча деструкція відбувається на забудованих територіях та в незначній мірі на болотних ландшафтах, що пов'язано з невпинним відведенням під будівництво сільськогосподарських угідь. Регресуюча деструкція є найбільш вираженою вздовж міжнародних транспортних коридорів, М-06 Київ-Чоп та М-05 Київ-Одеса в 50-ти кілометровій зоні від границь м. Києва.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що процеси деструкції є характерними для всіх типів ландшафтів, розглянутих у межах даного дослідження.

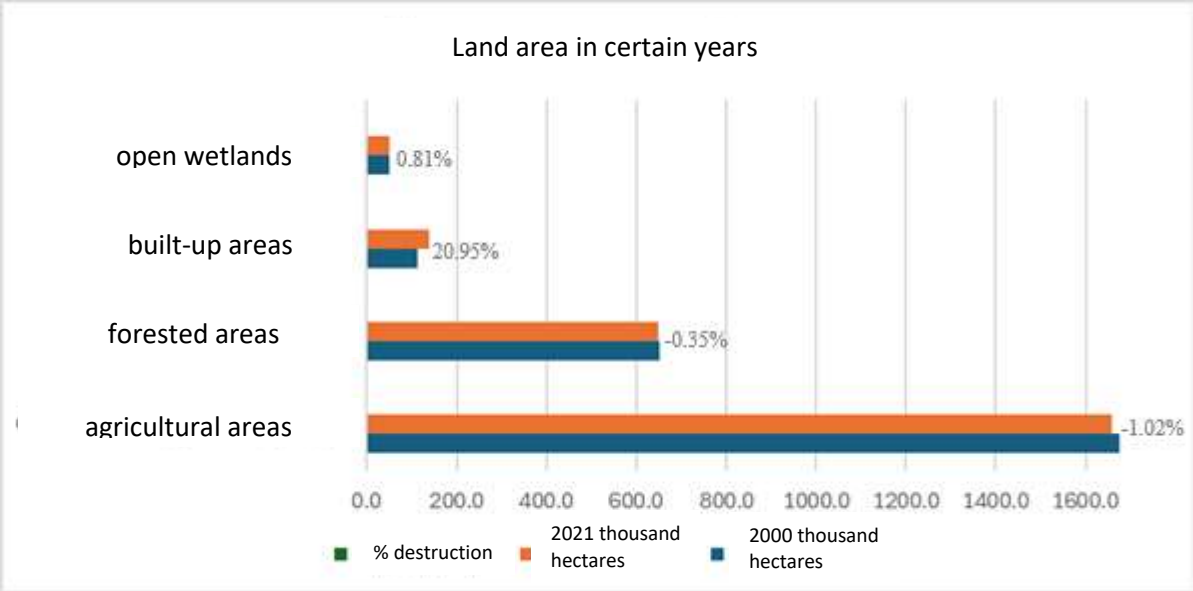


Рис. 4 – Зведені відсоткові показники деструкції в період з 2000 - 2021 роки
Fig. 4 – Summary percentage of destruction in the period from 2000 - 2021

Дегресуюча деструкція спостерігається переважно у межах агроландшафтів та лісових ландшафтів, що зумовлено їх трансформацією внаслідок антропогенного впливу. Регресуюча деструкція проявляється на забудованих територіях (селитебні і промислові ландшафти), а також у незначному ступені на болотних ландшафтах, що пов'язано з постійним вилученням земель під будівництво з фонду сільськогосподарських угідь.

Керуючись міжнародною класифікацією послуг екосистем [24] в рамках даного дослідження запропоновано уніфіковану функціональну класифікацію абіотичних та біотичних ЕП, таблиця 2.

Для визначення рівня втрати екосистемних послуг в рамках цього дослідження виконувалось картографування сучасного стану ландшафтів і біоценозів територій зазначених в таблиці 1, вздовж міжнародних транспортних коридорів, М-06 Київ-Чоп та М-05 Київ-Одеса в 50-ти кілометровій зоні від границь м. Києва за допомогою інструментів GIS. Також обраховано площу виявлених змін або трансформацій кожного типу територій. Картографічний аналіз виконувався максимально наближено до методики ЄС для побудови карти екосистем Corine Land Cover (CLC). За результатами картографічного аналізу та з використанням методу співставлення в даній роботі структуровано перелік екосистем досліджуваних територій вартість яких можна оцінити монетарно, таблиця 3.

Таблиця 2

Уніфікована функціональна класифікація абіотичних та біотичних ЕП

Table 2

Unified functional classification of abiotic and biotic ES

Категорія ЕП/ Category of ES	**Клас/ Class**	**Група/ Group**
Забезпечувальні/ Provisioning	Біомаса /Biomass	Дикі або культивовані рослини і тварини для харчування, матеріалів та енергії / Wild or cultivated plants and animals for food, materials, and energy
	Прісна вода / Fresh water	Поверхневі і підземні води для пиття, побутових і господарських потреб / Surface and groundwater for drinking, domestic and economic needs
	Генетичні ресурси / Genetic resources	Насіння, гамети, ДНК, що використовуються в сільському господарстві та біотехнологіях / Seeds, gametes, DNA used in agriculture and biotechnology
Регулювальні та обслуговуючі/ Regulation & Maintenance	Регулювання клімату / Climate regulation	Посередництво газових потоків, вплив на мікроклімат і глобальне потепління / Mediation of gas flows, impact on microclimate and global warming
	Регулювання гідрологічних процесів / Regulation of hydrological processes	Захист від повеней, ерозії, стабілізація ґрунту, утримання вологи / Flood and erosion protection, soil stabilization, moisture retention
	Біологічна регуляція / Biological regulation	Контроль шкідників, оселищ, запилення, контроль хвороб / Pest, habitat, pollination, disease control
	Очистка середовища / Cleaning the serum	Фільтрація повітря, очищення води, утилізація/перетворення відходів / Air filtration, water purification, waste disposal/recycling
Культурні/Cultural	Фізична та інтелектуальна взаємодія з природою / Physical and intellectual interaction with nature	Рекреація, туризм, естетичне сприйняття, екологічна освіта, наука / Recreation, tourism, aesthetic perception, environmental education, science
	Духовні та символічні цінності / Spiritual and symbolic values	Релігійні місця, культурні ландшафти, традиції, ідентичність / Religious places, cultural landscapes, traditions, identity
Підтримувальні*/Supporting	-	Фотосинтез, біогеохімічні цикли, ґрунтоутворення, підтримка середовища існування (враховуються опосередковано через інші категорії) / Photosynthesis, biogeochemical cycles, soil formation, habitat maintenance (accounted for indirectly through other categories)

*CICES V5.1 не виділяє підтримувальні послуги як окрему категорію, вважаючи їх фундаментальними процесами, що лежать в основі регулювальних і забезпечувальних ЕП.
*CICES V5.1 does not distinguish support services as a separate category, considering them to be fundamental processes underlying regulatory and provisioning ES.

Таблиця 3

Екосистемні послуги досліджуваних територій вартість яких можна оцінити монетарно

Table 3

Ecosystem services of the studied territories, the value of which can be estimated monetarily

Категорія ЕП/ Category of ES	**Клас/ Class**	**Тип послуги/ Type of service**	**Оцінювальні одиниці/ Evaluation units**
Агроландшафти / Agricultural landscapes			
Забезпечувальні/ Provisioning	Культурні рослини для харчування, матеріалів або енергії / Cultivated plants for food, materials or energy	Обсяги зібраних врожаїв / Volumes of harvested crops	Обсяги виробництва зернових, бобових та інших культур з обрахунку на 1 га / Production volumes of grains, legumes and other crops per 1 ha
	Вирощені тварини для харчування, матеріалів та енергії / Raised animals for food, materials and energy	Чисельність поголів'я великої та дрібної рогатої худоби за рік / Number of cattle and small cattle per year	Обсяги м’яса, молока, шкур, інших тваринних продуктів, які заготовлюються на 1 га / Volumes of meat and milk, skins, other animal products harvested per 1 ha
Регулювальні та обслуговуючі/ Regulation & Maintenance	Регулювання фізико-хімічних та біологічних умов / Regulation of physical, chemical and biological conditions	Контроль швидкості усіх типів ерозії та деградації ґрунту / Controlling the rate of all types of soil erosion and degradation	Обсяги визначаються через розрахунок втрат в т. ч. вимивання ґрунтового покрову на 1 га / The volumes are determined by calculating losses, including soil leaching per 1 ha
Культурні/ Cultural	Використання середовища для спорту та відпочинку. Спостереження за рослинами, тваринами / Use of the environment for sports and recreation. Observation of plants and animals	Піший та вело туризм / Hiking and cycling	Річна кількість туристів у співвідношення до конкретного об’єкту / Annual number of tourists in relation to a specific object
Лісові ландшафти / Forest landscapes			
Забезпечувальні/ Provisioning	Дикі рослини для харчування, матеріалів або енергії / Wild plants for food, materials or energy	Обсяг заготівлі деревини, збору ягід та грибів / Volume of timber harvesting, berry and mushroom picking	Обсяги промислової заготівлі ягід та грибів, з розрахунку на 1 га. Звідні дані по лісгоспах / Volumes of commercial harvesting of berries and mushrooms, per 1 ha. Summary data by forestry enterprises
	Дикі тварини для харчування, матеріалів та енергії / Wild animals for food, materials and energy	Звітні дані лісгоспів, місцевих громад, щодо чисельності диких тварин / Reporting data from forestry enterprises and local communities on the number of wild animals	Кількість ліцензій та вартість ліцензій, з розрахунку на 1 га / Number of licenses and cost of licenses per 1 ha
Регулювальні та обслуговуючі/ Regulation & Maintenance	Регулювання фізико-хімічних та біологічних умов / Regulation of physical, chemical and biological conditions	Контроль усіх типів ерозії ґрунту. Здатність рослин утримувати воду/ Control of all types of soil erosion. The ability of plants to retain water	Обсяги визначаються через розрахунок втрат в т. ч. вимивання ґрунтового покрову на 1 га / The volumes are determined by calculating losses, including soil leaching per 1 ha
Культурні/ Cultural	Використання середовища для спорту та відпочинку та оздоровленню / Use of the environment for sports and recreation and health improvement	Піший та вело туризм. Спостереження за рослинами і тваринами / Hiking and cycling. Observation of plants and animals	Річна кількість туристів, відвідувачів у співвідношення до конкретного об’єкту / Annual number of tourists, visitors in relation to a specific object

Висновки

За проміжок часу, що досліджено (21 рік), ландшафти та території зазнали як дегресуючої, так і регресуючої деструкції; зокрема, значна частина територіальних комплексів піддавалась радикальним змінам і перетворенням в результаті активного зведення в основному промислових та логістичних комплексів.

Активне будівництво уздовж транспортних коридорів М-06 та М-05 у 50-км зоні Києва призвело до порушення зв'язків між інертними та живими компонентами ландшафту, що проявляється в трансформаціях територій, а саме – агроландшафтів (–1,5 %) і лісових ландшафтів (–0,5 %) та відповідному збільшенні селитебних і промислових ландшафтів (+30 %). Це спричинило одночасну втрату екосистемних послуг (зниження обсягів продовольства й прісної води), регуляційних функцій (послаблення кліматичного й гідрологічного саморегулювання, зростання ерозії), культурних вигод (скорочення рекреаційного, освітнього та естетичного потенціалу) і підтримувальних процесів (порушення ґрунтоутворення й біогеохімічних циклів).

Ігнорування робіт з рекультивації та екологічних норм підсилює деградацію компонентів екосистеми й вимагає невідкладного впровадження екосистемного підходу, використанням зелених технологій і посиленого GIS-моніторингу в процесі післявоєнної відбудови для забезпечення сталого розвитку та відновлення екосистеми.

Конфлікт інтересів

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

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Список використаної літератури

1. Гродзинський М.Д. Ландшафтна географія: стара назва нової науки чи відродження майже забутого? *Український географічний журнал*. 2017 № 2. С. 59-64. DOI: https://doi.org/10.15407/ugz2017.02.059
2. Klieshch A., Maksymenko N. Positional-dynamic territorial structure of the urban landscape. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2020. Vol. 29 № 3, P. 539-549. https://doi.org/10.15421/112049
3. Сонько С. П., Зеленчук І. Д. Вплив будівництва на ландшафти лісостепової зони України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2024. Вип. 42. С.24-34. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-02
4. Максименко Н. В. Ландшафтно-екологічне планування, як підґрунтя управлінських рішень про надання екосистемних послуг. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Геологія. Географія. Екологія.* 2016. Вип. 45. С. 153–158. URL: https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8192
5. Корогода, Н., Купач, Т., Ковтонюк, О. Типізація зелених зон міста в оцінці культурних екосистемних послуг (на прикладі міста Києва). *Економічна та соціальна географія,* 2024. Т. 91. С. 30–40. DOI: https://doi.org/10.17721/2413-7154/2024.91.30-40
6. Монастирський В. Р. Методичні підходи до вивчення антропогенної деструкції ландшафтів. *Фізична географія та геоморфологія*. 2009. Вип. 55. С. 81–87.
7. Глухота, В., Шевчук, С. Геопросторовий аналіз урболандшафтів міста Полтави. *Економічна та соціальна географія*. 2023. Т. 89. С. 21–30. DOI: https://doi.org/10.17721/2413-7154/2023.89.21-30
8. Сіренко І. М., Л.Л. Рудковський Методичні поради з курсу «Ендогенні і екзогенні рельєфотвірні процеси». Львів: *Лабораторія тематичного картографування; Малий видавничий центр географічного факультету*, 2012. 36с.
9. Корнієнко О. М. Деструкція. *Енциклопедія Сучасної України. Т. 7. /*редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України. 2007. URL: https://esu.com.ua/pdf/file/26324.pdf
10. Іванов Є. А., Ковальчук І. П. Деструкція гірничопромислових ландшафтів. *Journal of Education, Health and Sport.* 2016. Vol. 6. № 5. P.369-392. DOI: http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.53161
11. Койнова І. Б. Антропогенна трансформація ландшафтних систем західної частини Волинського Полісся: автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.11 . Львів. держ. ун-т ім. І. Франка. Львів, 1999. 19 с.
12. Денисик Г., Война І., Денисик Б. Антропогенні осередки, як індикатори екологічного стану навколишнього середовища. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету іме-*

ні Володимира Гнатюка. Сер. Географія. Тернопіль: Тайп, 2023. № 2 (55). С. 65-71. DOI: https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.2.8
13. Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство – основа майбутнього ландшафтознавства України. *Розвиток антропогенного ландшафтознавства у XXI сторіччі: матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. м. Вінниця,* (26-27 травня), 2021. С. 3–7. URL: https://vspu.edu.ua/science/art/a209.pdf
14. П'яткова А., Роскос Н., Ландшафтознавство: прикладні аспекти. *Навчально-методичний посібник.* Одеса: ОНУ імені І. І. Мечникова, 2020. 122. URL: https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/dcd2efc8-88e6-479a-96fb-f0d4c4063323/content
15. 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. DOI: https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-04
16. Pavlickova, K., & Vyskupova, M., A method proposal for cumulative environmental impact assessment based on the landscape vulnerability evaluation. *Environmental Impact Assessment Review.* 2015. Vol.50. P.74–84. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.08.011
17. Niţă, A., Buttler, A., Rozylowicz, L., Pătru-Stupariu I. Perception and use of landscape concepts in the procedure of Environmental Impact Assessment: Case study – Switzerland and Romania *Land use policy* 2005. Vol. 44. P. 145–152. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.12.006
18. Izakovičová Z, Petrovič F, Pauditšová E. The Impacts of Urbanisation on Landscape and Environment: The Case of Slovakia. *Sustainability*. 2022; Vol. 14. N 1. P. 60. DOI: https://doi.org/10.3390/su14010060
19. Shubing Dai & Yulei Ma & Kuandi Zhang, Land Degradation Caused by Construction Activity: Investigation, Cause and Control Measures. IJERPH, 2022. Vol. 19. N 23. P. 1-14. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph192316046
20. Станкевич-Волосянчук О., Тимченко І., Савченко С. Методичні рекомендації щодо оцінки вартості послуг екосистем. 2023. 46 с. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28724.63365
21. Василюк О., Ільмінська Л. Екосистемні послуги. Огляд. Видано БО «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України» в рамках програми інвентаризації біорізноманіття Ржищівської міської об'єднаної територіальної громади, 2020. 84 с. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslugy_web_new.pdf
22. Архипова Л. М., Приходько М. М. Екосистемні послуги – аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду концепції. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування.* 2019. №2. С. 24-32. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2019_2_5
23. Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 5.1). URL: https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf
24. Схема планування території Київської області, ДП «УКРНДПІЦИВІЛЬБУД» URL: https://kievvlast.com.ua/project/resources/attachments/nkTT3fes.pdf
25. Звітні дані Державної служби статистики України в Київській області: форма 6-зем. Державної звітності URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/oper_new.html

Стаття надійшла до редакції 07.04.2025
Стаття рекомендована до друку 15.05.2025

S. P. SONKO, 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
Uman National University,
1, Instytutska Str., Uman, Cherkasy Region, 20305, Ukraine

I. D. ZELENCHUK,
Postgraduate Student of the Department of Ecology and Life Safety
e-mail: zelenchuk.id@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-8517-6617
Uman National University,
1, Instytutska Str., Uman, Cherkasy Region, 20305, Ukraine

T. P. NOVIKOVA, PhD (Agriculture),
Associate Professor of the Department of Biology and Human Health
e-mail:seminukt@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8177-9698
Uman State Pedagogical University named after Pavlo Tychyna,
2, Sadova Str., Uman, Cherkasy region, Ukraine, 20300

INDUSTRIAL CONSTRUCTION AS A FACTOR IN THE DESTRUCTION OF NATURAL LANDSCAPES AND THE LOSS OF THE ECOSYSTEM SERVICES POTENTIAL

Purpose. To identify geospatial patterns of landscape destruction under the influence of the construction of prefabricated metal frame facilities, quantify the loss of ecosystem services and formulate recommendations for the use of an integrated ecosystem approach and geoinformation monitoring to minimize environmental risks in the further development of infrastructure.

Methods. Comparison and comparison, retrospective evaluation analysis, laboratory method, comparative geographical method, engineering cartographic method, statistical method

Results. The destruction of landscapes under the influence of the construction of industrial buildings and logistics complexes in conditions of rapid reconstruction in various landscape zones of Ukraine is considered. The main attention is focused on the study of the violation of ties between living and inert components of the landscape. Active construction along the transport corridors M 06 and M 05 in the 50-km zone of Kyiv led to the disruption of connections between inert and living components of the landscape, which is manifested in the transformations of territories, namely - agricultural territories (–1.5%) and forest areas (–0.5%) and the corresponding increase in built-up areas (+30%). Attention was focused on the violation of the structural and functional integrity of landscape complexes (LC) due to urbanization pressure and loss of landscape stability. Transformational vectors of landscape destruction were identified, in particular fragmentation, reduction of biotic connections and violation of ecosystem regulation.

Conclusions. The construction of industrial buildings has led to the simultaneous loss of ecosystem services (reduction in food and fresh water), regulatory functions (weakening of climatic and hydrological self-regulation, increased erosion), cultural benefits (reduction in recreational, educational and aesthetic potential) and supporting processes (disruption of soil formation and biogeochemical cycles).

KEYWORDS: *landscape, agro-landscape, forest, settlement, industrial, marsh, component, soil, ecosystem service, prefabricated metal frame, construction and installation work, GIS*

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

References

1. Grodzynskyi, M. D. (2017). Landscape geography: the old name for the new science, or rivaval of the all-but-forgotten? *Ukrainian geographical journal*, (2), 59-64. https://doi.org/10.15407/ugz2017.02.059 (in Ukrainian)
2. Klieshch A., Maksymenko N. (2020). Positional-dynamic territorial structure of the urban landscape. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 29 (3), 539-549. https://doi.org/10.15421/112049
3. 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)

4. Maksymenko, N. V. (2017). Landscape and environmental planning as the basis for administrative decision-making on ecosystem services. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (45), 153-158. Retrieved from https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8192 (in Ukrainian)
5. Korohoda, N., Kupach, T., & Kovtoniuk, O. (2024). Typification of urban green spaces in the assessment of cultural ecosystem services (The case of Kyiv). *Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya, 91*, 30–40. https://doi.org/10.17721/2413-7154/2024.91.30-40 (in Ukrainian)
6. Monastyrsky, V. R. (2009). Methodological approaches to the study of anthropogenic destruction. *Physical geography and geomorphology*, (55), P. 81-87. (in Ukrainian)
7. Hlukhota, V., & Shevchuk, V. (2023). Geospatial analysis of urban landscapes in the city of Poltava. *Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya, 89*, 21–30, https://doi.org/10.17721/2413-7154/2023.89.21-30 (in Ukrainian)
8. Sirenko, I.M., & Rudkovsky, L.L. (2012). Methodical advice on the course "Endogenous and exogenous landforming processes". Lviv: Laboratory of thematic mapping; Small publishing center of the Geography Faculty. (in Ukrainian)
9. Kornienko, O.M. (2007). Destruction. In I. M. Dzyuba, A. I. Zhukovsky, M. G. Zheleznyak (Eds.) *Encyclopedia of Modern Ukraine, 7*, Kyiv: Institute of Encyclopedic Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. Retrieved from https://esu.com.ua/pdf/file/26324.pdf (in Ukrainian)
10. Ivanov, I., & Kovalchuk, I. (2016). The destruction of mining landscapes. *Journal of Education, Health and Sport. 6*(5), 369-392. http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.53161 (in Ukrainian)
11. Koinova, I. B. (1999). Anthropogenic transformation of landscape systems of the western part of Volyn Polissya: PhD thesis: 11.00.11. Lviv: Ivan Franko Lviv State University. (in Ukrainian)
12. Denysyk, G., Voyna, I., & Denysyk, B. (2023). Anthropogenic centers as indicators of the ecological state of the environment. *Scientific Notes Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University. Series: Geography, 55*(2), 65-71. DOI: https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.2.8 (in Ukrainian)
13. Denysyk, G. I. (2021). Anthropogenic landscape science – the basis of the future landscape science of Ukraine. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference: The Development of anthropogenic landscape science in XXI century*, Vinnytsia., 2021, May 26-27, (pp. 3–7). Retrieved from https://vspu.edu.ua/science/art/a209.pdf (in Ukrainian)
14. Pyatkova, A., & Roskos, N. (2020). Landscape science: applied aspects. Study guide. Odesa: Mechnikov National University. Retrieved from https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/dcd2efc8-88e6-479a-96fb-f0d4c4063323/content (in Ukrainian)
15. 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)
16. Pavlickova, K., & Vyskupova, M. (2015). A method proposal for cumulative environmental impact assessment based on the landscape vulnerability evaluation. *Environmental Impact Assessment Review, 50*, 74–84. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.08.011
17. Niţă, A., Buttler, A., Rozylowicz, L., & Pătru-Stupariu I., (2005). Perception and use of landscape concepts in the procedure of Environmental Impact Assessment: Case study – Switzerland and Romania *Land use policy, 44*, 145–152. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.12.006
18. Izakovičová Z, Petrovič F, & Pauditšová E. (2022). The Impacts of Urbanisation on Landscape and Environment: The Case of Slovakia. *Sustainability, 14*(1), 60. https://doi.org/10.3390/su14010060
19. Shubing Dai & Yulei Ma & Kuandi Zhang, (2022). Land Degradation Caused by Construction Activity: Investigation, Cause and Control Measures. IJERPH, *19*(23), 1-14. https://doi.org/10.3390/ijerph192316046
20. Stankiewicz-Volosianchuk O., Timchenko I., & Savchenko S. (2023). Methodological recommendations for estimating the value of ecosystem services. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28724.63365 (in Ukrainian)
21. Vasyliuk, O., & Ilminska, L. (2020). Ecosystem services. An overview. Published by the Charitable Organization "Foundation for the Protection of Biodiversity of Ukraine" within the framework of the biodiversity inventory program of the Rzhyshchiv City Amalgamated Territorial Community. Retrieved from https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslugy_web_new.pdf (in Ukrainian)
22. Arkhipova, L.M., & Prykhodko, M.M. (2019). Ecosystem services - analysis of international and domestic experience of the concept, *Ecological safety and balanced use of resources*, (2). 24-32. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2019_2_5 (in Ukrainian)
23. Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 5.1). Retrieved from https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf
24. Scheme of planning of the territory of Kyiv region, - SE "UKRNDPICILBUD". Retrieved from https://kievvlast.com.ua/project/resources/attachments/nkTT3fes.pdf (in Ukrainian)
25. Reporting data of the State Statistics Service of Ukraine in the Kyiv region: Form 6-зем. State reporting. Retrieved from https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/oper_new.html (in Ukrainian)

The article was received by the editors 07.04.2025
The article is recommended for printing 15.05.2025

https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-06
UDC (УДК): 630*[561.24+413.2]

I. M. KOVAL[1, 2], DSc (Agriculture), Senior Researcher
[1]Leading Researcher, of the Forest Ecology Sector, Department of Forestry and Forest Economics
[2]Professor, Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-email: Koval_Iryna@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6328-1418
[1]*Ukrainian Research Institute of Forestry and Agroforestry Reclamation named after G M. Vysotsky*
86 Hryhoriy Skovorody St., Kharkiv, 61024, Ukraine
[2]*V. N. Karazin Kharkiv National University*
4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

M. O. CHERMNYKH,
Bachelor of the Karazin Institute of Environmental Sciences
e-mail: chermnykh2021.9512117@student.karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-5346-8551
V. N. Karazin Kharkiv National University
4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

V. V. GOLOLOBOV,
Postgraduate 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, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

RADIAL GROWTH OF COMMON HORSE CHESTNUT IN GREEN PLANTINGS OF LVIV AND KHARKIV

Purpose. to identify the consequences of climate change and the invasion of the horse chestnut leaf miner on the radial growth of horse chestnut in green plantings of the cities of Lviv and Kharkiv.

Methods. System analysis, dendrochronological and statistical methods were used.

Results. The radial growth of trees in middle-aged plantings was compared for the period before the outbreak of the horse chestnut leaf miner (1982-2001) and after it (2002-2021) for Lviv and for 1990-2006 and 2007-2023 for Kharkiv. The temperatures for the hydrological year for these periods were also compared according to data from the Lviv and Kharkiv weather stations. It was found that in the second period Kharkiv was a decrease in growth by 57%. For the first period (before the outbreak), deviations from the norm of radial growth of common horse chestnut in the green plantation of Lviv were 12-23%, the corresponding values for the second period – 17-72%. It was found that in the second period in the Lviv plantation, the influence of temperatures on the radial growth of horse chestnut, in general, became more positive for different periods of the hydrological year. The number of positive correlation coefficients between radial growth and climatic factors also increased, which indicates an increase in the sensitivity of trees. In the green plantation of Kharkiv, when comparing the influence of climate on the radial growth of horse chestnut in 1986-2004, and 2005-2022 it was found that precipitation had a positive effect on growth, unlike temperature, which had a negative effect on radial growth. This is characteristic of both periods.

Conclusions. When comparing the radial growth of horse chestnut for the periods before the beginning of the chestnut miner invasion (1982-2001) and after it (2002-2021) in Lviv and, respectively, for Kharkiv for 1986-2004 and 2005-2023, the decrease in growth was half as much in the second period compared to the first, despite the fact that the chestnut leaf miner arrived in Kharkiv 5 years later than in Lviv. Despite the significant decrease in radial growth due to climate change and the impact of the chestnut miner invasion, the radial growth of horse chestnut in the Lviv plantation stabilized during 2017–2021 and in the Kharkiv plantation – during 2016–2023. This indicates the adaptation of the horse chestnut to environmental changes at this stage.

KEYWORDS: *Aesculus hippocastanum* L., *radial growth of tree, precipitation, temperatures, invasion, Cameraria ohridella Deschka & Dimic 1986*

Як цитувати: Koval I. M., Chermnykh M. O., Gololobov V. V. Radial growth of common horse chestnut in green plantings of Lviv and Kharkiv. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 78 - 92. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-06

© Koval I. M., Chermnykh M. O., Gololobov V. V., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

In cites: Koval, I. M., Chermnykh, M. O., & Gololobov, V. V. (2025). Analysis of alternatives for sorting household waste in rural areas: at home or at the landfill. *Man and Environment. Issues of Neo-ecology,* (43), 78 - 92. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-06

Introduction

Horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) is an important part of urban green plantings. In order to establish the ability of horse chestnut to adapt to climate change and the impact of the chestnut leaf borer (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic (*Lepidoptera: Gracillariidae*) invasion, it is necessary to conduct studies of the radial growth of trees, which is a measure of cambial activity and indicates the state of the tree and depends on the influence of environmental conditions. These relationships can change with the age of the tree, as well as with changes in climatic conditions. In dendroclimatic studies, two main climatic elements are most often considered – air temperature and precipitation [1-6]. Using measurements of the width of annual rings, it is possible to assess the response of individual tree species in urban green plantings to climatic factors at the present time, as well as in the past [7].

The chestnut leaf miner crossed the border of Ukraine in 1998, appeared in Lviv in 2002, and reached Kharkiv in 2007 [8-11]. The global temperature of the Earth has already increased by 0.8 °C compared to the pre-industrial period, which has led to numerous problems - mass outbreaks of pests, increased weather variability, increased frequency of heat waves, floods, fires in ecosystems, water shortages, changes in precipitation patterns, etc. [1, 12-15].

The first invasion of the chestnut leaf miner was recorded in Europe in 1984 in the area of Lake Ohrid in Macedonia. This pest species has spread to most European countries, migrating at a speed of approximately 60 km/year. In Poland, this species was first recorded in 1998 near Wrocław. In 1998, the chestnut leaf miner crossed the border from the Hungarian side, so its first foci were recorded in Transcarpathia, and in 2002 in Lviv [12, 16, 17,]. The caterpillar, which feeds on leaf parenchyma, causes browning and dehydration of the leaves, which can be shed in summer. As a result of the chestnut leaf miner feeding on horse chestnut leaves, which lasts from May to September, up to 98% of the photosynthetic area can be lost, as the moth reduces the green, photosynthetic area of the leaves and causes them to dry out and fall off early [18, 19].

It has been established that due to warming, in the green plantings of Kharkiv, the chestnut leaf miner develops in three generations per year. At the same time, given the changes in the dates of the beginning and end of the seasonal development of the chestnut miner, it can be expected that a certain proportion of the population will develop in an additional generation [14, 20].

Pests cause the suppression of radial growth of trees, the formation of pale late wood, etc. Dendrochronological methods allow for highly accurate reconstruction of the timing of extreme events. This is especially important in cases where there are no direct long-term observations of individual trees or forest stands [5, 21].

The increased vulnerability of trees to stress factors can be expressed in the increase in the significant effects of temperature and precipitation on the radial growth of trees [17]. The study of the dynamics of radial growth of horse chestnut growing under climate change is of great importance for assessing the condition and productivity of stands. Changes in temperature and precipitation and the rate of these changes are among the most important factors of climate change [22].

Studies of horse chestnut in the urban plantation of Poltava and in the arboretum before the invasion of the horse chestnut leaf miner (1992–2007) and after its beginning (2008–2023) have shown that in the second period the radial growth of horse chestnut near the road decreased by 40%, and in the arboretum – by 25%. Under the additional influence of transport emissions, a trend of a steady decrease in the growth of horse chestnut was detected in the plantations near the road, and in the arboretum, fluctuations in growth over the years occurred in accordance with weather conditions, which is confirmed by significant correlation coefficients. In the plantations near the road (against the influence of transport emissions and damage by the horse chestnut miner) for the period 2008–2022 significant positive correlation coefficients of average strength were obtained between the radial growth indices of horse chestnut near the road and climatic factors: the amount of precipitation per hydrological year, average winter temperatures, forest aridity index (FAI), and a negative correlation coefficient with minimum temperatures per hydrological year [17].

Currently, there are not enough scientific works that would reveal the mechanism of adaptation of common bitter chestnut to climate change and the impact of the chestnut borer invasion, so this study is timely and relevant.

Purpose: to identify the consequences of the impact of climate change and the horse chestnut leaf miner invasion on the radial growth of horse chestnut in green plantings of the cities of Lviv and Kharkiv.

Methods of the research

Object of the study: radial growth of horse chestnut in green plantings of Lviv and Kharkiv (Fig. 1, 2). The following methods were used: comparative analysis, dendrochronological – to assess the dynamics of radial growth of common bitter chestnut trees under the influence of climatic factors and chestnut borer invasion; statistical methods – for data analysis and correlation – to establish the dependence of radial growth of trees on climatic factors [2, 7, 8, 23, 24].

Fig. 1 – Sates of core sampling from horse chestnut trees in green plantings of the cities of Lviv (1) and Kharkiv (2)

Fig. 2 – Core sampling location in the alley planting of Kharkiv

Sampling. Cores were taken with a Pressler borer from tree trunks at a level of 1.3 m from the ground surface [2, 7]. 11 cores were taken from each stand. Then the cores were placed in paper containers on which the sample number, their location and the date of collection were recorded.

Office processing of the material and its analysis. Meteorological databases on temperature, precipitation and relative humidity were created for the Lviv and Kharkiv weather stations [24, 25].

The cross-dating method was used to establish the date of formation for each annual tree ring. First, the cores were air-dried, and then the size of the annual rings was measured with an accuracy of 0.01 mm using a device for measuring annual tree rings "HENSON" and a binocular microscope MBC - 9. Before measuring the cores, for greater clarity of the boundaries of the annual rings, a thin (1-2 mm) upper layer of wood was removed with a blade across the fibers and, if necessary, treated with chalk in order to identify clearer boundaries between the annual layers of wood [25].

During cross-dating of tree rings by the method of "skeletal graphs" (graphic method), the exact dates of formation of each ring were determined and based on this, tree-ring chronologies were obtained.

The magnitude of the current radial increment has a significant variation. In order to exclude the individual characteristics of individual trees, the average of individual series of radial increment of pine was carried out. The main statistical characteristics of tree-ring chronologies were calculated [23].

The hydrological year is the period from October 1 of the previous year to September 30 of the current year. The first half of the hydrological year is the period of autumn-winter moisture accumulation, from October 1 of the previous year to April 1 of the current year. The period of intensive tree growth is May, June, July of the current year [25].

The next step is to carry out standardization, i.e. indexing of tree-ring chronologies in order to extract the age (biological trend), which is a low-frequency component of the studied time series. Indexing was carried out by 3-year smoothing of the time series of radial growth of trees [7, 25]. Next, a correlation analysis was carried out, the essence of which is to identify positive or negative relationships between radial growth indices and climatic factors before the onset of damage to the common bitter chestnut by the chestnut miner and after it in green spaces of Lviv and Kharkiv.

Results and discussion

Dynamics of radial growth of horse chestnut in green spaces of Lviv. A local tree-ring chronology of horse chestnut was constructed, which was developed on the basis of 11 cores. The years of minimum tree growth were identified (1985, 1989, 1994, 1999, 2009, 2012, 2016 and 2019). The radial growth rate was calculated as the average value of the annual ring width for the period 1982-2020. Compared with the norm, deviations from the norm ranged from 12 to 71%). At the same time, for the first period (before the outbreak), these deviations were 12–23%, the corresponding values for the second period were 17-72%. Years of maximum tree growth: 1984, 1988, 1991, 2002. An increase in the size of annual rings from 14 to 52% was noted compared to the norm in these years (Fig. 3). Radial growth of horse chestnut in Lviv stabilized during 2016–2021 despite the increase in temperatures and the invasion of the chestnut miner.

The radial growth of trees in middle-aged stands was compared for the period before the outbreak of the horse chestnut miner (1982-2001) and after it (2002-2021). The temperatures for the hydrological year for these periods were also compared according to Lviv data. It was found that in the first period For Lviv, in the first period, the radial growth was 2.57±0.16 mm, and in the second - 1.30±0.14. That is, the growth decreased in 2007-2023 compared to 1990-2006 by 49% (Table 1). The weakening of trees during 2002–2021 is evidenced by cores, half of which have rot and a coefficient of variation that is significantly higher in the second period.

Thus, after the outbreak of the horse chestnut leaf miner, the radial growth of the horse chestnut decreased almost by half. During this period, the resistance of trees also decreased, as evidenced by an increase in the coefficient of variation for the tree-ring chronology.

Average temperatures and precipitation for the hydrological year were calculated. As noted above, the hydrological year is the period from October 1 of the previous year to September 30 of the current year. The first half of the hydrological year is the period of autumn-winter moisture accumulation, from October 1 of the previous year to April 1 of the current year. The period of intensive growth is May, June, July of the current year [25]. Years of minimum growth are mainly

characterized by a deficit of precipitation and maximum temperature, and years of maximum growth are characterized by acceptable temperatures and precipitation (Fig. 3, 4).

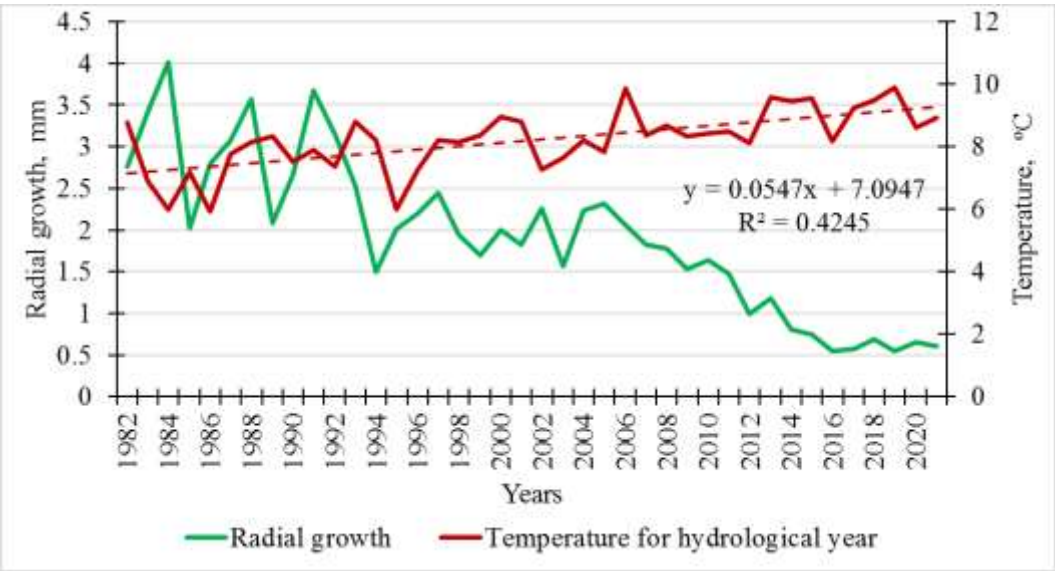


Fig. 3 – Dynamics of radial growth of horse chestnut in green planting of Lviv and temperature of the hydrological year according to data from the Lviv meteorological station (49°50′33″ пн. ш. 24°01′56″ сх. д.)

Table 1

Descriptive statistics of radial growth of common horse chestnut in green planting of Lviv

Indicators	Periods	
	1982-2001	**2002-2021**
Mean, mm/error	1,57±0,10	1,34±0,12
Standard deviation	0,35	0,44
Variance	0,52	0,41
Minimum value, mm	1,49	0,55
Maximum value, mm	4,01	2,31
Coefficient of variation	28,14	49,08

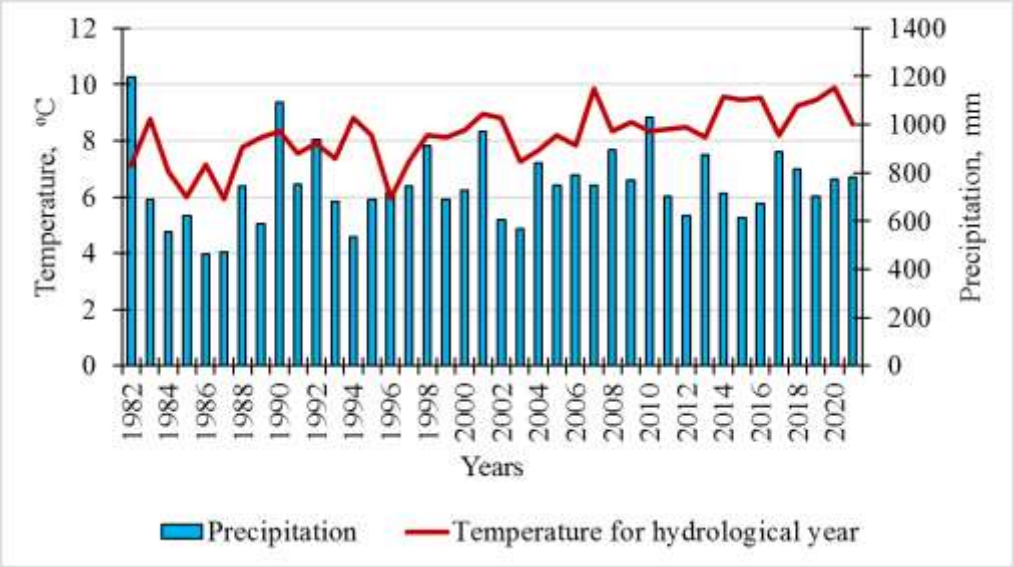


Fig. 4 – Dynamics of temperature and precipitation indicators for the hydrological year according to data from the Lviv Meteorological Station

Based on 11 individual tree-ring chronologies, a local chronology was constructed, from which low-frequency fluctuations, i.e., the age trend, were removed. The radial increment rate was calculated as the average value of the annual ring width for the period 1982–2020. Compared to the norm, the deviations from the norm ranged from 12 to 71%. At the same time, for the first period (before the outbreak), these deviations were 12-23, the corresponding values for the second period were 17-72%. An increase in the sizes of annual rings compared to the norm in these years was noted from 14 to 52%. As already noted, in the second period, the radial increment decreased compared to the first by almost half (Fig. 5).

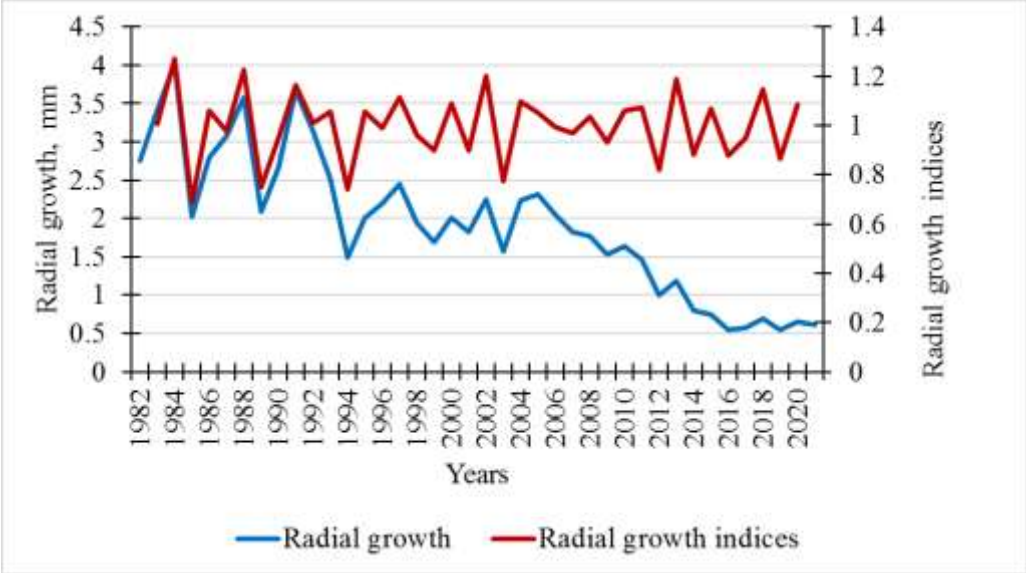


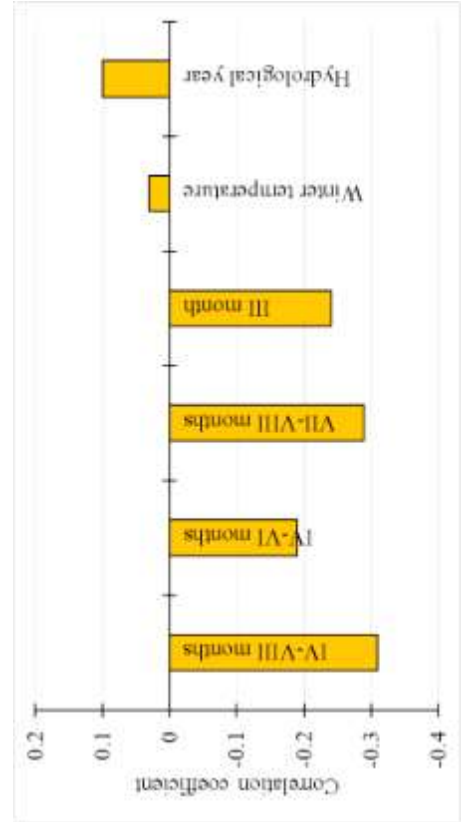
Fig. 5 – Dynamics of radial growth and indices for common horse chestnut in green spaces of Lviv [3]

A correlation analysis was conducted between radial growth indices and climatic factors for different periods of the hydrological year. It was found that the negative impact of temperatures was mitigated in the second period compared to the first. In the temperate zone, it is difficult to detect significant relationships between tree-ring chronologies and climatic factors because in these climatic conditions, the factors limiting tree growth change throughout the year.

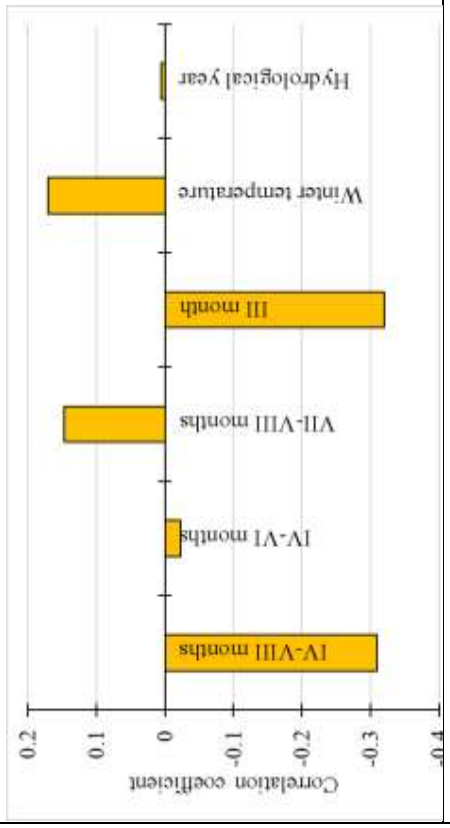
A correlation analysis was conducted between radial growth indices and temperature factors for different periods of the hydrological year for 1983–2001 and for 2002–2020. It was found that the negative impact of temperatures on radial growth, which was observed in the first period during the growing season, was somewhat weakened in the second period, which can be explained by the fact that the common bitter chestnut is a thermophilic plant native to the Balkan Peninsula and at this stage the temperature could have a positive effect on growth. But March temperatures began to have a more negative impact on growth in the second period (Fig. 6).

Correlation analysis between radial growth indices and precipitation showed that in the second period precipitation began to limit the formation of tree rings more. The effect of precipitation per hydrological year on growth was significantly positive (r=0.57 at the 0.05 level). That is, the sensitivity of growth to precipitation increased after the onset of the chestnut leafminer outbreak. In addition, recreation and pollution from transport could also have a negative effect on radial growth of trees (Fig. 7).

Dynamics of radial growth of horse chestnut in green plantations of Kharkiv. The radial growth of trees in middle-aged plantations was compared for the period before the outbreak of the chestnut borer (1982-2001) and after it for 1990-2006 and 2007-2023 for Kharkiv. The temperatures for the hydrological year for these periods at the Kharkiv weather station were also compared. It was established that in the first period for Kharkiv the radial growth was 2.57±0.19 mm, and in the second period – 1.10±0.06, that is, there was a decrease in growth by 57%. The temperatures for the hydrological year for the period before the invasion of the

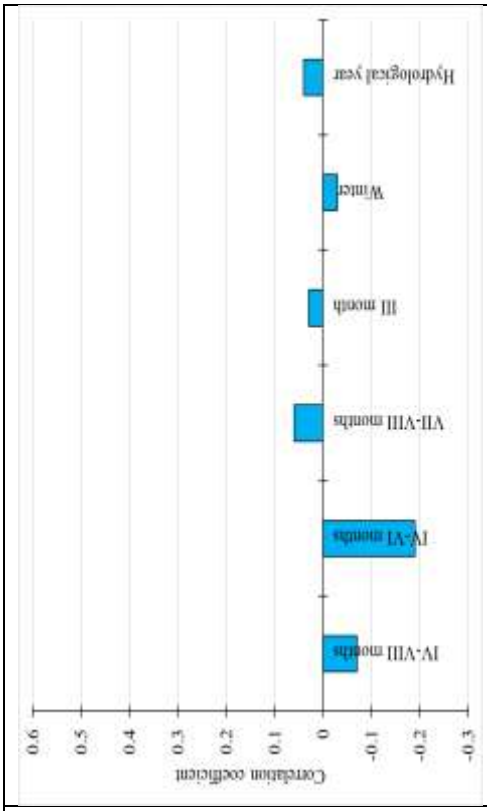


a)1983–2001

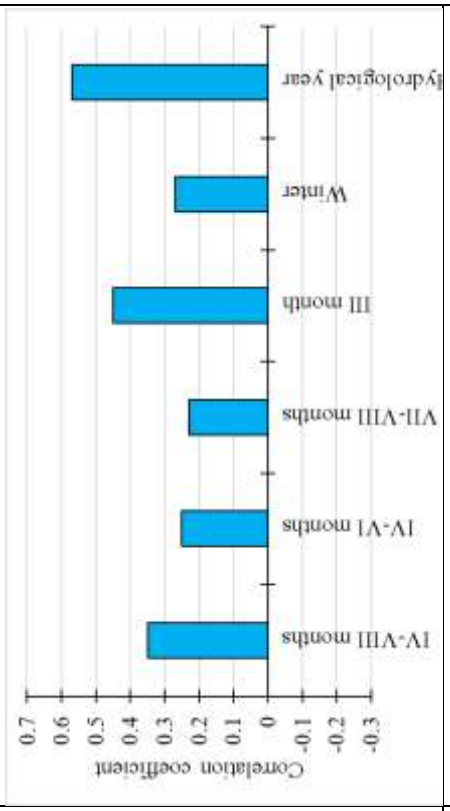


b) 2002–2020

Fig. 6 – Correlation analysis between radial growth indices of common horse chestnut in the Lviv stand and temperature indicators for different periods of the hydrological year



a) 1983–2001



b) 2002-2020

Fig. 7 – Correlation analysis between radial growth indices of horse chestnut in stands in Lviv and precipitation for different periods of the hydrological year

chestnut borer were 7.73±0.21 and 8.70±0.17 for Lviv. The radial growth trend of horse chestnut decreased until 2023. During 2005–2006, this decline was rapid, and after this period, the decline in growth slowed down (Fig. 8).

Statistical analysis of the radial growth of horse chestnut for 1986-2004 and 2005-2023 showed that the radial growth in the second period decreased by more than half (by 56%), which is probably caused not only by age reasons, but also by climate warming and related biotic factors, such as outbreaks of the wood-mining moth (*Cameraria ohridella*), which is an invasive species, so it is difficult to combat it. The variability of tree ring sizes decreased by almost half in the second period, as evidenced by the standard deviation and variance (Table 2).

Average temperatures and precipitation for the hydrological year were calculated according to data from the Kharkiv Meteorological Station. The years with the maximum temperatures for the hydrological year were established: 1990, 2008, 2009, 2016, 2017, 2018, when temperatures ranged from 8.9 to 10.5 ºC. The years with the minimum amount of precipitation for the hydrological year, when the amount of precipitation ranged from 417 to 521 mm. The years with the maximum amount of precipitation for the hydrological year: 1988, 1991, 1996, 2000, 2006, 2010, 2016. In these years, the amount of precipitation ranged from 653 to 782 mm (Fig. 9).

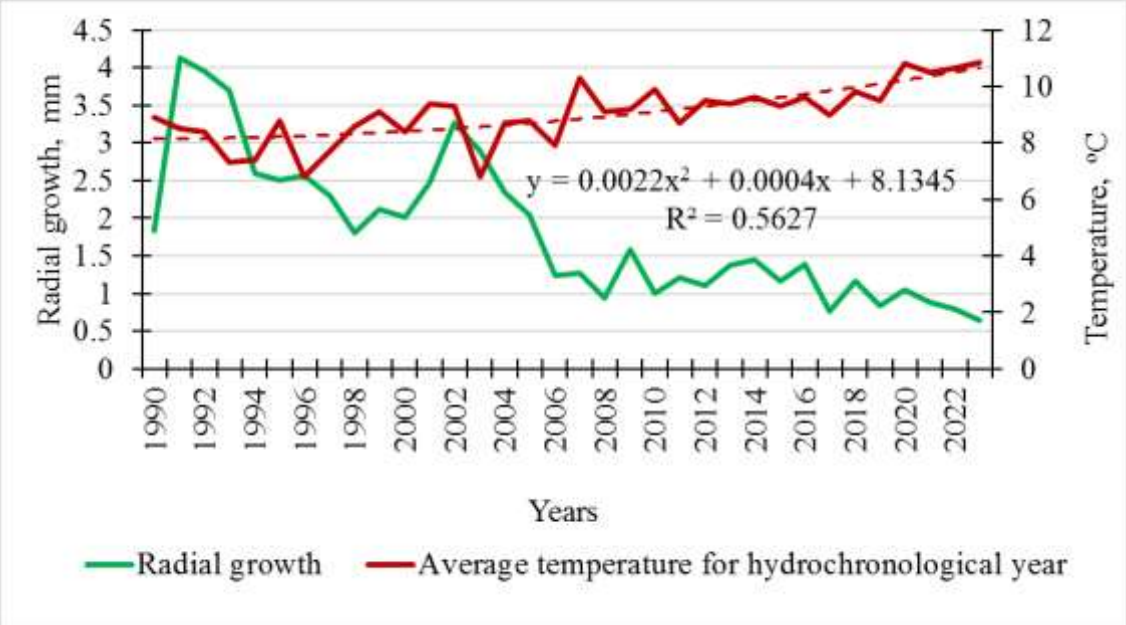


Fig. 8 – Dynamics of radial growth of horse chestnut in green plantings of Kharkiv and temperatures of the hydrological year according to data from the Kharkiv meteorological station

Table 2

Descriptive statistics of radial growth of horse chestnut in green planting of Kharkiv

Indicator	1986–2004	2005–2023
Mean/ error	2.65±0,15	1.15±0,08
Standard deviation	0.68	0.33
Sample variance	0.47	0.11
Minimum	1.80	0.65
Maximum	4.13	2.04
Coefficient of variation	26	29

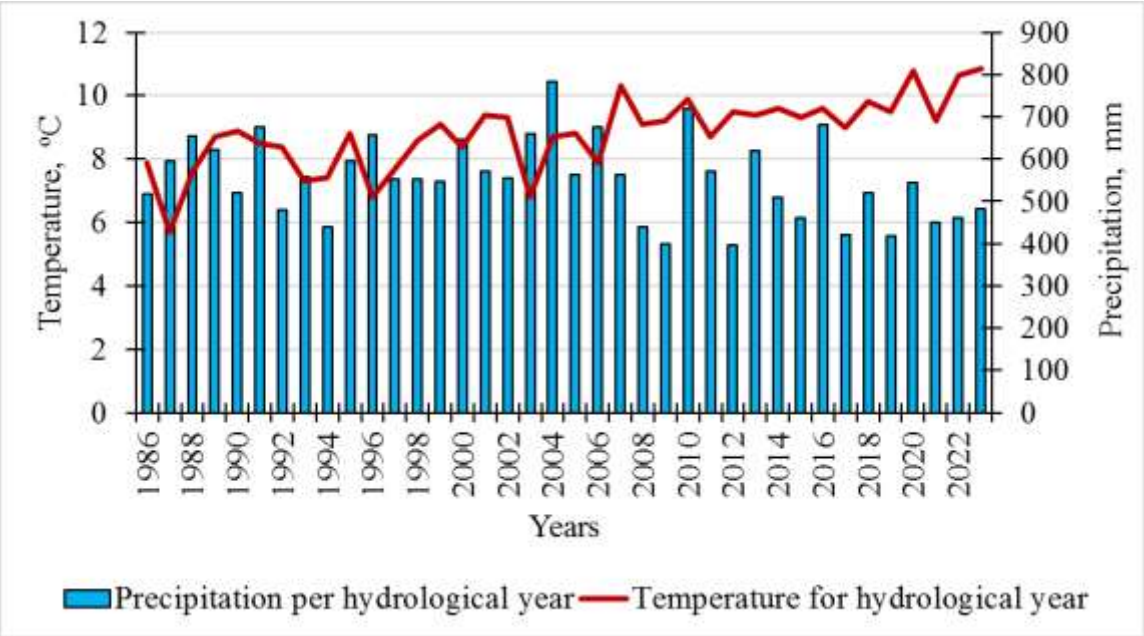


Fig. 9 – Dynamics of temperature and precipitation indicators for the hydrological year according to data from the Kharkiv Meteorological Station

Periods of increased growth are highlighted: 1977-1985, 2002-2003 and its decrease: 1986–1991, 1994–2001. Since 2004, a sharp decrease in radial growth of trees has begun, which continues to this day. The years of minimum (1978, 1981, 1983, 1986, 1990, 1994, 1998, 2006, 2008, 2010, 2012, 2015, 2017, 2019) and maximum growth (1979, 1982, 1985, 1987, 1991, 2002, 2009, 2014, 2016, 2018) were established. Based on 11 individual tree-ring chronologies, a local chronology was constructed (Fig. 10).

In recent decades, there has been a steady increase in temperature. So, in 2005–2023, compared to 1986–2004, the temperature for the hydrological year increased by 1.49 °C, for April–August – by 1.52 °C. That is, in the first period, the average temperatures for the hydrological year and April–August in the first period were 8.1 and 17.0 °C, respectively, and in the second – 9.6 and 18.5 °C. That is, the temperature increases in the second period compared to the first was 16% for the hydrological year and 9% for the growing season.

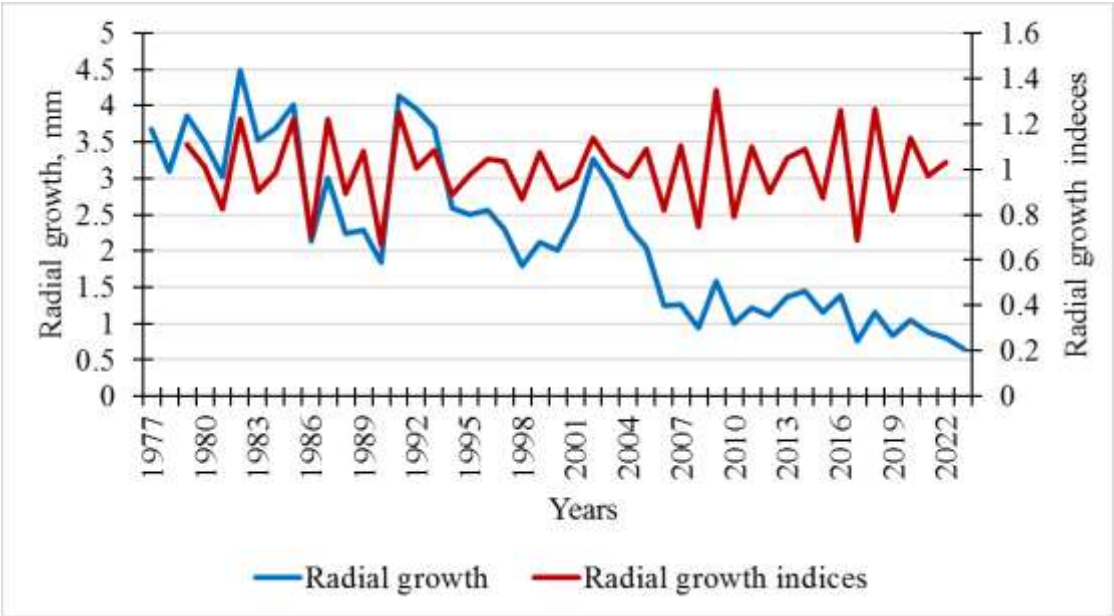
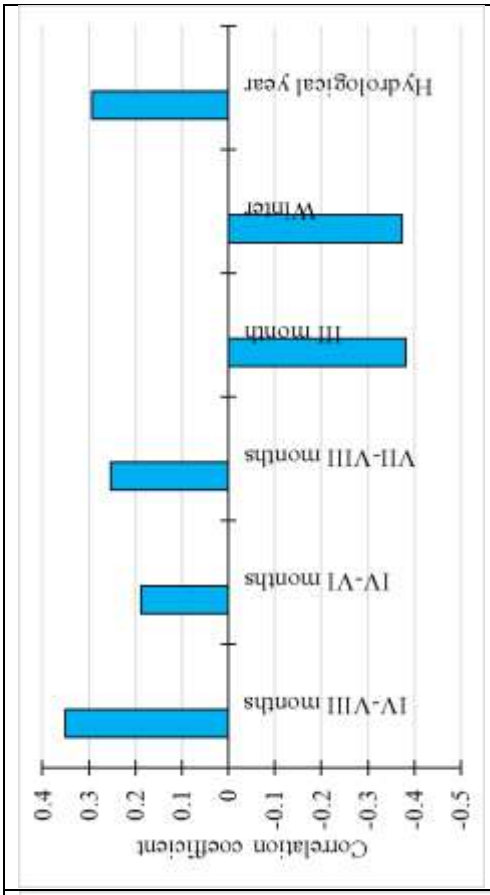
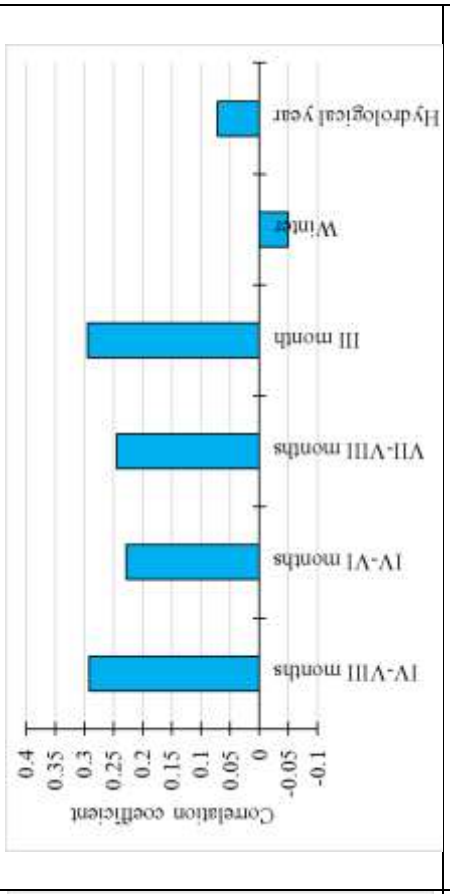


Fig. 10 – Dynamics of radial growth and indices for horse chestnut in Kharkiv [10]

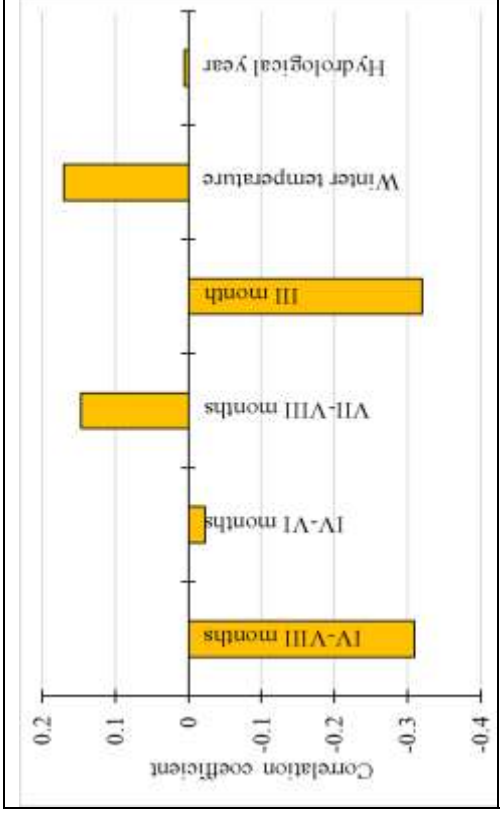


a) 1986–2004

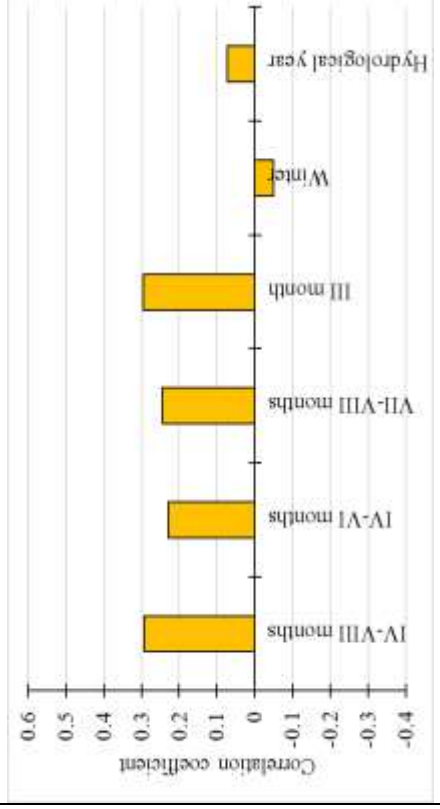


b) 2005-2022

Fig. 12. – Correlation analysis between radial growth indices of horse chestnut in stands of Kharkiv and precipitation for different periods of the hydrological year



a)1986–2004



b) 2005–2022

Fig. 11 – Correlation analysis between radial growth indices of horse chestnut in green plantations of Kharkiv and temperatures for different periods of the hydrological year.

Note: * – significance of the correlation coefficient at the 0.05 level

The influence of climatic factors on the radial growth of trees in 1986–2004 and 2005–2023 was compared. It was found that the average temperature for the hydrological year in the second period increased by 1.49 ° C compared to the first, and the corresponding value for the growing season was 1.52 ° C. The amount of precipitation for both the hydrological year and the growing season decreased by 83 mm and 36 mm in the second period. By conducting a correlation analysis between the radial growth indices of trees and the average temperatures and precipitation amounts for different parts of the hydrological year for 1986–2004 and 2005–2023, it was found that the relationships between precipitation, temperatures and hydrothermal coefficients are weak and medium. A significant positive effect of winter temperatures on the radial growth of common horse chestnut in 1986–2004 was established. (R=0.52, $t_{fact.}$ = 2.55, $t_{theor.}$ = 2.11 at the 0.05 level of significance). In the second period, this effect became negative. In general, in the second period, the effect of temperatures had a more positive effect on growth than in the first (Fig. 11).

Correlation analysis between radial growth indices of horse chestnut and precipitation for the period before the beginning of the horse chestnut leaf miner invasion (1986–2004) and after it (2005–2022) showed that March precipitation in the second period had a positive effect on growth in the second period, unlike the first period, where this effect was negative. However, in the second period, winter precipitation limited radial growth of trees to a lesser extent. During April-August, precipitation had a positive effect on growth during both periods (Fig. 12).

Studies of radial growth of horse chestnut conducted by scientists in northwestern Poland, which were conducted in 2 periods: before the specified date of invasion of the chestnut miner (until 1999) and after the invasion (2000-2016), found that in 2000, despite favorable weather conditions, 91% of the analyzed trees showed a decrease in growth rates. The period of strong reduction lasted until 2010. Before the invasion, the radial growth rate depended on the temperature and precipitation in May and June of the current year, while after the invasion, the growth and climate response depended on the temperature and precipitation of the previous year, and the correlation was stronger. Surprisingly, in recent years (2011–2016), despite the annual infection of horse chestnut by the the horse chestnut leaf miner, the health of the analyzed trees improved and the width of the annual rings increased [19]. Our studies have obtained similar results: a significant decrease in the radial growth of horse chestnut in urban plantings was established after the onset of the horse chestnut leaf miner impact, which lasted in Lviv and Kharkiv for 12-14 years. Then there was some stabilization of tree growth.

Conclusions

When comparing the radial growth of horse chestnut for the periods before the beginning of the chestnut miner invasion (1982-2001) and after it (2002-2021) in Lviv and, respectively, for Kharkiv for 1986-2004 and 2005-2023, the decrease in growth was half as much in the second period compared to the first, despite the fact that the chestnut leaf miner arrived in Kharkiv 5 years later than in Lviv.

Despite the significant decrease in radial growth due to climate change and the impact of the chestnut miner invasion, the radial growth of horse chestnut in the Lviv plantation stabilized during 2017–2021 and in the Kharkiv plantation – during 2016–2023. This indicates the adaptation of the horse chestnut to environmental changes at this stage.

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

References

1. Buksha, I. F., Bondaruk, M. A., & Tselishchev, O. H., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I., Pasternak, V. P. (2017). Vitality forecasting for Scots pine and English oak in condition of climate change in the lowland of

Ukraine. *Forestry and Forest Melioration, 130*, 146-158. Retrieved from http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000827863 (In Ukrainian)

2. Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. Academic Press.: Retrieved from https://www.scirp.org/reference/referencespapers? referenceid=1559073
3. Koval, I. M., Shpakivska, I. M., Voronin, V. O., & Chermnykh, M. O. (2023). Dynamics of radial growth of common horse chestnut in plantations of Lviv under the influence of the horse-chestnut leaf miner. *Environmental protection.- Proceedings of the 19th All-Ukrainian Scientific Conference of Taliiv. readings* (October 27, 2023). Kharkiv National University, 162-164. Retrieved from https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/05/taliev-2023.pdf (In Ukrainian)
4. Maksymenko, N. V., & Ovsiy, M. O. (2011). Modeling and forecasting of climate change. *Man and environment. Issues of neoecology, 1-2,* 37-47. Retrieved from *http://luddovk.univer.kharkov.ua/sites/default/files/Papers/Maximenko.pdf* (In Ukrainian)
5. Zhang, Zh. (2015). Tree-rings, a key ecological indicator of environment and climate change. *Ecological Indicators, 51*, 107-116. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.042
6. Zhang, T., Liu K., Fan, Yu., Yu Shu., Zhang, R., Shang H.…Rakhimov, I. (2023). Status and prospects of tree-ring research in Central Asia. *Dendrochronologia, 78*, 1125-7865. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2023.126069
7. Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Academic Publishers https://doi.org/10.1007/978-94-015-7879-0
8. Chermnykh, M. O., & Koval, I. M. (2024) Dendroindication of common horse-chestnut in green plantings of Kharkiv. *Environmental protection: Proceedings of the 20th All-Ukrainian Scientific Conference of Taliiv. readings* (October 25, 2024). KhNU, 207-209. Retrieved from https://ekhnuir.karazin.ua/items/4b279a16-6707-4ba6-9b50-aa324f028c41 (In Ukrainian)
9. Chermnykh, M., & Koval, I. (2025). Dendroindication of common horse-chestnut in green plantings of cities. *Current problems of formal and informal education in environmental monitoring and conservation*: collection of abstracts of the IV International Internet Conference (Kharkiv, April 18, 2025). V N. Karazin Kharkiv National University, 162-165. Retrieved from *https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/21447* (In Ukrainian)
10. Voronin V., Chermnykh M., & Koval I. (2023). Assessment of the impact of climate change on the ecological state of urban plantations of the common horse-chestnut (Aesculus Hippocastanum L.). *Proceedings of the VI International Scientific Congress Society jf Ambient Intelligence 2023 (student sections), Praha, OKTAN PRINT, 2023, 398-404.* https://doi.org/10.46489/ISCSAI-23-30
11. Koval, I. M., & Mikulina, I. M. (2012). Dendrochronological research of common horse chesnut damaged by the horse-chestnut leaf miner in forest-steppe zone. *Scientific bulletin of UNFU, 22*(10), 40-45. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=nvnltu_2012_22.10_9 (in Ukrainian)
12. Koval, I., Maksymenko, N., & Chermnykh, M. (2024). The impact of climate change on the radial growth of common horse chestnut in green stands of Kharkiv. *Proceedings of the Intern. Conf.: Adaptive landscape management,* (Lviv–Vorokhta, 2024, Sept., 25–28), 152-155. Retrieved from https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/09/AdaptLandMngmnt_2024.pdf (in Ukrainian)
13. Maksymenko, N. V., Medvedeva, Yu. V., & Cherkashyna, N. I. (2018). Dynamics of the North Atlantic coastal zone's temperature regime as an indicator of changes in the system of thermohaline circulation. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, *27*(3), 478 - 484. https://doi.org/10.15421/111871
14. Meshkova, V. (2021). Predicted seasonal development of phytophagous forest insects in the temperate zone. *Advances in Agriculture, Horticulture and Entomology,* 6. AAHE-158. https://doi.org/10.37722/AAHAE.2021601
15. Meshkova, V. L. (2021). Foliage-browsing Lepidoptera (Insecta) in deciduous forests of Ukraine for the last 70 years. *Proc. of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*., *22,* 173-179. https://doi.org/10.15421/412115
16. Chermnykh, M. O., & Koval, I. M. (2025). Dendroindication of horse chestnut in green plantings of Kharkiv and Lviv. *Ecology is a priority: All-Ukrainian English-speaking student conference* (March 14, 2025, Kharkiv, Ukraine). Karazin National University, 22-24. Retrieved from https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/20978
17. Koval, I. M., & Orlovsky, O. V. (2025). Dendroindication of common horse chestnut in Poltava green stands. *Scientific Bulletin of UNFU*, *35*(2), 45-54. https://doi.org/10.36930/40350205 (In Ukrainian)
18. Percival; G. C., Barrow; I., Noviss; K. et al. (2011). The impact of horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) on vitality, growth and reproduction of *Aesculus hippocastanum*. *Urban Forestry & Urban Greenin, 10,* 11-17. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/251700117_The_impact_of_horse_chestnut_leaf_miner_Cameraria_ohridella_Deschka_and_Dimic_HCLM_on_vitality_growth_and_reproduction_of_Aesculus_hippocastanum_L
19. Cedro, A., & Nowak, G. (2022). Influence of horse-chestnut leaf miner invasion on the growth-climate relationship of common horse-chestnut trees from north-western Poland. *Sylwan, 166*(2), 101-113. https://doi.org/10.26202/sylwan.2021107

20. Shvidenko, I.M., Kardash, E.S., & Kolenkina, M.S. (2020). Features of dynamics of mine density and phenology of the horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986) in plantations of Kharkiv. *Biodiversity, ecology and experimental biology, 22*(2), 60-70. Retrieved from http://journals.hnpu.edu.ua/index.php/biology/article/view/3404 (In Ukrainian)
21. Koprowski, M., & Duncker, P. (2012). *Tree ring width and wood density as the indicators of climatic factors and insect outbreaks affecting spruce growth. Ecological Indicator, 23,* 332-337. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.04.007
22. Gavrilov, M. B., An, W., Xu, C., Radaković, M. G., Hao, Q., Yang, F., Guo, Z., Perić, Z., Gavrilov, G., & Marković, S. B. (2019). Independent Aridity and Drought Pieces of Evidence Based on Meteorological Data and Tree Ring Data in Southeast Banat, Vojvodina, Serbia. *Atmosphere*, *10*(10), 586. https://doi.org/10.3390/atmos10100586
23. Atramentova, L. A., & Utevska, O. M. (2008). *Statistical methods in biology*. Horlivka: Private enterprise "Likhtar Publishing House". (In Ukrainian)
24. Climate data. Retrieved from https://en.tutiempo.net/climate
25. Koval, I. M. (2023*). Dendrochronological principles of assessing pine and oak stands of Ukraine* Kharkiv: Machulin. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/369825923_Dendrohronologicni_zasadi_ocinuvanna_sosnovih_i_dubovih_derevostaniv_Ukraini (In Ukrainian)

The article was received by the editors 25.04.2025
The article is recommended for printing 28.05.2025

І. М. КОВАЛЬ[1, 2], д -р. с.-г. наук, ст. наук. співроб.
[1]Провідний науковий співробітник сектору екології лісу відділу лісівництва та економіки лісового господарства
[2]Професорка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-email: Koval_Iryna@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6328-1418
[1]*Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького*
вул. Григорія Сковороди, 86, м. Харків, 61024, Україна
[2]*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*
Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

М. О. ЧЕРМНИХ,
Бакалавр Навчально-наукового інституту екології
e-mail: chermnykh2021.9512117@student.karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-5346-8551
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

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

РАДІАЛЬНИЙ ПРИРІСТ КАШТАНА ЗВИЧАЙНОГО В ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕННЯХ ЛЬВОВА ТА ХАРКОВА

Мета. Виявлення наслідків впливу зміни клімату та інвазії каштанового мінера на радіальний приріст гіркокаштана звичайного в зелених насадженнях міст Львова та Харкова.

Методи. Системний аналіз, дендрохронологічні та статистичні методи.

Результати. Порівняно радіальний приріст дерев в середньовікових насадженнях для періоду перед початком спалаху каштанового мінера (1982-2001 рр.) та після нього (2002-2021) для Львова та для 1990-2006 та 2007-2023 рр. для Харкова. Також порівняно температури за гідрологічний рік за ці періоди за даними Львівської та Харківської метеостанцій. Встановлено, що у другому періоді для Харкова відбулося зменшення приросту на 57%. Для першого періоду (до спалаху) відхилення від норми радіального приросту гіркокаштана звичайного у зеленому насадженні Львова склали 12-23%, відповідні значення для другого періоду – 17-72%. Встановлено, що у другому періоді у Львівському насадженні вплив температур на

радіальний приріст гіркокаштана звичайного, в основному, став більш позитивним за різні періоди гідрологічного року. Також збільшилася кількість позитивних коефіцієнтів кореляції між радіальним приростом та кліматичними чинниками, що свідчить про збільшення чутливості дерев. В зеленому насадженні м. Харкова при порівнянні впливу клімату на радіальний приріст гіркокаштана звичайного у 1986-2004 рр. та 2005-2022 рр. встановлено, що опади позитивно впливали на приріст на відміну від температури, яка впливала на радіальний приріст негативно. Це є характерним для обох періодів.

Висновки. При порівнянні радіального приросту гіркокаштана звичайного для періодів до початку інвазії каштанового мінера (1982-2001 рр.) та після нього (2002–2021 рр.) у Львові та відповідно для Харкова для 1986-2004 та 2005-2023 рр., зниження приросту було удвічі меншим у другому періоді в порівнянні з першим, незважаючи на те, що каштановий мінер прийшов у Харків на 5 років пізніше, ніж у Львів. Незважаючи на значне зменшення радіального приросту внаслідок зміни клімату та впливу інвазії каштанового мінера, відбулася стабілізація радіального приросту гіркокаштана звичайного у насадженні Львова упродовж 2017–2021 рр. та у насадженні Харкова упродовж 2016–2023 рр. Це свідчить про адаптацію гіркокаштана звичайного до екологічних змін на даному етапі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *Aesculus hippocastanum L., радіальний приріст дерева, опади, температури, інвазія, Cameraria ohridella Deschka & Dimic 1986*

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

Список використаної літератури

1. Букша І. Ф., Бондарук М. А., Целіщев О. Г., Пивовар Т. С., Букша М. І., Пастернак В. П. Прогноз життєздатності сосни звичайної і дуба звичайного у разі зміни клімату в рівнинній частині України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2017. Вип. 130. С. 146-158. URL: http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000827863
2. Fritts H. C. *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press, 1976. 567 p. URL: https://www.scirp.org/reference/referencespapers? referenceid=1559073
3. Коваль І. М., Шпаківська І. М., Воронін В. О., Чермних М. О. Динаміка радіального приросту гіркокаштана звичайного в насадженнях м. Львова під впливом каштанової мінуючої молі. *Охорона довкілля:* зб. наук. ст. XIX Всеукр. наук. Таліїв. читань (27 жовт. 2023 р.). Харків: ХНУ, 2023. С. 162-64. URL: https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/05/taliev-2023.pdf
4. Максименко Н. В. Овсій М. О. Моделювання і прогнозування кліматичних змін *.Людина та довкілля. Проблеми неоекології,* 2011. № 1-2. С. 37–47. URL: *http://luddovk.univer.kharkov.ua/sites/default/files/Papers/Maximenko.pdf*
5. Zhang, Zh. Tree-rings, a key ecological indicator of environment and climate change. *Ecological Indicators.* 2015. Vol. 51. P. 107-116. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.042
6. Zhang, T., Liu K., Fan, Yu., Yu Shu., Zhang, R., Shang H.…Rakhimov, I. Status and prospects of tree-ring research in Central Asia. *Dendrochronologia.* 2023. Vol. 78. P. 1125-7865. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dendro.2023.126069
7. Cook E. R., Kairiukstis L. A. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. 394 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-015-7879-0
8. Чермних М. О., Коваль І. М. (2024). Дендроіндикація гіркокаштана звичайного в зелених насадженнях Харкова. *Охорона довкілля: зб. наук. ст. XX Всеукр. наук. Таліїв. читань* (25 жовт. 2024 р.). ХНУ, 2024. С. 207-209. URL: https://ekhnuir.karazin.ua/items/4b279a16-6707-4ba6-9b50-aa324f028c41
9. Чермних М., Коваль І. Дендроіндикація гіркокаштана звичайного в зелених насадженнях міст. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи:* зб. тез доп. IV Міжнар. Інтернет-конф. (Харків, 18 квіт. 2025 р.). Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2025. С. 162-165. URL: *https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/21447*
10. *Voronin V., Chermnykh M., & Koval I. Assessment of the impact of climate change on the ecological state of urban plantations of the common horse-chestnut (Aesculus Hippocastanum L.). VI International Scientific Congress Society jf Ambient Intelligence 2023 (student sections), Praha, OKTAN PRINT, 2023, 398-404. URL: https://doi.org/10.46489/ISCSAI-23-30*
11. Коваль І. М., Мікуліна І. М. Дендрохронологічні дослідження кінського каштана звичайного, пошкодженого каштановою мінуючою міллю в Лісостепу. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.10. С. 40-45. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-

bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=nvnltu_2012_22.10_9

12. Коваль І., Максименко Н., Чермних М. Вплив зміни клімату на радіальний приріст гіркокаштана звичайного в зелених насадженнях м. Харкова. *Адаптивний менеджмент ландшафту*.: матеріали міжнар. конф. (Львів–Ворохта, 25–28 вересня 2024 р.). Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2024. С. 152-155. URL: https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/09/AdaptLandMngmnt_2024.pdf
13. Maksymenko, N. V., Medvedeva, Yu. V., Cherkashyna, N. I. Dynamics of the North Atlantic coastal zone's temperature regime as an indicator of changes in the system of thermohaline circulation. Журнал з геології, географії та геоекології. 2018. Т. 27. № 3. С. 478 - 484. DOI: https://doi.org/10.15421/111871
14. Meshkova V. Predicted seasonal development of phytophagous forest insects in the temperate zone. *Advances in Agriculture, Horticulture and Entomology*. 2021. Vol. 6. Article ID AAHE-158. DOI: https://doi.org/10.37722/AAHAE.2021601
15. Meshkova V. L. Foliage-browsing Lepidoptera (Insecta) in deciduous forests of Ukraine for the last 70 years. *Proc. of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*. 2021. № 22. P. 173-179. DOI: https://doi.org/10.15421/412115
16. Chermnykh M. O., Koval I. M. Dendroindication of horse chestnut in green plantings of Kharkiv and Lviv. *Ecology is a priority:* All-Ukrainian English-speaking student conference (March 14, 2025, Kharkiv, Ukraine). Kharkiv: V. N. Karazin National University, 2025. P. 22-24. URI: https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/20978
17. Коваль, І. М., Орловський, О. В. (2025). Дендроіндикація гіркокаштана звичайного в зелених насадженнях Полтави *Scientific Bulletin of UNFU*, *35*(2), 45-54. DOI: https://doi.org/10.36930/40350205
18. Percival G. C., Barrow I., Noviss K. та ін. The impact of horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) on vitality, growth and reproduction of *Aesculus hippocastanum*. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2011. Vol. 10. P. 11-17. URL: https://www.researchgate.net/publication/251700117_The_impact_of_horse_chestnut_leaf_miner_Cameraria_ohridella_Deschka_and_Dimic_HCLM_on_vitality_growth_and_reproduction_of_Aesculus_hippocastanum_L.
19. Cedro A., Nowak G. Influence of horse-chestnut leaf miner invasion on the growth–climate relationship of common horse-chestnut trees from north-western Poland. *Sylwan*. 2022. Vol. 166(2). P. 101-113. DOI: https://doi.org/10.26202/sylwan.2021107
20. Швиденко І.М., Кардаш Є.С., Колєнкіна М.С. Особливості динаміки щільності мін і фенології каштанового мінера (*Cameraria ohridella* deschka & Dimic, 1986) у зелених насадженнях м. Харків. *Біорізноманіття, екологія та експериментальна біологія*. 2020. Вип. 2. С. 60-70. URL: http://journals.hnpu.edu.ua/index.php/biology/article/view/3404
21. Koprowski M., Duncker. P. (2012). *Tree ring width and wood density as the indicators of climatic factors and insect outbreaks affecting spruce growth. Ecological Indicator*. 2012. Vol. 23. 332-337. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.04.007
22. Gavrilov, M. B., An, W., Xu, C., Radaković, M. G., Hao, Q., Yang, F., Guo, Z., Perić, Z., Gavrilov, G., & Marković, S. B. Independent Aridity and Drought Pieces of Evidence Based on Meteorological Data and Tree Ring Data in Southeast Banat, Vojvodina, Serbia. *Atmosphere.* 2019. Vol. 10.10. 586. DOI: https://doi.org/10.3390/atmos10100586
23. Атраментова Л. А., Утевська О. М. *Статистичні методи в біології*: підручник. Горлівка: ЧП «Видавництво Ліхтар», 2008. 248 с.
24. Climate data. URL: https://en.tutiempo.net/climate (дата звернення: 06.05.2025).
25. Коваль І. М. *Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України*. Харків: Мачулін, 2023. 252 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/369825923_Dendrohronologicni_zasadi_ocinuvanna_sosnovih_i_dubovih_derevostaniv_Ukraini

Стаття надійшла до редакції 25.04.2025
Стаття рекомендована до друку 28.05.2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-07
UDK: 502.174.1:628.4.032-048.57](477-22)

N. V. MAKSYMENKO[1], DSc (Geography), Professor,
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
V. O. STOLOV[1],
PhD Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management,
e-mail: v.stolov@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-0679-8168
[1]V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ANALYSIS OF ALTERNATIVES FOR SORTING HOUSEHOLD WASTE IN RURAL AREAS: AT HOME OR AT THE LANDFILL

Purpose. To assess the economic and environmental feasibility of different scenarios for sorting solid waste (pre-sorting in the home and sorting at landfills) and to determine the optimal solution for a rural community, taking into account the specifics of local conditions.

Methods. The calculation of the economic effect of implementing each waste collection scenario, as well as analysis of the regulatory framework for waste management.

Results. The study assesses the waste composition and determination of the economic potential of recyclable materials in Lypkuvativka village of Novovodolazka community in Kharkiv region. The paper describes a comparative analysis of the economic and environmental aspects of two approaches to waste sorting in rural Ukraine: advance sorting in households and sorting of mixed waste directly at landfills. Pre-sorting provides higher quality of recyclable materials and increases community income through the sale of sorted resources, consequently reducing the amount of landfilled waste. Sorting mixed waste at a landfill is less efficient due to high contamination with organic fractions, which reduces the recyclability of the recyclables.

Conclusions. The introduction of advance waste sorting in rural areas of Ukraine is economically and environmentally quite feasible, although it requires initial investment in separate collection containers. In addition, it is necessary to conduct awareness-raising activities with the population.

KEYWORDS: *waste management, sorting, secondary raw materials, rural community, economic benefit, environmental impact*

Як цитувати: Maksymenko N. V., Stolov V. O. Analysis of alternatives for sorting household waste in rural areas: at home or at the landfill. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 93 – 103. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-07

In cites: Maksymenko, N. V., & Stolov, V. O. (2025). Analysis of alternatives for sorting household waste in rural areas: at home or at the landfill. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 93-103. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-07

Introduction

With the rapid growth of both large and small urban areas, as well as their populations, the volume of municipal solid waste (MSW) continues to increase steadily. This trend poses significant challenges for local governments and public utility services.

In addressing this issue, modern society increasingly confronts with the task of MSW disposal—a task made more difficult by the growing variety of modern packaging, synthetic materials, and plastics that decompose slowly in nature. Once introduced into soil and water systems, these wastes decompose under the influence of physical and chemical environmental factors, becoming hazardous to the natural environment and, directly, to human health.

© Maksymenko, N. V., Stolov, V. O., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

To meet the annual needs of a single person, approximately 40 tons of mineral resources are extracted from the Earth. In the best-case scenario, people use only 3–5% of these resources effectively, while the rest contributes to environmental pollution. However, we can transform even this type of pollution into an opportunity. Examples include the processing of mining waste, the extraction of useful substances from slagheaps, and—more widely—the recycling of various polymers.

Many countries that are now leaders in waste recycling and disposal once faced the same problems Ukraine faces today. For instance, in the 1980s, Germany did not practice waste sorting; they either incinerated or buried the waste. The situation began to change only in 1991, when the German government adopted legislation requiring manufacturers to use packaging that is recyclable or biodegradable [1].

In Japan, waste is efficiently recycled into numerous useful products: sportswear, school uniforms, stationery, furniture, and more [1].

Sweden recycles 99% of its waste, with the majority used as fuel for power plants. Sweden even imports waste from other countries, such as Ireland, Norway, and Italy, because it does not generate enough waste domestically [1].

Austria has adopted biotechnology solutions, such as fungal enzymes capable of breaking down plastic and polyester. This allows for a circular plastic economy, where waste from one product is used to create another [1].

In Brazil, the government engaged low-income populations in waste collection: in exchange for six bags of sorted waste, people receive one bag of food. As a result, they collect around 400 tons of waste monthly for recycling, and the city of Curitiba became a world leader in household waste collection [1].

India, which faces acute pollution challenges, has found innovative uses for waste: for example, they use plastic bags and candy wrappers in road construction [1].

In Finland, you can return hazardous waste such as light bulbs and batteries to any store that sells them. Supermarkets are equipped with machines that accept bottles and glass containers, issuing a receipt that customers can redeem at checkout. Every pharmacy accepts expired medicines. Additionally, clothing collection points are located throughout the country, with donations often sent to countries in need through the Red Cross [1].

Europeans are learning to embrace reusable items: bringing fabric bags to stores, using personal cups for takeaway coffee, and replacing plastic straws with reusable alternatives. While these changes may seem minor, their impact is significant—one plastic straw can take 500 years to decompose, despite being used for only a few minutes [2].

The European Parliament approved legislation banning certain single-use plastic products in the EU starting in 2021, including disposable cutlery and cotton swabs. It is projected that by 2029, 90% of plastic bottles will be recycled and reused [2].

In Germany and the Netherlands, new stores sell products like pasta, spices, and juices in paper packaging.

In Belgium, there is a ban on plastic bags, so citizens rely on bags made from recycled materials [2].

Municipal solid waste (MSW) management remains one of the most pressing challenges of sustainable development, both in urban and rural communities across Ukraine [3]. However, rural areas often face exacerbated issues due to the lack of proper infrastructure for waste collection and disposal. This leads to the proliferation of unauthorized landfills, which harm the environment by contaminating soil and groundwater, while also wasting potentially valuable recyclable materials [4].

Problem Statement. In Ukraine, more than 27 billion tons of solid waste have already accumulated, occupying over 1.6 million square kilometers of land – an area equivalent to one-tenth of Ivano-Frankivsk region's territory – land otherwise suitable for economic use. The issue of municipal solid waste (MSW) disposal is one of national importance. According to the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 554 dated June 27, 1995, titled *"On the list of types and objects of activities that pose increased environmental danger,"* the problem of destruction, processing, storage, burial, and utilization of all types of industrial and domestic waste ranks third in priority, after nuclear energy and nuclear industry concerns.

Currently, Ukraine is home to tens of thousands of landfills, many of which are unauthorized. In the absence of designated waste collection infrastructure, residents often dump their waste into forest belts, ravines, and gullies [5]. Even registered MSW landfills pose environmental risks if they lack sorting and recycling facilities. However, unauthorized dumpsites are far more dangerous due to the complete

absence of oversight, environmental protection measures, and tax contributions [6]. While Ukraine has nearly 6,000 official landfills, the number of illegal (uncontrolled) dumps is estimated to be as high as 30,000, covering approximately 7% of the country's territory. The total volume of waste stored at all landfills—including industrial sites—exceeds 450 million tons annually, a significant portion of which is classified as hazardous [6].

Unauthorized dumpsites often contain waste of extremely high hazard levels. These sites are usually located in close proximity to residential areas—in forest belts, along highways, riverbanks, or within steppe zones—without consideration for sanitary regulations. Toxic substances contaminate large areas, threatening rare species of flora and fauna. Moreover, nearby settlements suffer from polluted drinking water and pungent odors from toxic emissions. In response, Ukraine's Ministry of Ecology and Natural Resources has launched an interactive online map of illegal landfills, where users can report coordinates of discovered dumpsites [6].

A review of scientific literature on unauthorized landfills can shed light on the scale of environmental contamination and its implications for human health and ecosystems.

Studies on illegal landfills are diverse and include scholarly journal articles, books, field reports, and research findings. For example, Mahajan Rinnie [7] notes that in recent years, the global issue of MSW management has gained significant attention. The problem is more acute in developing countries, where a lack of capital and resources has rendered existing waste generation, sorting, storage, collection, and disposal methods unsustainable. Unregulated dumping and open burning of waste are common practices in such regions, posing serious environmental and health risks. These practices lead to severe air, water, and soil pollution, increasing mortality and disease rates. Mahajan's study [7] examines the environmental consequences and public health risks of improper waste management, with a specific focus on environmental sustainability rather than economic or social factors. The author emphasizes the urgent need to shift toward ecologically responsible and sustainable waste management in order to preserve ecosystems, support green economies, and uphold social equity for both current and future generations.

Further research [8] aims to understand better the impact of leachate infiltration on groundwater quality at an uncontrolled municipal landfill in Zhoukou, Henan Province, China. The study examined inorganic pollution in surface and groundwater samples collected from the site, analyzing isotopic composition and concentrations of various physical and chemical parameters. Irrigation return flows during summer months influenced the groundwater quality in shallow aquifers. The author has developed a two-dimensional advective-dispersive transport model, using MODFLOW and MT3DMS to assess contamination transport mechanisms [8]. Simulation of chloride migration using steady state and transient flow models showed that, even after 13 years of landfill operation, the contamination plume remained mostly confined to the upper aquifer. The limited migration distance, despite high chloride concentrations, pointed to additional local sources of salinity in the aquifer system.

Another study [9] emphasizes how seasonal water table fluctuations and vertical hydraulic gradients significantly influence plume migration beneath landfills. These dynamic conditions control contaminant transport and redox conditions in groundwater systems.

A distinct group of studies explored humic substances in groundwater near landfills. In [9], experiments were conducted to isolate and analyze dissolved organic carbon (DOC) fractions—humic acids, fulvic acids, and hydrophilic substances—from landfill-contaminated groundwater. Around 82–83% of total DOC was recovered from samples, with fulvic acids accounting for 60%, hydrophilic fractions 30%, and humic acids 10%. Each fraction made a significant contribution to overall DOC content and differed in molecular weight distribution.

Study [10] investigates the attenuation characteristics of landfill leachate observed at two uncontrolled landfill sites in South Korea. Both sites contain municipal solid waste but lack a proper bottom liner and leachate treatment system. The two landfills differ in age, waste volume, and—most importantly—in their hydrogeological conditions. One site, the Cheonan landfill, is located on an open plain, while the other, the Wonju landfill, is in a valley.

The article [10] provides detailed insights into the attenuation processes and redox conditions of leachate at both uncontrolled landfills.

Variations in different parameters were studied along the groundwater flow path and were monitored monthly over the course of a year. Typical anaerobic conditions were within the landfills. Generally, higher concentrations of pollutants

were during the dry season, while these levels decreased significantly during the wet season. Notably, the considerable reduction in chloride (Cl) concentrations during the rainy season suggests that dilution or mixing is one of the dominant mechanisms of leachate attenuation.

However, the detailed behavior of variations differed between two landfill sites and largely depended on the permeability of surface and subsurface layers. Some rainfall infiltrates the site at landfills with moderate surface permeability, but most rainwater is lost due to rapid surface runoff. In the case of the Cheonan landfill, a nearly impermeable clay silt surface (a rice field) adjacent to the landfill boundary prevents direct infiltration of rainwater. As a result, the redox conditions in the groundwater were strongly influenced by the state of the upper landfill layer, while the less permeable materials beneath the rice fields caused leachate dispersion within the lower downgradient zone.

At the Wonju landfill, there are three distinct zones with different levels of permeability: the landfill area itself, an open sandy field, and a rice field. The roles of the landfill and rice field at this site were very similar to those at Cheonan. The highly permeable sandy field, which absorbed significant quantities of rainwater, played a key role in controlling the redox conditions in the downgradient zone and in governing contaminant migration [10].

Despite the adoption of the National Waste Management Strategy of Ukraine until 2030 [11], many issues in this area remain unresolved.

Ukrainian researchers pay significant attention to the problem of unauthorized landfills. For example, a group of scientists from the Odesa State Environmental University [12] conducted a study on the accumulation of plastic waste in the waters of the northwestern Black Sea. During the study, they surveyed the territories of Odesa and Mykolaiv regions and created a cartographic scheme of MSW landfill locations—both authorized and unauthorized. Their research found that “a significant portion of plastic waste—primarily from unauthorized municipal solid waste dumpsites—is carried by air currents into river systems and, in the case of proximity to the coastline, directly into the waters of the Black Sea” [12].

These are just a few examples of scientific publications that may be useful for studying the issue of unauthorized landfills. It is crucial to rely on research and publications from responsible and credible sources to obtain the most accurate and reliable information.

Landfills are areas of land where household, construction, and other types of waste are stored illegally. In some cases, such dumpsites are deliberately set on fire to reduce the volume of waste. This practice is highly inappropriate, as burning waste severely harms the ecosystem—damaging soil, biota, and polluting the atmosphere.

Unauthorized dumpsites are not equipped with systems for groundwater protection, biogas and leachate capture and treatment, as is the case with engineered landfills. As a result, they fail to prevent the negative environmental impacts of waste accumulation.

Responsibility for the creation of such dumpsites lies with the waste owner, who is legally obliged to comply with waste handling regulations and prevent environmental pollution.

If violations of legal requirements regarding the transportation, storage, disposal, or burial of waste are identified, offenders are subject to administrative liability under Article 82 of the Code of Administrative Offenses of Ukraine. Improper waste management is punishable by a fine ranging from twenty to eighty non-taxable minimum incomes (UAH 340 to 1360) for individuals, and from fifty to one hundred minimum incomes (UAH 850 to 1700) for officials and individual entrepreneurs [5].

In cases where unauthorized dumpsites lead to soil contamination, violators are subject to Article 52 of the Code of Administrative Offenses. This article states that the degradation of agricultural or other land and its pollution by industrial or other waste is punishable by the same range of fines: UAH 340 to 1360 for individuals and UAH 850 to 1700 for officials and business representatives.

Under Article 73 of the Code of Administrative Offenses, littering of forests is subject to a fine ranging from UAH 425 to 850 for individuals, and UAH 850 to 1700 for officials.

Criminal liability is provided for in cases of land pollution or degradation, particularly when it results in danger to the environment or to human life and health. According to Article 239 of the Criminal Code of Ukraine, such actions may be punished by a fine of up to 200 non-taxable minimum incomes (up to UAH 3400), or by disqualification from holding specific positions or engaging in certain activities for up to three years.

Civil liability, regardless of whether administrative or criminal charges are applied, requires compensation for damage caused by violations of waste management legislation. This

damage may affect both human health and the environment [5].

Disciplinary liability applies to individuals who violate waste management legislation in the course of performing their official job duties.

Waste located at unauthorized dumpsites is considered ownerless, as its generator is unknown. In such cases, responsibility for the proper handling and elimination of the waste lies with local self-government authorities.

If an unauthorized landfill is located outside a residential area, the responsibility for its removal falls under the jurisdiction of local state administrations.

Landowners on whose property ownerless waste is discovered are required to notify local authorities within five calendar days. Such waste must be formally registered and placed on record.

The grounds for classifying waste as ownerless and recording it include:

1. Notifications from landowners or land users regarding the presence of such waste;
2. Reports from citizens, businesses, organizations, or media outlets;
3. Results of inspections conducted by the State Environmental Inspectorate of Ukraine and the State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection [5].

Upon receiving such notifications, local authorities and regional administrations are required to determine the quantity, composition, properties, and estimated value of the waste, as well as its level of environmental and health risk, and to take measures to identify the waste owners. Where necessary, law enforcement agencies and relevant specialists may be involved.

In the event of discovering an unauthorized dumpsite, it is necessary to report it to the local government or state administration in whose territory it is located.

Additionally, a formal complaint should be submitted to the State Environmental Inspectorate with a request to conduct an inspection for compliance with waste management regulations and to calculate the damages incurred by the state caused by violations of environmental law [5].

Waste management is a system of measures involving the collection, transportation, processing, and secondary use or disposal of waste, as well as oversight of the entire process. Waste is the end result of human activity. Such measures are essential for reducing the harmful impact of waste on human health and the environment.

Thanks to organized waste management systems, it is now possible to extract secondary raw materials from waste. These systems encompass solid, liquid, gaseous, and radioactive substances, with various treatment methods and potential for future reuse [13, 14].

The use of secondary raw materials helps address the following key challenges:

- Conservation of non-renewable natural resources such as water, plant, and animal resources;
- Creation of low-waste production processes;
- Reduction of energy consumption;
- Improvement of the overall environmental situation [13, 14].

This gives rise to the urgent need for the development of a comprehensive waste management system that ensures:

- Implementation of measures to protect public health and the environment from the negative effects of waste processing;
- Systems that eliminate the risk of environmental harm and health hazards for residents living near waste treatment facilities;
- Conditions that prevent harm to workers, damage to equipment, or loss of property during waste disposal operations [13].

The purpose of this study is to evaluate the economic and ecological feasibility of different scenarios for sorting municipal solid waste (MSW) and to determine the most optimal solution for a rural community, considering local environmental and socio-economic conditions.

Study Area and Methodology

The focus of this research is the MSW management system in the village of Lypkuvatyvka, located within Novovodolazka community of Kharkiv region.

Subject of Study: This research examines the economic and environmental characteristics of waste sorting at two levels:

- Household-level source separation; and
- On-site sorting directly at an unauthorized landfill.

Methods of Research

- Waste Composition Assessment:
  We conducted on-site analysis of mixed waste composition at the investigated landfill by selectively weighing and classifying waste into categories (organic

matter, plastics, glass, metals, paper, electronics, etc.).

– Economic Calculation:
The total annual volume of waste at the dumpsite was estimated, and potential revenue from the sale of recyclable materials was calculated. We compared two scenarios:
  - Early (source-level) sorting
  - Late (landfill-level) sorting

Evaluation considered potential financial returns and the degree of contamination affecting recyclability [15].

– Legal and Regulatory Analysis:
Review of National legislation, including the Law of Ukraine "On Waste Management" [3], and local regulations governing MSW collection and transportation. Additionally, considering of best practices and guidelines for organizing waste separation in rural areas and small towns [16].

The obtained data through fieldwork at the unauthorized landfill and via a survey of local residents regarded their willingness and ability to separate waste. Economic estimates used average market prices for recyclable materials (plastic, paper, metals, and glass) at the time of the study.

Research Results

The research was conducted at an unregulated landfill located within Novovodolazka rural community (Fig.). Specifically, the study site is in the village of Lypkuvatyvka. This location is notable not only for its permanent residents but also for a significant number of seasonal visitors (summer residents). These two population groups—local villagers and seasonal dacha owners—are roughly equal in number and are geographically separated by a system of three natural ponds fed by springs.

There is a working hypothesis that dacha owners are more environmentally conscious and responsible in their approach to waste disposal, as they tend to maintain cleanliness to enjoy the natural surroundings they visit.

During the fieldwork stage, measurements of the contaminated area were carried out using Geographic Information Systems (GIS) tools. The estimated dimensions of the landfill are 200 meters by 80 meters. The total surface area of the site is approximately 1.6 hectares [17].

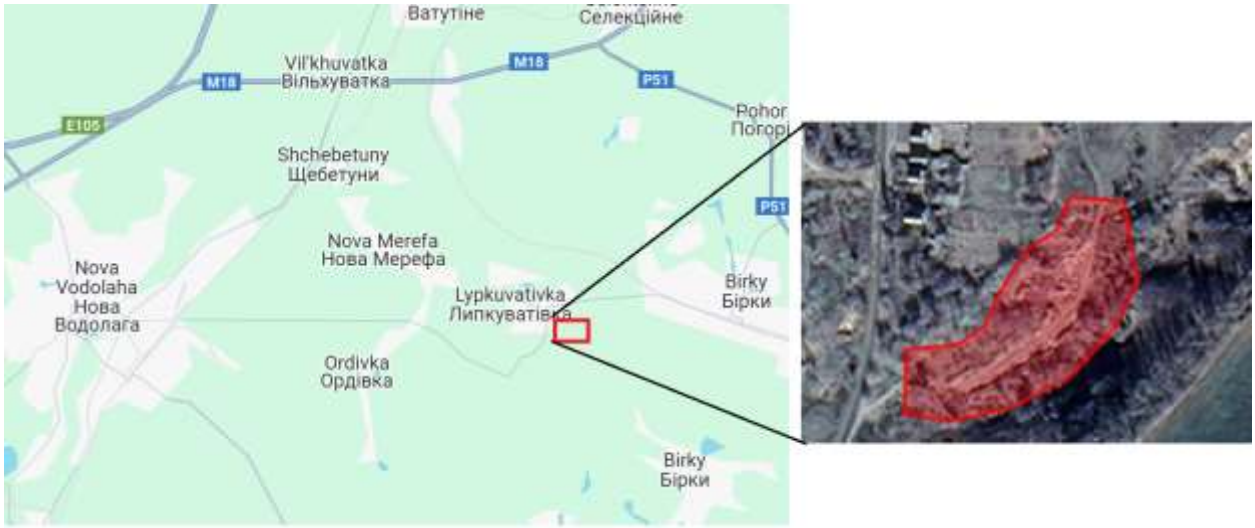


Fig. – Location of an unauthorized landfill

The village of Lypkuvatyvka, located within Novovodolazka community in the Kharkiv region, illustrates a typical situation: mixed waste (including organic matter, plastics, glass, metals, wood, and paper) accumulates without proper sorting, rendering part of the materials unsuitable for recycling.

As increasing the collection and recycling rates is critical to achieving circularity, it is essential to identify the categories of waste that are most relevant for processing and recovery [18]:

- Textiles, due to the complexity of textile value chains, the influence of fast fashion, the currently limited reuse of textile prod

ucts, and their significant contribution to waste accumulation and greenhouse gas emissions from industrial wastewater. There is also a need to stimulate demand for environmentally sustainable clothing.

- Electronics, which, when handled through safe and appropriate procedures, represent a valuable opportunity for reuse and remanufacturing, leading to a broader supply of OPSYS-pattern affordable products and enabling the recovery of valuable materials from electronic waste.
- Construction and demolition waste, which will gain particular importance in the context of Ukraine's post-war reconstruction process.
- Plastics, whose unsustainable consumption continues to grow and which constitute a major component of Ukraine's chemical product imports. Strategies to increase the use of recycled plastics, reduce plastic waste, and limit microplastic pollution are essential.
- Batteries, where the expansion of electromobility is giving rise to new value chains. The new Draft Law on Batteries and Accumulators addresses issues related to recycled content, the recovery of valuable materials, and the safe disposal of battery waste. WE need further measures to combat the use of single-use batteries and align national regulations with the emerging EU legislative framework.

Agriculture remains a vital sector of Ukraine's economy. This sector holds considerable potential for improving food processing, storage, and distribution to prevent losses. It may also serve as a source of by-products for use in industrial and energy processes [18].

Minerals and metals are critical raw materials for society, used across nearly every sector of the global economy. Their extraction and subsequent processing will play a key role in enabling clean technologies, sustainable mobility, and digital solutions—all of which are necessary for the transition of all industrial sectors toward climate neutrality and a circular economy.

Despite both European and national legislative requirements [3, 19] mandating separate collection and recycling of household waste, the implementation of such practices in small communities is often hindered by limited financial and technical resources. Consequently, this study examines two alternative waste-sorting scenarios:

- Scenario A: Early-stage (source-level) sorting within households;
- Scenario B: Sorting of mixed waste directly at the dumpsite.

To assess the recoverability of materials disposed of at the unauthorized landfill, we conducted a series of seasonal field inspections. The results enabled the estimation of the average waste composition and the potential value of recyclable materials.

According to the findings, the average composition of 100 kg of mixed waste is as follows:

- Biodegradable waste: 50%
- Plastics: 10%
- Cardboard: 10%
- Glass: 5%
- Metals: 3%
- Wood: 5%
- Electronics: 2%
- Other mixed residuals: 15%

The substantial share of organic waste and cardboard, along with recyclable fractions such as plastics, glass, and metals, indicates a high potential for resource recovery. However,in the absence of source separation, a significant proportion of these materials becomes contaminated and loses value.

Comparison of Two Waste Sorting Approaches

Scenario A: Early Sorting in Households

Advantages:

- Minimal contamination of recyclable fractions by organic matter, enabling higher resale value;
- Reduced volume of waste requiring landfill disposal;
- Positive impact on public awareness and consumer behavior [20].

Disadvantages:

- Initial investment required for purchasing collection containers;
- Need for broad-based public education and engagement campaigns.

Scenario B: Sorting Mixed Waste at the Dumpsite

Advantages:

- Possibility of recovering a portion of recyclable materials from already accumulated waste;
- Potential for job creation for individuals involved in manual sorting (if conducted at a formal sorting facility).

Disadvantages:

- Significant contamination of recyclables (e.g., plastics and paper) with organic matter;

- Higher operational costs for manual sorting and transportation;
- Lower revenues from recyclables due to reduced material quality.

Economic Assessment of the Scenarios. According to preliminary estimates, the annual volume of waste generated in the village of Lypkuvatyvka (2,000 residents × 250 kg per person per year) amounts to approximately 500 metric tons (500 000 kg).

Under Scenario A (early sorting at the household level), approximately 90% of recyclable fractions (plastics, cardboard, glass, metals) can be recovered and sold at relatively high market prices, due to the high material purity. If the system is properly implemented, the total annual revenue from the sale of these recyclables could exceed 650 UAH [15].

Under Scenario B (sorting mixed waste at the dumpsite), the recoverability of recyclable materials drops to around 60%, resulting in reduced annual revenue of approximately 435 UAH [15]. In addition, this scenario requires further investment in sorting infrastructure, wages for sorting staff, and costs associated with mitigating environmental risks.

Environmental Aspects. Early sorting significantly reduces the volume of mixed waste, thereby lowering the load on the landfill. In contrast, sorting at the dumpsite increases the risk of contamination, as valuable components are degraded and organic matter contributes to the generation of **leachate** and **greenhouse gases**. Thus, source-level separation plays a critical role in preventing unauthorized waste disposal and minimizing environmental harm.

Conclusions

This study identified key factors contributing to the emergence of unauthorized landfills, including insufficient waste management infrastructure, lack of alternative disposal methods, and limited public understanding of the environmental consequences of illegal dumping—such as soil, water, and air pollution, as well as loss of biodiversity and ecosystem degradation.

Source-level sorting demonstrated greater economic efficiency, with potential annual revenues exceeding 650,000 UAH, compared to 435,000 UAH from dumpsite-level sorting.

From an environmental standpoint, early sorting reduces the volume of mixed waste and prevents contamination of recyclable materials with organic matter.

The success of early sorting initiatives depends on investment in physical infrastructure (containers, logistics systems) and public education campaigns.

While dumpsite sorting may serve as a short-term transitional measure, a shift toward source separation is essential for long-term sustainability.

The findings support the development of separate waste collection systems in rural communities, offering not only ecological benefits but also opportunities for additional local revenue generation through the sale of secondary raw materials.

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

References

1. Waste Management Abroad: International Experience. Ukrainian Ecological Alliance. (2024, June 21). Retrieved from http://ukrecoalliance.com.ua/upravlinnia-vidkhodamy-za-kordonom-mizhnarodnyy-dosvid/ (in Ukrainian)
2. "Landfill of Ideas" or How Europeans Recycle Waste. European Union in Ukraine. (2024, June 21). Retrieved from https://euukrainecoop.medium.com/звалище-ідей-або-як-європейці-переробляють-відходи-ad4e6a1dbf1c (in Ukrainian)
3. Law of Ukraine "On Waste Management." (2023). Verkhovna Rada of Ukraine Bulletin (VVR), (17). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#n802
4. State Statistics Service of Ukraine. Environmental indicators (2023). Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua (in Ukrainian)

5. Unauthorized Dumpsites: Health and Environmental Hazards and Recommendations. Environment People Law. (2024, June 21). Retrieved from https://epl.org.ua/human-posts/styhijni-zvalyshha-shkoda-zdorov-yu-i-dovkillyu-ta-rekomendatsiyi/ (in Ukrainian)
6. Landfills and Their Impact on the Environment. (2024, June 21). Retrieved from https://www.re-line.com.ua/statti/smittezvalyshha-ta-dovkillya/ (in Ukrainian)
7. Mahajan Rinnie. (2023). Environmental and Health Impacts of Open Dumping of Municipal Solid Waste: A Case Study of Khon Kaen Municipality, Thailand. *Journal of Environmental and Public Health*, 18(1), 18-29. http://dx.doi.org/10.12944/CWE.18.1.3
8. Han, D.M., Tong, X.X., Jin, M.G., Emily, H., Tong, C.S., Song, X.F. (2013). Evaluation of organic contamination in urban groundwater surrounding a municipal landfill, Zhoukou, *China. Environ. Monit. Assess.* 185 (4), 3413–3444 http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.09.008
9. Christensen, J.B., Jensen, D.L., Gron, C., Filip, Z., Christensen, T.H. (1998). Characterization of the dissolved organic carbon in landfill leachate—polluted groundwater. *Water Res.* 32, 125–135. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135497002029
10. Lee, J.Y., Cheon, J.Y., Kwon, H.P., Yoon, H.S., Lee, S.S., Kim, J.H., Park, J.K., Kim, C.G., (2006). Attenuation of landfill leachate at two uncontrolled landfills. *Environ. Geol*. 51, 581–593. Retrieved from https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-006-0353-7
11. National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030 (approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 820), (2017, November 8). Retrieved from http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p (in Ukrainian)
12. Safranov, T. A., Berlinsky, N. A., & Zmienko, D. M. (2020). Plastic of the Solid Domestic Waste on the Coastal Zone of the Northwestern Part of the Black Sea as a Component of Marine Littre. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Ecology"*, (23), 57-66. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-06 (in Ukrainian)
13. Bani, M.S., Rashid, Z.A., Hamid, K.H.K., Harbawi, M. E. Alias, A.B., & Aris, M. J. The Development of Decision Support System for Waste Management: a Review. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2009. (25), 161 - 168. Retrieved from https://scispace.com/pdf/the-development-of-decision-support-system-for-waste-1df8tg354q.pdf
14. Maksymenko, N. V., Gololobova, O. O., Sonko S. P., Stolov, V. O. & Shiyan, D. V. (2024). Utilization of vegetative waste from green infrastructure of cities "in-situ Volume 1415, Issue 12024 Article number 012127. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 1415(12024}*, 012127. Retrieved from https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1415/1/012127
15. EOS Data Analytics. NDVI Analysis for Environmental Assessment. (2023). Retrieved from https://eos.com/
16. Pestova, I. O. (2015). Methodology for assessing the state of vegetation of urbanized areas using multispectral satellite images. Kyiv
17. Stolov, V. O. (2024). Environmental and Social Aspects of the Formation of Unauthorized Landfills. In: *Environmental Protection: Collection of Scientific Papers from the 20th All-Ukrainian Taliev Readings. Kharkiv: V. N. Karazin National University*. 193–194. Retrieved from https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452 (in Ukrainian)
18. Waste Classifier DK 005-96. Retrieved from https://ips.ligazakon.net/document/FIN7371 (in Ukrainian)
19. European Commission. Green Infrastructure – Enhancing Europe's Natural Capital (2013). Retrieved from https://ec.europa.eu
20. Kravchenko, Ye. I., Stolov, V. O., Maksymenko, N. V. (2025). Determination of public opinion on the organisation of waste collection and sorting systems in rural areas. In N. V. Maksymenko, N. I. Cherkashyna (Eds.). *Ecology is a priority* : All-Ukrainian English-speaking student conference, Kharkiv (2025, March 14, pp.56-57). Kharkiv: V. N. Karazin National University. Retrieved from https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/20978

The article was received by the editors 07.04.2025
The article is recommended for printing 14.05.2025

Н. В. МАКСИМЕНКО[1], д-р географ. наук, проф.,
завідувачка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-mail: maksymenko@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7921-9990
В. О. СТОЛОВ[1],
аспірант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-mail: v.stolov@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-0679-8168
[1]*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,*
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВ СОРТУВАННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У СІЛЬСЬКИХ РАЙОНАХ: ВДОМА ЧИ НА СМІТТЄЗВАЛИЩІ

Мета. Оцінка економічної та екологічної доцільності різних сценаріїв сортування твердих побутових відходів (завчасне сортування в оселі та сортування на сміттєзвалищах) та визначення оптимального рішення для сільської громади з урахуванням специфіки місцевих умов.

Методи. Розрахунок економічного ефекту від реалізації кожного сценарію збору відходів, а також аналіз нормативно-правової бази управління відходами.

Результати. Дослідження базується на оцінюванні складу відходів і визначенні економічного потенціалу вторинної сировини у с. Липкуватівка Нововодолазької громади Харківської області. Виконано порівняльний аналіз економічних і екологічних аспектів двох підходів до сортування відходів у сільській місцевості України: завчасного сортування в домогосподарствах та сортування змішаних відходів безпосередньо на сміттєзвалищах. Виявлено, що завчасне сортування забезпечує вищу якість вторинної сировини й підвищує дохід громади за рахунок продажу відсортованих ресурсів, а також зменшує обсяг захоронюваного сміття. Сортування змішаних відходів на сміттєзвалищі є менш ефективним через високу забрудненість органічною фракцією, що знижує придатність вторсировини до переробки.

Висновки. Запровадження завчасного сортування відходів у сільській місцевості України є економічно й екологічно доцільнішим, хоч і потребує первинних інвестицій у контейнери для роздільного збору. Крім того, необхідно вести інформаційно-просвітницьку роботу з населенням.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *управління відходами, сортування, вторинна сировина, сільська громада, економічна вигода, екологічний вплив*

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

Список використаної літератури

1. Управління відходами за кордоном: міжнародний досвід. *«Український екологічний альянс»*. URL: http://ukrecoalliance.com.ua/upravlinnia-vidkhodamy-za-kordonom-mizhnarodnyy-dosvid/ (дата звернення: 21.06.2024).
2. «Звалище ідей» або як європейці переробляють відходи. *Європейський Союз в Україні*. URL: https://euukrainecoop.medium.com/звалище-ідей-або-як-європейці-переробляють-відходи-ad4e6a1dbf1c (дата звернення: 21.06.2024).
3. Закон України Про управління відходами. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2023, № 17. URI https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#n802
4. Державна служба статистики України. Екологічні показники 2023. URL: http://www.ukrstat.gov.ua
5. Стихійні звалища: шкода здоров'ю і довкіллю та рекомендації. *Екологія Право Людина*. URL: https://epl.org.ua/human-posts/styhijni-zvalyshha-shkoda-zdorov-yu-i-dovkillyu-ta-rekomendatsiyi/ (дата звернення: 21.06.2024).

6. Сміттєзвалища та їх вплив на довкілля (дата звернення 19.04.2024). https://www.reline.com.ua/statti/smittezvalyshha-ta-dovkillya/
7. Mahajan Rinnie. Environmental and Health Impacts of Open Dumping of Municipal Solid Waste: A Case Study of Khon Kaen Municipality, Thailand. *Journal of Environmental and Public Health.* 2023. 18(1). P. 18-29. DOI: http://dx.doi.org/10.12944/CWE.18.1.3
8. Han, D.M., Tong, X.X., Jin, M.G., Emily, H., Tong, C.S., Song, X.F., Evaluation of organic contamination in urban groundwater surrounding a municipal landfill, Zhoukou, China. *Environ. Monit. Assess*. 2013. Vol. 185. N 4. P. 3413–3444. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.09.008
9. Christensen, J.B., Jensen, D.L., Gron, C., Filip, Z., Christensen, T.H. Characterization of the dissolved organic carbon in landfill leachate—polluted groundwater. *Water Res.* 32, 1998. P.125–135. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135497002029
10. Lee, J.Y., Cheon, J.Y., Kwon, H.P., Yoon, H.S., Lee, S.S., Kim, J.H., Park, J.K., Kim, C.G., 2006. Attenuation of landfill leachate at two uncontrolled landfills. *Environ. Geol*. Vol. 51. P. 581–593. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-006-0353-7
11. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. N 820). URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-р (дата звернення: 20.04.2024 р.).
12. Сафранов Т. А., Берлінський М. А., Змієнко Д. М. Пластик твердих побутових відходів прибережної зони північно-західного Причорномор'я як складова морського сміття. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія».* 2020. № 23. С. 57-66. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-06
13. Bani M.S., Rashid Z.A., Hamid K.H.K. et al. The Development of Decision Support System for Waste Management: a Review. *World Academy of Science, Engineering and Technology.* 2009. № 25. P. 161 - 168. URL : https://scispace.com/pdf/the-development-of-decision-support-system-for-waste-1df8tg354q.pdf
14. Maksymenko N. V., Gololobova O. O., Sonko S. P., Stolov V. O. and Shiyan D. V. (2024) Utilization of vegetative waste from green infrastructure of cities "in-situ Volume 1415, Issue 12024 Article number 012127. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1415 012127 URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1415/1/012127
15. EOS Data Analytics. NDVI Analysis for Environmental Assessment. 2023. URL: https://eos.com/
16. Pestova I. O. Methodology for assessing the state of vegetation of urbanized areas using multispectral satellite images. Kyiv. 2015.
17. Столов В.О. Екологічні та соціальні аспекти утворення несанкціонованих сміттєзвалищ. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 193-194. URL: https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/19452
18. Класифікатор відходів ДК 005-96. URL: https://ips.ligazakon.net/document/FIN7371
19. European Commission. Green Infrastructure – Enhancing Europe's Natural Capital (2013). URL: https://ec.europa.eu
20. Kravchenko Ye. I., Stolov V. O., Maksymenko N. V. Determination of public opinion on the organisation of waste collection and sorting systems in rural areas. Ecology is a priority: All-Ukrainian English-speaking student conference, march 14, 2025, Kharkiv / Ed.: N. V. Maksymenko, N. I. Cherkashyna. – Kharkiv: V. N. Karazin National University, 2025. – P. 56-57 (PDF) URL: https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/20978

Стаття надійшла до редакції 07.04.2025
Стаття рекомендована до друку 14.05.2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-08
UDC(УДК): 378.014.543.1(4-6ЄС+474.2)

A. SHKARUBA, PhD (Geography),
Senior Researcher
e-mail: anton.shkaruba@emu.ee ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2536-2123
Estonian University of Life Sciences,
1, Kreutzwaldi Str., 51006 Tartu, Estonia

K. MARRAN,
Head of the Open University
e-mail: Kristina.Marran@emu.ee ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6861-7726
Estonian University of Life Sciences Open University
Fr. R. Kreutzwaldi 56/1-A304, Tartu, Estonia

POLICIES, STRATEGIES AND REGULATIONS ON MICROCREDENTIALS AND LIFELONG LEARNING: EUROPEAN AND ESTONIAN FRAMEWORK

Purpose. Analysis of key policies at both the EU and Estonian levels, including regulatory frameworks governing recognition, accreditation, and quality assurance of microcredentials.

Methods. The analysis references EU-wide strategies and Estonia's national policies, ensuring a comprehensive understanding of how microcredentials are integrated and governed.

Results. Micro-credentials— short, competency-based learning units—have emerged as a promising solution for upskilling and reskilling individuals across sectors, have become a pivotal tool in modern education, especially within the European Union (EU) and Estonia, providing flexible, modular learning opportunities that address the evolving needs of individuals and industries. They serve as a bridge between formal education and workforce skill demands, offering a means for continuous professional development and lifelong learning. As policies and regulations evolve, a structured framework for microcredential recognition, accreditation, and quality assurance ensures their portability, reliability, and alignment with existing qualification systems.

Conclusions. Micro-credentials in EU higher education institutions serve as a crucial tool for skill development, career progression, and academic advancement. Their design prioritizes flexibility, industry relevance, and rigorous quality assurance. Future developments will focus on enhancing stackability, improving employer engagement, and expanding digital credentialing systems to facilitate learner mobility and recognition across different sectors.

KEYWORDS: *Education, Microcredit Programs, Strategy, Policy, Management, Non-Formal Education, Mobility, Framework, Lifelong Learning*

Як цитувати: Shkaruba A., Marran K. Policies, strategies and regulations on microcredentials and lifelong learning: European and Estonian framework. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 104 - 111. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-08

In cites: Shkaruba, A., Marran, K. **(**2025). Policies, strategies and regulations on microcredentials and lifelong learning: European and Estonian framework. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 104 - 111. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-08

Introduction

European countries have considerable experience in implementing a system of continuing education for adults. Estonia successfully implements lifelong learning programmes that have a legal basis [1, 2] and are implemented in accordance with the curriculum, which is focused on learning outcomes, and the principles of learning organisation approved by the lifelong learning institution. The learning outcome is the knowledge and skills acquired as a result of learning, the achievement of which can be confirmed and evaluated.

© Shkaruba A., Marran K., 2025

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

The purpose of this article – analysis of key policies at both the EU and Estonian levels, including regulatory frameworks governing recognition, accreditation, and quality assurance of microcredentials.

The analysis references EU-wide strategies and Estonia's national policies, ensuring a comprehensive understanding of how microcredentials are integrated and governed.

Results and discussion

Policy Documents, Strategies, and Regulations

1. European Union (EU) Policies, Regulations, and Recommendations on Microcredentials and Lifelong Learning Education

The European Union recognizes microcredentials as essential tools for upskilling, reskilling, and ensuring lifelong learning opportunities. Key EU-level policies emphasize their role in bridging education and employment, ensuring their recognition, stackability, and integration into existing qualifications.

Council Recommendation on a European Approach to Microcredentials [3]:

- Defines microcredentials as records of learning outcomes acquired through small-scale learning experiences.
- Recommends integrating them into national qualification frameworks (NQFs).
- Calls for quality assurance mechanisms to align with the European Standards and Guidelines (ESG).
- Advocates for stackability, enabling learners to combine multiple microcredentials into broader qualifications.
- Emphasizes their role in upskilling and reskilling workers in response to labor market needs.
- Supports recognition and portability across EU Member States.
- Recommends a common EU framework to ensure quality and transparency.

MICROBOL Project on Common Framework for Micro-Credentials in the European Higher Education Area [4]:

- Connects microcredentials to the Bologna Process, emphasizing their role in higher education, ensuring alignment with European Higher Education Area (EHEA) tools.
- Provides guidance on recognition procedures, quality assurance, and European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS) applicability.
- Encourages microcredentials to be issued by higher education institutions (HEIs), vocational education and training (VET) providers, and non-formal education institutions.
- Promotes interoperability of microcredentials among higher education institutions.

ENQA Report on Quality Assurance of Microcredentials [5]:

- Emphasizes the need for alignment with European Standards and Guidelines (ESG).
- Highlights challenges in accreditation and quality assurance, emphasizing the need for transparency and alignment with existing educational structures.
- Suggests stackability, portability, and recognition as critical aspects.

OECD Report on Quality Assurance in Adult Education and Training [6]:

- Discusses mechanisms to ensure the credibility and quality of non-formal education, including microcredentials.
- Identifies best practices in quality assurance, governance, and funding models for lifelong learning.

These policies collectively aim to harmonize microcredential frameworks across the EU, ensuring their recognition, portability, and quality assurance.

2. Microcredential Accredittion and Recognition in the EU

Microcredentials in the European Higher Education Area (EHEA) are regulated through a combination of Bologna Process tools, quality assurance frameworks, and recognition agreements. The goal is to ensure that microcredentials are comparable, transparent, and aligned with established qualifications.

The policy documents outlined above provide the following recommendations regarding micro-credentials through the EQF, Bologna Tools, and the Lisbon Recognition Convention.

European Qualifications Framework (EQF):

- Microcredentials should be classified under EQF levels to facilitate cross-border recognition.
- National authorities are encouraged to integrate microcredentials into their National Qualifications Frameworks (NQFs).

Bologna Process Tools:

- Microcredentials should be ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System) compatible, allowing learners to transfer credits between institutions.

- The use of digital certificates is encouraged, ensuring easy verification and alignment with Europass and the Digital Education Action Plan.

Lisbon Recognition Convention (LRC):

- Ensures that learning acquired through microcredentials is recognized by universities, employers, and professional bodies.
- Promotes flexible assessment standards for microcredential recognition.

Digital Education and Recognition:

- The Europass Digital Credentials for Learning initiative enables the secure sharing and authentication of microcredentials across the EU.
- Encourages the adoption of blockchain-based credentialing to enhance trust and transparency.

These frameworks aiming at creating a harmonized system where microcredentials are interoperable, quality-assured, and internationally recognized, enabling seamless mobility for learners and workers.

3. Existing Regulations Governing Microcredential Quality Assurance within EHEA and EU

Microcredentials have emerged as an essential tool for flexible learning pathways, upskilling, and lifelong education. To ensure their credibility and recognition, the European Higher Education Area (EHEA) and the European Union (EU) have established recommendations for the quality assurance mechanisms that align with existing higher education frameworks. These regulations aim to harmonize microcredential standards, ensure transparency, and support cross-border recognition.

Quality Assurance Principles and Regulatory Standards

The quality assurance (QA) of microcredentials is built on three core principles:

- **Transparency** – Clear and standardized information on learning outcomes, credit value, and assessment criteria.
- **Portability** – Recognition across different education systems and labor markets.
- **Stackability** – The ability to combine multiple microcredentials into larger qualifications or degrees.

To implement these principles, several quality assurance frameworks have been recommended to be developed.

Alignment with European Higher Education Standards

- The quality assurance of microcredentials is based on and must adhere to the principles of the **Standards and Guidelines for Quality Assurance in the EHEA (ESG) [7]**.
- The ESG ensures that microcredentials are delivered with the same level of academic rigor as formal degree programs.
- Higher education institutions (HEIs) and training providers issuing microcredentials are subject to internal and external quality reviews.

Recognition through Qualification Frameworks

- Formal recognition of micro-credentials is ensured by their integration into National **Qualifications Frameworks (NQFs)**.
- The **European Qualifications Framework (EQF)** provides a common reference system, allowing microcredentials to be compared across countries.
- Many microcredentials are designed to be **ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System) compatible,** making them transferable within higher education.

Accreditation Mechanisms

- Universities, vocational institutions, and recognized training providers are required to undergo quality assessment process before offering microcredentials.
- Quality agencies assess whether microcredentials meet learning outcome requirements, industry relevance, and assessment standards.
- Euroepan Quality Assurance Register for Higher Education (EQAR [5] registers trustworthy quality assurance agencies in the European Higher Education Area, that comply with the ESG requirements. Often, these quality agencies also oversee the quality of microcredential providers.

Recognition and Cross-Border Portability

For microcredentials to be widely accepted, they must be recognized across borders. The European approach to microcredential recognition is structured around three key frameworks:

Lisbon Recognition Convention (LRC)

- Establishes legal principles for the recognition of microcredentials across EHEA countries.
- Ensures that microcredentials can be evaluated fairly by universities and employers.
- Encourages the use of validation processes for non-formal and informal learning.

Automatic Recognition and Digital Certification

- The EU is promoting **automatic recognition** of microcredentials within higher education institutions.
- **Digital credentialing solutions** (e.g., Europass Digital Credentials) provide secure and verifiable microcredential records.
- **Blockchain technology** is increasingly being explored to enhance the trustworthiness and portability of microcredentials.
- *Employer and Industry Recognition*
- While microcredentials are increasingly accepted in education, **employer recognition varies**.
- Efforts are being made to strengthen **employer engagement** in microcredential quality assurance, ensuring they align with job market needs.
- Microcredentials are being integrated into **corporate training and professional development programs**.

4. Estonian Policies and Regulations on Microcredentials and Lifelong Learning Education

Estonia aligns with EU frameworks while developing national policies that integrate microcredentials into formal education and workforce development. The country has taken steps to institutionalize microcredentials within its education system, recognizing their role in lifelong learning and professional training.

Estonian Education Strategy 2021–2035 [8]:

- Emphasizes modular learning, digitalization, and microcredentials as tools for workforce adaptability.
- Encourages universities, VET institutions, and private training providers to integrate microcredentials into their offerings.
- Highlights employer recognition as a critical factor for success.
- Recognizes microcredentials as part of a flexible education system.
- Emphasizes upskilling and reskilling through modular learning and short-term training programs.
- Supports integration of microcredentials into formal education pathways.

Adult Education Act (Täiskasvanute Koolituse Seadus) – Effective from 2025:

- Defines microcredentials as small, certified units of learning that meet labor market and societal needs.
- Establishes regulations for minimum (5 ECTS) and maximum (30 ECTS) credits for microcredential programs.
- Requires microcredential providers to be registered and subject to quality assurance evaluations.
- Defines microcredentials as certified learning outcomes acquired through supplementary education.
- Regulates quality assurance for microcredential providers – private providers, universities and vocational institutions.
- Establishes a framework for the formal recognition of microcredentials in lifelong learning.

Estonia's approach ensures that microcredentials are not only recognized but actively contribute to professional development, career mobility, and higher education pathways.

Microcredential Accreditation and Quality Assurance in Estonia [9, 10]

Estonia has implemented multiple mechanisms to ensure the quality and credibility of microcredentials. It´s different for private providers (non-formal) and formal institutions.

Quality Assurance Framework for formal Education provider

Microcredentials are aligned with Estonian Qualifications Framework (EKR) levels, ensuring their recognition across industries and educational institutions. If higher education institutions and vocational schools already has the right to offer programs within a specific curriculum group and wishes to introduce a microcredential in that, it only needs to submit an application to Estonian Education Information System (EHIS).

However, if the micro-credential is to be introduced in a new curriculum group, in addition to submitting the application, the institution must undergo a study field quality assessment conducted by Estonian Quality Agency for Education (HAKA).

Quality Assurance Framework for non-formal Continuing Education

All training providers must register in the Estonian Education Information System (EHIS) and comply with established quality standards. Private provider must undergo a study field quality assessment conducted by Estonian Quality Agency for Education (HAKA). A positive evaluation in the curricula group quality assessment is granted if the continuing education institution has demonstrated compliance with the following requirements:

- The resources available for conducting education in the study field are sufficient;

- Adult educators meet the requirements set forth in this law and its implementing regulations;
- The curricula for micro-credential education comply with the standard (separate document)
- The curricula and teaching process adhere to the requirements stipulated in this law and its implementing regulations;
- The learning process is supported and feedback is provided to learners.

Integration of MC with Formal Education in Estonia promotes stackability, allowing learners to combine multiple microcredentials into larger qualifications. The system enables seamless progression between vocational, higher education, and continuing education pathways.

5. Challenges and Future Directions in EU and Estonia

Despite clear regulatory frameworks, there are challenges in implementing a fully harmonized quality assurance system for microcredentials:

- Varied National Implementation – While the EU provides guidelines, member states interpret and apply them differently, leading to inconsistencies in MC quality assurance and recognition.
- Employer Trust and Awareness – Many industries lack understanding of MSs, requiring stronger employer engagement in curriculum development and recognition processes.
- Stackability and Pathways to Degrees – Not all MCs are designed to be stackable, limiting their integration into formal degree programs.
- Digital Credentialing Adoption – While digital solutions enhance transparency and verification, not all institutions have adopted standardized digital credentialing methods.

MC Future Strategies for EU

To address these challenges, the EU and EHEA are focusing on:

- Strengthening Qulity Assurance (QA) agencies' oversight of MC providers.
- Expanding employer involvement in microcredential design and accreditation.
- Developing standardized digital credentialing systems to improve portability and trust.
- Encouraging automatic recognition agreements between universities and employers.

MC Future Directions for Estonia.

Estonia is committed to fully integrating MC into its national education and training system.

Strengthening employer recognition:

- Collaboration with industry stakeholders to ensure MC meet labor market needs.
- Expansion of work-based MC programs for industry-specific skills.

Enhancing digital credentialing:

- Estonia is working towards implementing blockchain-based credentialing for secure and verifiable digital certificates.
- Expansion of Europass Digital Credentials in Estonian higher education institutions.

Improving accessibility and participation:

- Microcredentials will be increasingly used in targeted reskilling programs for unemployed or low-skilled individuals.
- Greater emphasis on digital and green skills, aligned with EU's twin transition strategy.

Estonia's approach ensures that microcredentials are formally recognized, quality-assured, and aligned with national and European qualification standards, fostering greater educational flexibility and employability.

Both the EU and Estonia have policies ensuring that microcredentials are recognizable, accredited, and quality-assured. While EU regulations emphasize cross-border mobility and transparency, Estonia has adopted a strong national framework that integrates microcredentials into lifelong learning, vocational training, and higher education.

6. UK example of Micro Credential Courses Design and Development

The UK has created excellent national-level guidance materials for higher education institutions to explain the nature of micro-qualifications in the country and the principles for their development.

Micro-credentials (MCs) in the UK are designed to provide flexible, short-term learning opportunities tailored to industry and employer needs. They enable lifelong learning, upskilling, and reskilling, often catering to professionals seeking to enhance their skills or pivot careers. UK higher education institutions (HEIs) offer MCs as standalone, credit-bearing courses that can contribute towards formal qualifications.

- **Employment Relevance:** MCs are developed in collaboration with industry partners and professional bodies to ensure alignment with workforce demands.
- **Lifelong Learning:** They provide alternative entry pathways into higher education and allow learners to accumulate and transfer credits towards larger qualifications.

• **Flexible Learning Modes:** MCs are delivered through various formats, including online, blended, and in-person instruction, supporting diverse learner needs.

Admission and Access, Recognition of Prior Learning

UK HEIs ensure that MCs are accessible to a wide range of learners, including those without traditional academic qualifications. Recognition of Prior Learning (RPL) plays a key role in admission policies.

• **Flexible Entry Requirements:** While some MCs may require prior knowledge or experience, many are open to learners with relevant professional experience.

• **Recognition of Prior Learning (RPL):**

- Allows learners to use prior knowledge and skills to gain entry into MC courses.
- Supports credit transfer between institutions and towards larger qualifications.
- Enables learners to stack credentials for career progression or academic advancement.

Course Design, Learning and Teaching, Assessment

MC course design in the UK is centered on flexibility, industry collaboration, and academic rigor.

• **Learning Outcomes:** Clearly defined and aligned with national qualification frameworks.

• **Industry Collaboration:** Courses are often co-designed with employers and Professional, Statutory, and Regulatory Bodies (PSRBs) to ensure relevance.

• **Teaching Approaches:**

- Online, blended, and face-to-face instruction.
- Modular formats that allow learners to engage at their own pace.

• **Assessment Methods:**

- Varied approaches, including portfolios, projects, case studies, and exams.
- Focus on competency-based assessment to validate real-world skills.
- Digital solutions used to support secure and verifiable assessments.

Certification

MCs in the UK follow standardized certification practices to enhance recognition and portability.

• **Standardized Certification Elements:**

- Learner details and awarding institution.
- Learning outcomes and assessment results.
- Credit value (CATS/ECTS) and qualification level.
- Industry or PSRB recognition, where applicable.

• **Digital Certification:**

- Institutions are increasingly adopting digital credentialing platforms for secure verification.
- Blockchain technology is explored to improve credential portability.

Quality Management of Micro-Credentials

Ensuring quality and credibility is essential for MCs in UK higher education.

• **Quality Assurance Frameworks:**

- MCs adhere to the UK Quality Code for Higher Education.
- Institutional autonomy allows adaptation to specific needs while maintaining academic standards.

• **Monitoring and Review:**

- Continuous evaluation through student feedback and industry engagement.
- Regular accreditation and validation by regulatory bodies.
- Emphasis on transparency in assessment and certification processes.

Conclusion

Micro-credentials— short, competency-based learning units—have emerged as a promising solution for upskilling and reskilling individuals across sectors. Micro-credentials in EU higher education institutions serve as a crucial tool for skill development, career progression, and academic advancement [11].

Their design prioritizes flexibility, industry relevance, and rigorous quality assurance. Future developments will focus on enhancing stackability, improving employer engagement, and expanding digital credentialing systems to facilitate learner mobility and recognition across different sectors.

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

References

1. Here is Law what was apply until 30.03.2025. Retrieved from https://www.riigiteataja.ee/akt/110062015010?leiaKehtiv
2. Here is change regarding microdegree regulation. Retrieved from https://www.riigiteataja.ee/akt/130012025001
3. Council of the European Union. (2022). *Council Recommendation on a European Approach to Micro-Credentials for Lifelong Learning and Employability (2022/C 243/02)*. Publications Office of the European Union. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022H0627%2802%29
4. MICROBOL Project. (2022). *Common Framework for Micro-Credentials in the European Higher Education Area*. European Commission. Retrieved from https://microcredentials.eu/wp-content/uploads/sites/20/2022/06/MICROBOL_Final-Framework.pdf
5. European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA). (2023). *Quality Assurance of Micro-Credentials: Expectations within the Context of the Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area*. ENQA Working Group on Quality Assurance of Micro-Credentials. Retrieved from https://www.enqa.eu/publications/QA-of-micro-credentials/
6. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2024). *Quality Matters: Strengthening the Quality Assurance of Adult Education and Training*. OECD Skills Studies. Retrieved from https://doi.org/10.1787/f44a185b-en
7. Standards and Guidelines for Quality Assurance in the EHEA (ESG). (2015). Retrieved from https://www.enqa.eu/wp-content/uploads/2015/11/ESG_2015.pdf
8. Haridus- ja Teadusministeerium. (2021). *Haridusvaldkonna arengukava 2021–2035*. Eesti Haridus- ja Teadusministeerium. Retrieved from https://www.hm.ee/sites/default/files/haridusvaldkonna_arengukava_2035.pdf
9. Quality Assurance Agency for Higher Education (QAA). (2022). *Characteristics Statement: Micro-Credentials*. QAA. Retrieved from https://www.qaa.ac.uk/quality-code/characteristics-statements
10. Eesti Vabariik Riigikogu. (2025). *Täiskasvanute Koolituse Seadus (TäKS) – kehtiv alates 01.04.2025*. Riigi Teataja. Retrieved from https://www.riigiteataja.ee/akt/130012025001
11. Marran, K. (2025). Developing micro-credentials for green economies in Ukraine and Mongolia: a capacity building approach under ERASMUS+ / *Current issues of formal and non-formal education in environmental monitoring and conservation:* Abstracts of IV International Internet-conference (Kharkiv, April 18, 2025). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 170 - 171.

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.

The article was received by the editors 01.05.2025
The article is recommended for printing 08.06.2025

A. SHKARUBA , канд. географ. наук, старший науковий співробітник
e-mail: anton.shkaruba@emu.ee ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2536-2123
Естонсьий університет природничих наук,
Fr. R. Kreutzwaldi 1, 51006, Тарту, Естонія
K. MARRAN, Керівник Відкритого університету
e-mail: Kristina.Marran@emu.ee ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6861-7726
Відкритий університет Естонського університету наук про життя
Fr. R. Kreutzwaldi 56/1-A304, Тарту, Естонія

ПОЛІТИКА, СТРАТЕГІЇ ТА НОРМАТИВНІ АКТИ ЩОДО МІКРОКРЕДИТІВ ТА НАВЧАННЯ ВПРОДОВЖ ЖИТТЯ: ЄВРОПЕЙСЬКІ ТА ЕСТОНСЬКІ РАМКИ

Мета. Аналіз ключових політик на рівні ЄС та Естонії, включаючи нормативно-правову базу, що регулює визнання, акредитацію та забезпечення якості мікрокредитівок.

Методи. Аналіз посилається на загальноєвропейські стратегії та національну політику Естонії, забезпечуючи комплексне розуміння того, як мікрокредитування інтегрується та управляється.

Результати. Мікрокредитівки - короткі навчальні одиниці, що базуються на компетентностях - стали перспективним рішенням для підвищення кваліфікації та перекваліфікації працівників різних секторів. Мікрокредити стали ключовим інструментом сучасної освіти, особливо в Європейському Союзі (ЄС) та Естонії, надаючи гнучкі, модульні можливості навчання, які відповідають потребам окремих осіб та галузей, що постійно змінюються. Вони слугують мостом між формальною освітою та вимогами до навичок робочої сили, пропонуючи засоби для безперервного професійного розвитку та навчання впродовж життя. У міру того, як розвивається політика і регулювання, структурована система визнання, акредитації та забезпечення якості мікрокредитів забезпечує їхню мобільність, надійність і узгодженість з існуючими кваліфікаційними системами.

Висновки. Мікрокредитівки у вищих навчальних закладах ЄС слугують важливим інструментом для розвитку навичок, кар'єрного зростання та академічного просування.. При їх розробці пріоритетами є гнучкість, галузева релевантність та суворе забезпечення якості. Майбутні розробки будуть зосереджені на підвищенні сумісності, покращенні залучення роботодавців та розширенні систем цифрової сертифікації для сприяння мобільності та визнанню кваліфікацій у різних галузях.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *освіта, мікрокредитні програми, стратегія, політика, управління, неформальна освіта, мобільність, рамки, навчання впродовж життя*

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

Список використаної літератури

1. Here is Law what was apply until 30.03.2025. URL:https://www.riigiteataja.ee/akt/110062015010?leiaKehtiv
2. Here is change regarding microdegree regulation. URL: https://www.riigiteataja.ee/akt/130012025001
3. Council of the European Union. *Council Recommendation on a European Approach to Micro-Credentials for Lifelong Learning and Employability (2022/C 243/02)*. Publications Office of the European Union. 2022. URL:https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022H0627%2802%29
4. MICROBOL Project. *Common Framework for Micro-Credentials in the European Higher Education Area*. European Commission. 2022. URL: https://microcredentials.eu/wp-content/uploads/sites/20/2022/06/MICROBOL_Final-Framework.pdf
5. European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA). *Quality Assurance of Micro-Credentials: Expectations within the Context of the Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area*. ENQA Working Group on Quality Assurance of Micro-Credentials. 2023. URL: https://www.enqa.eu/publications/QA-of-micro-credentials/
6. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). *Quality Matters: Strengthening the Quality Assurance of Adult Education and Training*. OECD Skills Studies. 2024. URL: https://doi.org/10.1787/f44a185b-en
7. Standards and Guidelines for Quality Assurance in the EHEA (ESG) Retrieved from https://www.enqa.eu/wp-content/uploads/2015/11/ESG_2015.pdf
8. Haridus- ja Teadusministeerium. *Haridusvaldkonna arengukava 2021–2035*. Eesti Haridus- ja Teadusministeerium. 2021. URL: https://www.hm.ee/sites/default/files/haridusvaldkonna_arengukava_2035.pdf
9. Quality Assurance Agency for Higher Education (QAA). *Characteristics Statement: Micro-Credentials*. QAA. 2022. URL: https://www.qaa.ac.uk/quality-code/characteristics-statements
10. Eesti Vabariik Riigikogu. *Täiskasvanute Koolituse Seadus (TäKS) – kehtiv alates 01.04.2025*. Riigi Teataja. 2025. URL: https://www.riigiteataja.ee/akt/130012025001
11. Marran K. Developing micro-credentials for green economies in Ukraine and Mongolia: a capacity building approach under ERASMUS+ / Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи : зб. тез доповідей IV Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 18 квітня 2025 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. С. 170-171.

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.

Стаття надійшла до редакції 01.05.2025 Стаття рекомендована до друку 08.06.2025

ЗАПОВІДНА СПРАВА

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-09
УДК (UDC): 991.9:502

Л. П. ЦАРИК[1], д-р географ. наук, проф.,
завідувач кафедри геоекології та гідрології,
e-mail: tsarykl55@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0944-1905
А. В. КУЗИШИН[1], д-р географ. наук, проф.,
професор кафедри географії України і туризму,
e-mail: kuzyshyn_a@tnpu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3879-7337
П. Л. ЦАРИК[1], канд. географ. наук, доц.,
доцент кафедри географії України і туризму,
e-mail: pitertsaryk@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4503-4437
[1]*Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка,*
вул. М. Кривоноса 2, м.Тернопіль, 46015, Україна

ПЕРСПЕКТИВНІ РЕГІОНАЛЬНІ ЛАНДШАФТНІ ПАРКИ – РЕЗЕРВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАПОВІДНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ МЕРЕЖ ТЕРНОПІЛЬЩИНИ

Мета. Розробка шляхів функціонально-просторового удосконалення заповідної і екологічної мереж за рахунок залучення перспективних до заповідання регіональних ландшафтних парків Тернопільської області.

Методи. Методологічною основою дослідження є концептуальні положення функціонально- просторових особливостей функціонування регіональних заповідної та екологічної мереж, з визначенням заповідного та рекреаційного потенціалу природних комплексів та людських потенціалів міських населених пунктів, з урахуванням особливості їх спорідненості з міськими поселеннями, транспортною мережею, рекреаційною інфраструктурою, функціональною наповненістю, завершеністю, ступеню зв'язаності з використанням методу графів.

Результати. Створення запропонованої мережі регіональних ландшафтних парків істотно покращить заповідність 21 територіальної громади, що складає 38% територіальних громад області. Із 21 територіальних громад 16 мають низький показник заповідності. Після врахування потенційної заповідності цей показник зростає у дев'ять, а подекуди в десять і більше разів (Вишнівецька, Скала-Подільська, Білобожницька, Микулинецька, Нараївська, Зборівська територіальні громади). Три територіальні громади матимуть показник заповідності європейського рівня (Залозецька, Бережанська, Чортківська). Враховуючи наявність у них значних природних та історико-культурних рекреаційних ресурсів, є усі передумови розвивати різні види рекреації і туризму. Наведені картосхеми заповідності територіальних громад демонструють, що створення перспективних 20 регіональних ландшафтних парків істотно диференціює їх за показником заповідності. При цьому заповідна площа в області збільшиться і зросте заповідність області з 8,95% до 14,21%.

Висновки. Запропоновані заходи сприятимуть покращенню сприяє покращенню територіальної організації заповідної та екологічної мереж від локального до регіонального рівнів, активізації туристсько-рекреаційної діяльності господарського сектора, долучивши до цієї сфери потенціали територіальних громад.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *регіональний ландшафтний парк, заповідна мережа, екомережа, ступінь заповідності, функціональна. оптимізація, територіальна організація*

Як цитувати: Царик Л. П., Кузишин А. В., Царик П. Л. Перспективні регіональні ландшафтні парки – резерви оптимізації заповідної та екологічної мереж Тернопільщини. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 112 - 123. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-09

In cites: Tsaryk L. P., Kuzyshin A. V., Tsaryk P. L. **(**2025). Prospective regional landscape parks – reserves for optimization of the reserve and ecological network of Ternopil region *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (43), 112 -123. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-09 (in Ukrainian)

© Царик Л. П., Кузишин А. В., Царик П. Л., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Вступ

Тернопільщина є батьківщиною формування першого в Україні регіонального ландшафтного парку (РЛП) «Дністровський каньйон» у 1990 році з ініціативи відомого природодослідника М.П. Чайковського. За його участі створено ще два РЛП в області у 1993 році. І з тих пір за 32 роки продукуємо тільки перспективні РЛП загальною кількістю 20 одиниць. Ними наповнені програми перспективних для створення заповідних мереж, починаючи з нового тисячоліття. Перші обґрунтування мережі із семи РЛП опубліковано [1] у 2005 році, обґрунтування ще семи РЛП здійснено науковцями кафедри геоекології та методики її викладання спільно з представниками робочої групи, що працювала над розробкою регіональної схеми екомережі у 2006 році. У 2009 році при розробці і затверджені чергової програми перспективної мережі територій та об'єктів Тернопільської області до неї включено 13 РЛП. У 2012 році [2] науковцями кафедри геоекології та методики навчання екологічних дисциплін обґрунтовано відомі на той час 8 РЛП. Загалом 20 регіональних ландшафтних парків було запроектовано до створення в області. Відома низка об'єктивних причин, що сприяли постійному відкладанню задуманого. Однак головною серед них була відсутність належної комунікації, фактично блокування пропозицій представниками бувшого управлінням лісового господарства. Окрім того, до вирішення цього питання не була долучена громадськість і зрештою обласний підрозділ з екології та природних ресурсів не настоював на вирішені даної проблеми.

Аграрно освоєнні території, до яких належить Тернопільська область, фактично вичерпали можливість створювати велико площинні заповідні об'єкти. Найбільш реальними до створення заповідними територіями, які можуть істотно вплинути на збільшення заповідності адміністративних районів і області загалом, є регіональні ландшафтні парки (РЛП). Фактично на сьогодні наявними є підготовленні подання на їх створення, а їх просторова організація узгоджена з існуючою регіональною екомережею. На рівні малодослілжених на предмет заповідності територіальних громад з рівнем заповідання менше 1% можна вишукувати перспективні до заповідання заказники, пам'ятки природи, заповідні урочища. На досягнення оптимальної заповідності у 10-12% у Тернопільській області у найближчий час є усі передумови, керуючись програмою охорони навколишнього природного середовища в Тернопільській області на 2021-2027 роки [3]

Перша інформація про перспективну мережу регіональних ландшафтних парків з'явилась у монографії [1], у якій при аналізі перспективних заповідних об'єктів особлива увага приділена висвітленню перспективних РЛП у кількості 12 одиниць. У 2012 році вийшла праця Черняка В.М., Синиці Г. Б. Пятківського І.О. присвячена унікальні перлини природи Тернопільщини частина з яких знаходиться у межах прjпонованих РЛП [4]. У 2023-24 роках опубліковано ряд праць, присвячених оптимізації заповідної і екологічної мереж Кременецького району [5, 6], заповідної і екологічної мереж Тернопільського адміністративного району [7, 8], оптимізації заповідної і екологічної мереж Чортківського адміністративного району [9]. Крім того у монографічному дослідженні з питань трансформації геоекологічних процесів у басейні річки Джурин подана концепція та обґрунтуванню схему заповідної мережі річково-басейнової системи. Згодом при дослідженні річково-басейнової системи Гнізни у 2024 році обґрунтовано підходи щодо оптимізації заповідної мережі та екомережі у її межах.

Сучасне бачення дієвих заходів стосовно регіональної заповідної мережі опубліковано у 2023 році [10] та міжнародному виданні Люблінського університету [11]. Окремі аспекти геоекологічних вимірів розвитку екотуризму в мережах національних природних та регіональних ландшафтних парків України розглянуті авторами у публікації 2020 року [12].

Наукові засади розвитку регіональних ландшафтних парків «Княжий ліс», «Збаразькі Товтри», «Бариський» на сучасному етапі розглянуто у 2022 році [13, 14, 15]. Проблемам функціонування регіональних ландшафтних парків міських екосистем присвячена праця [16]. Науковцями географічного факультету Львівського національного університету опубліковано серію статей присвячених проблемам функціонування РЛП [17, 18], ролі неживих пам'яток природи в РЛП «Равське Розточчя» [19], та питанням оптимізації мережі РЛП України [20].

Питання охорони цінностей регіональних ландшафтних парків Польщі [21] розглянуті також у публікації Jermaczek D. [22]. Аналіз мережі парків Європи як моделей сталого розвитку сільських територій подано у праці [23].

Метою є розробка шляхів функціонально-просторового удосконалення заповідної і екологічної мереж за рахунок залучення перспективних до заповідання регіональних ландшафтних парків Тернопільській області.

Об'єкт дослідження – мережа перспективних до заповідання РЛП. **Предмет** – функціонально-просторові наслідки для заповідної й екологічної мереж області на різних рівнях їх організації.

Методи

Методологічною основою проведеного дослідження є концептуальні положення функціонально-просторових особливостей функціонування регіональних заповідної та екологічної мереж [12]. Процес виявлення та формування мережі РЛП пов'язаний з визначенням заповідного та рекреаційного потенціалів природних комплексів та людських потенціалів міських населених пунктів. При формуванні мережі перспективних РЛП враховувались особливості їх спорідненості з міськими поселеннями, транспортною мережею, рекреаційною інфраструктурою. Мережа перспективних для створення РЛП співставлялася з розробленою схемою регіональної заповідної та екомережі [11], їх базовими структурними елементами. При цьому враховувались такі особливості поєднаних схем: їх функціональна наповненість, завершеність, ступінь зв'язаності з використанням методу графів.

Результати дослідження

В умовах соціалізації природо-заповідання посилення ролі екологічних чинників у структурі регіональних господарських комплексів, перед дослідниками поставлено завдання оптимізувати регіональну заповідну та екологічну мережі, розбудова яких є гарантом збереження біотичного і ландшафтного різноманіть краю. Для ефективного збереження біорізноманіття важливе значення мають функціональна і просторова структури заповідних і екомереж. Оскільки регіональні ландшафтні парки є заповідно-рекреаційною категорією місцевого значення, а це означає, що насичення заповідних мереж цими категоріями сприяє посиленню ролі в них елементів регіонального значення, розширенню місць організованого відпочинку на місцевому рівні, залучаючи до надання рекреаційних послуг населення територіальних громад.

Перші відомості про перспективні ландшафтні парки Тернопільської області з'явились ще у 90-х роках минулого століття у навчальному посібнику із заповідної справи. У монографічному дослідженні з регіональних еколого-географічних проблем області, опублікованій у 2005 році вперше описано перспективну мережу із 12 РЛП з картографічним зображенням місць їх приуроченості [1] (рис.1). Подальші наукові напрацювання науковців кафедри геоекології та гідрології (від 2024 року)., інших кафедр географічного факультету та фахівців заповідної справи природного заповідника і двох НПП дали можливість обґрунтувати перспективну мережу РЛП, представлену у таблиці 1.

Як випливає з наведеної таблиці у восьми ландшафтних районах могли б з'явитися ключові території, необхідні для збереження ландшафтного різноманіття у малополіському, вороняцькому і опільському ландшафтах. Створення ключової території РЛП «Розтоцькі Товтри» дало б можливість збереження Мильнівського товтрового ландшафту. Створення ключової території РЛП «Збаразькі Товтри» сприяло б збереженню Збаразького товтрового ландшафту. Формування Вертелківського РЛП дало б можливість повноцінного збереження різноманіття лановецького ландшафту. Створення ключової території РЛП «Бережанське Опілля» гарантувало б збереження біотичного і ландшафтного різноманіття Західно-Подільського горбогірного району. Бачимо відсутність у чотирьох ландшафтних районах і двох товтрових округах базових ключових територій, що не сприяє повноцінному збереженню біотичного і ландшафтного різноманіть. Це є важливою проблемою забезпечення регіональної екомережі необхідними ключовими територіями для ефективного її функціонування.

Змоделюємо ситуацію, щоб простежити як зміниться ситуація з заповідністю в області, адміністративних районах, а найважливіше в територіальних громадах, якщо створити запропоновані РЛП. Зведена інформація наведена у табл.2.

Створення запропонованої мережі РЛП істотно покращить заповідність 21 територіальної громади, що складає 38% територіальних громад області. Із 21 територіаль-

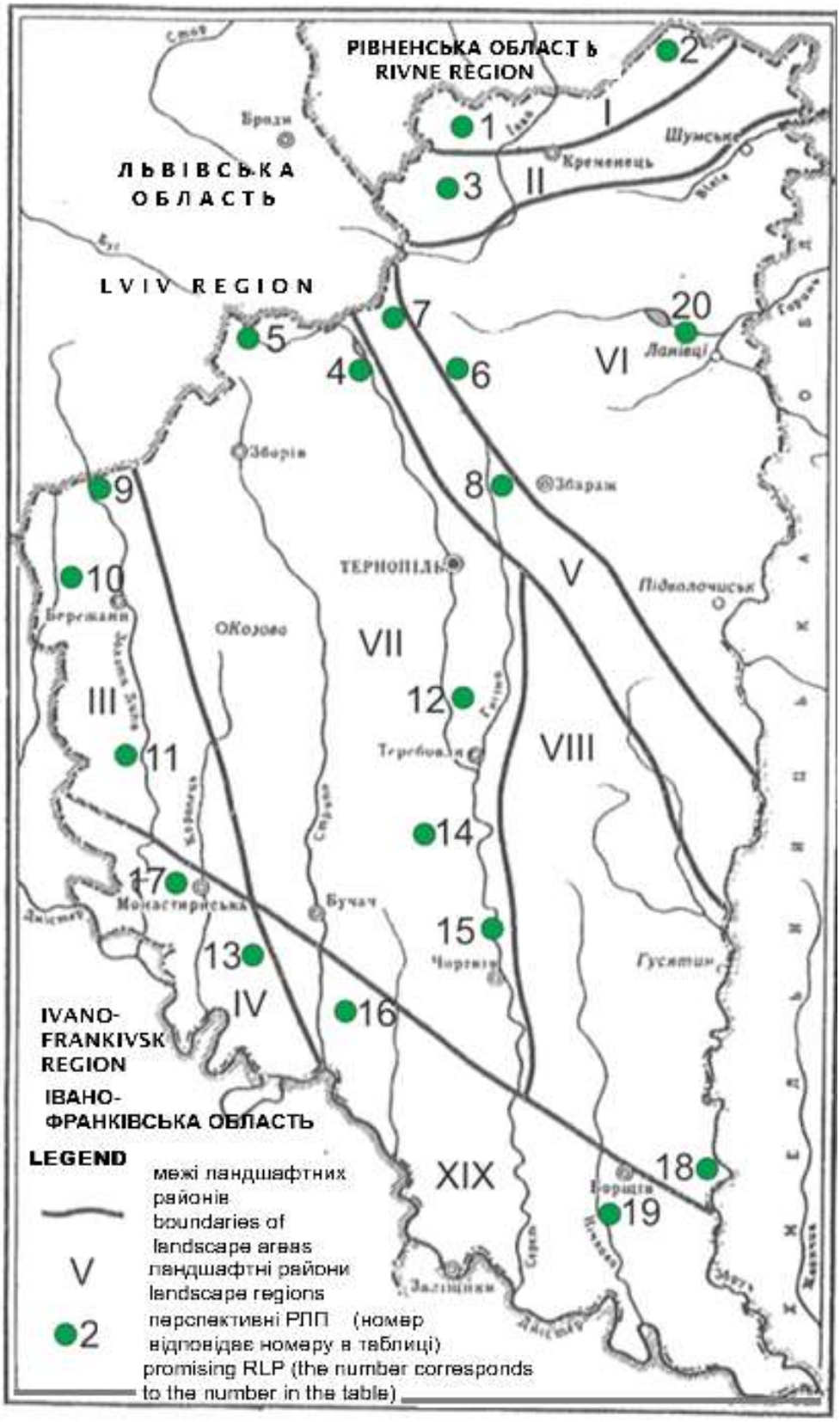


Рис. 1 – Перспективні регіональні ландшафтні парки в межах ландшафтних районів Тернопільської області

Fig. 1 – Promising regional landscape parks within the landscape districts of Ternopil region

Таблиця 1

Перспективні регіональні ландшафтні парки станом на 2018 рік

Table 1

Promising regional landscape parks as of 2018

N / N	Назва перспективних РЛП*/ Name of promising RLP*	Ландшафтна приуроченість, природна рослинність / Landscape setting, natural vegetation	Роль в екомережі / Role in the eco-network
1	Малополіський / Malopoliskyi	Малополіський. Територія лісових масивів з цінними хвойно-широколистяними, лучно-болотними та лучними угрупованнями, включаючи лівобережну частину долини р. Іква / Malopolis. The area of forests with valuable coniferous-broadleaf, meadow-bog and meadow communities, including the left-bank part of the Ikva River valley	Ключова територія / Key territory
2	Білокриницький / Bilokrynytskyi	Малополіський. Територія лісових масивів з цінними хвойно-широколистяними, лучно-болотними та лучними угрупованнями / Malopolis. The area of forests with valuable coniferous-broadleaved, meadow-boggy and meadow communities	Ключова територія / Key territory
3	Почаївський / Pochaivskyi	Кременецький горбогірний. Територія лісових масивів з лучно-степовими та наскельно-степовими угрупованнями / Kremenets hilly region. Area of forests with meadow-steppe and rock-steppe communities	Ключова територія / Key territory
4	Залізцівський / Zaliztsivskyi	Тернопільський ландшафт. Долина верхньої течії річки Серет, що представлена лісовими та водно-болотними екосистеми з водними плесами водосховищ і ставків / Ternopil landscape. The valley of the upper reaches of the Seret River, which is represented by forest and wetland ecosystems with water plains of reservoirs and ponds.	Ключова територія / Key territory
5	Вороняцький / Voronyatskyi	Вороняцький ландшафт. Грабово-букові та ясено-дубові лісові масиви із заболоченою долиною притоки р.Серет / Voronyatsky landscape. Hornbeam, beech and ash-oak forests with a swampy valley of the Seret River tributary	Ключова територія / Key territory
6	Вертелківський / Vertelkivskyi	Лановецький ландшафт. Долина верхньої течії р. Серет, що представлена лісовими та водно-болотними екосистеми з водними плесами водосховищ і ставків / The landscape of Lanovets. The valley of the upper Seret River, which is represented by forest and wetland ecosystems with water areas of reservoirs and ponds	Ключова територія / Key territory
7	Розтоцькі Товтри / Roztotski Tovtry	Товтровий природний округ. Лісові масиви з переважанням дуба, лучно-степові ділянки схилів товтрових горбів / Tovtry Nature District. Oak-dominated forests, meadow-steppe areas on the slopes of toltra hills.	Ключова територія / Key territory
8	Середньогоринський / Srednogorinskyi	Лановецький ландшафт. Прирічковий ландшафт з цінними лісовими та лучно-степовими екосистемами, водно-болотними угіддями долини р. Горинки / The landscape of Lanovets. Riverside landscape with valuable forest and meadow-steppe ecosystems, wetlands of the Gorynka River valley.	Ключова територія / Key territory
9	Збаразькі Товтри / Zbarazh Tovtry	Товтровий природний округ з історико-архітектурними і культурними пам'ятками старовинного міста Збаража та його околиць з перспективним природним ядром у межах ботанічного заказника «Залужанський ліс» і суміжних територій Товтрової гряди / Tovtrovyi natural district with historical, architectural and cultural monuments of the ancient city of Zbarazh and its surroundings with a promising natural core within the Zaluzhanskyi Forest botanical reserve and adjacent territories of the Tovtrovyi Ridge.	Ключова територія / Key territory

Продовження таблиці 1/ Continuation of table 1

10	Урманський \ Urmanskyi	Опільський ландшафт з цінними лісовими (дубово-букові деревостани) та лучно-степовими екосистемами, а також водними об'єктами, що мають важливе рекреаційне та середовище-стабілізаційне значення / The Opillya landscape with valuable forest (oak and beech) and meadow-steppe ecosystems, as well as water bodies of important recreational and environmental stabilization value	Ключова територія / Key territory
11	Бережанське Опілля / Berezhanske Opillya	Опільський ландшафт з цінними лісовими (букові насадження) та лучно-степовими екосистемами / Opillya landscape with valuable forest (beech plantations) and meadow-steppe ecosystems	Ключова територія / Key territory
12	Підгаєцький / Pidgaetskyi	Опільський ландшафт. Ділянка цінних лісових широколистяних масивів / Opillya landscape. An area of valuable forest broadleaf forests	Ключова територія / Key territory
13	Княжий ліс / Knyazhyi forest	Тернопільський ландшафт. Цінні дубово-букові деревостани. Ця територія є традиційним місцем відпочинку та оздоровлення населення, збору грибів, ягід, лікарських рослин / Ternopil landscape. Valuable oak and beech forests. This area is a traditional place for recreation and health improvement, gathering mushrooms, berries, and medicinal plants	Ключова територія / Key territory
14	Бариський / Baryskyi	Тернопільський ландшафт. Територія на межиріччі річок Бариш і Коропець з лісовими широколистяними угрупованнями / Ternopil landscape. The area between the rivers Barysh and Koropets with forest broadleaf communities	Ключова територія / Key territory
15	Буданівський / Budanivskyi	Тернопільський ландшафт. Середня долина р. Серет оточена лісовими, переважно грабово-дубовими угрупованнями / Ternopil landscape. The middle valley of the Seret River is surrounded by forests, mostly hornbeam and oak communities	Ключова територія / Key territory
16	Середньосеретський / Middle Seretskyi	Тернопільський ландшафт. Територія середньої течії р. Серет з водно-болотними, лучними, лісовими (буково-широколистяними, дубово-широколистяними) та скельно-степовими угрупованнями / Ternopil landscape. The territory of the middle reaches of the Seret River with wetland, meadow, forest (beech-broadleaf, oak-broadleaf) and rock-steppe communities.	Ключова територія / Key territory
17	Язлівецький / Yazlivetskyi	Подністерський ландшафт. Мальовнича долина р. Вільховець вкрита грабовими лісами з історико-архітектурним комплексом фортеці та монастиря / The Podnister landscape. The picturesque valley of the Vilkhovets River is covered with hornbeam forests with the historical and architectural complex of the fortress and monastery	Ключова територія / Key territory
18	Яргорівський / Yargorivskyi	Подністерський ландшафт. Територія лісових урочищ з цінними угрупованнями дубово-букових лісів / Podnistersky landscape. The territory of forest tracts with valuable communities of oak and beech forests	Ключова територія / Key territory
19	Подільське Надзбруччя / Podilske Nadzbruchchia	Гусятинський ландшафт з цінними лісовими та лучно-степовими угрупованнями / Husiatyn landscape with valuable forest and meadow-steppe communities	Ключова територія / Key territory
20	Борщівський / Borshchivskyi	Подністерський ландшафт. Територія лісових грабових угруповань з гідрологічними об'єктами долини р.Нічлави / Podnistersky landscape. The territory of forest hornbeam communities with hydrological objects of the Nichlava River valley	Ключова територія / Key territory

* Запропоновані РЛП потребують додаткових досліджень, уточнення остаточних меж та функціонального зонування

* The proposed RLPs require additional research, clarification of final boundaries and functional zoning

Таблиця 2

Перспективна заповідність територіальних громад (ТГ) за умови створення пропонованих регіональних ландшафтних парків (РЛП)

Table 2

A promising reserve of territorial communities (TC) subject to the creation of the proposed regional landscape parks (RLP)

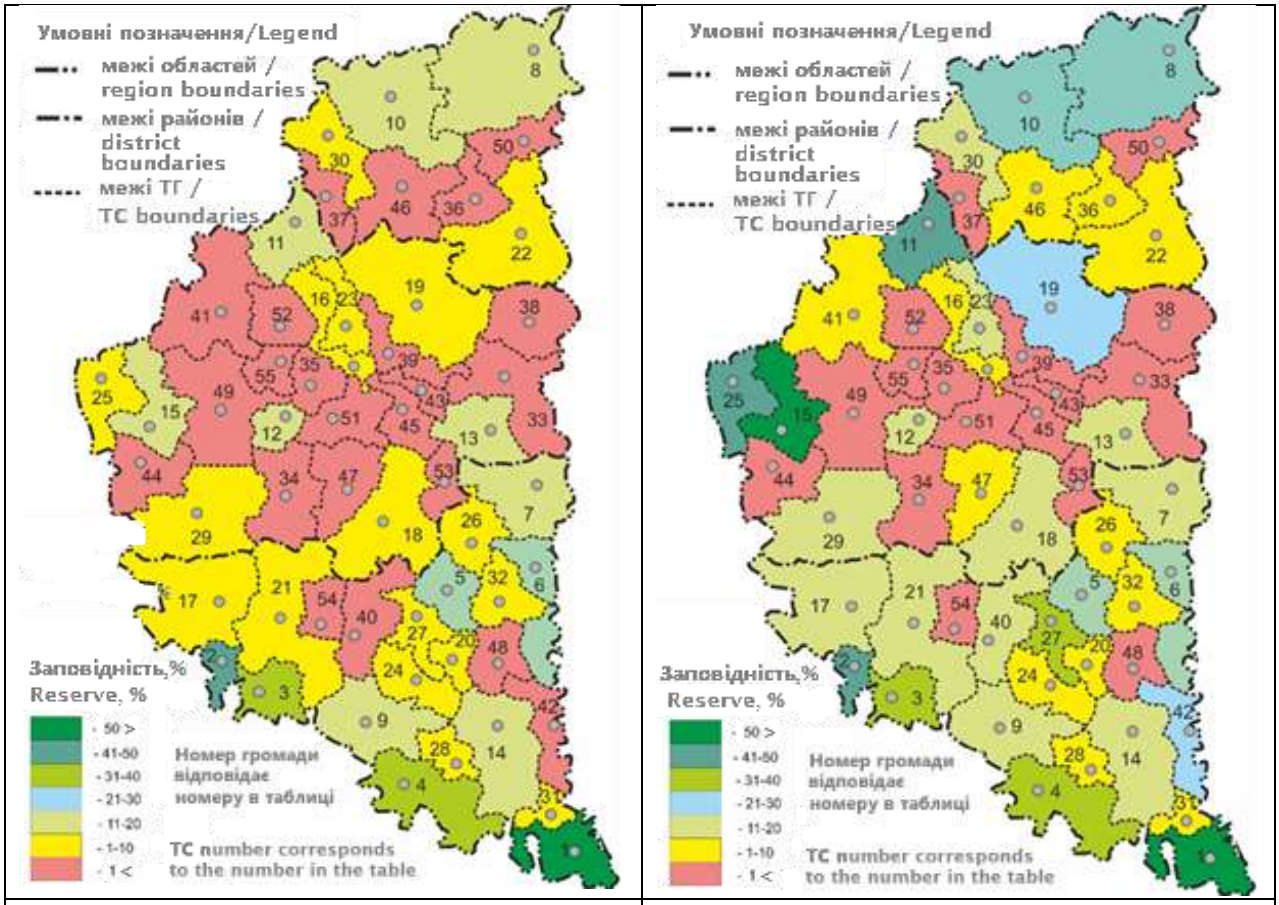
N	**Назва перспективних РЛП / Name of promising RLPs**	**Орієнтовна площа, га / Indicative area, ha**	**Приуроченість до територіальних громад** (номер на картосхемі) **/Appointment to territorial communities** (number on the map)	**Заповідність ТГ, існуюча, % / TC reserve, existing, %**	**Заповідність ТГ, після створення РЛП, % / TC reserve, after the creation of RLPs, %**
1	Малополіський / Malopoliskyi	2500.0	Кременецька ТГ (10) Kremenets TC	16,25	21,03
2	Білокриницький / Bilokrynytskyi	3500,0	Шумська ТГ (8) Shumska TC	17,49	24,4
3	Почаївський / Pochaivskyi	3000,0	Почаївська ТГ (30) Pochaiv TC	2,46	16,27
4	Залізцівський / Zaliztsivskyi	3000,0	Залозецька ТГ (11) Zalozetska TC	15,03	45,44
5	Вороняцький / Voronyatskyi	2000,0	Зборівська ТГ (41) Zborivska TC	0,45	4,73
6	Вертелківський / Vertelkivskyi	2500,0	Залозецька ТГ (11) Zalozetska TC	15,03	45,44
		1000,0	Білецька ТГ (23) Biletska TC	4,31	12,6
7	Залізцівський / Zaliztsivskyi	2000,0	Залозецька ТГ (11) Zalozetska TC	15,03	45,44
8	Збаразькі Товтри / Zbarazh Tovtry	1500,0	Збаразька ТГ(19) Zbarazhka TC	7,59	24,6
9	Урманський / Urmanskyi	4000,0	Бережанська ТГ (15) Berezhanska TC	11,38	62,2
10	Бережанське Опілля / Berezhanske Opillya	8361,4	Бережанська ТГ (15) Berezhanska TC	11,38	62,2
		8300,0	Нараївська ТГ (25) Narayivska TC	4,43	42,5
11	Підгаєцький / Pidgaetskyi	4500,0	Підгаєцька ТГ (29) Pidhaetska TC	2,41	12,2
12	Княжий ліс / Knyazhyi forest	2800,0	Теребовлянська ТГ(18) Terebovlyanska TC	7,86	14,2
		1200,0	Микулинецька ТГ (47) Mykulynetska TC	0,26	5,26
13	Бариський / Baryskyi	2000,0	Бучацька ТГ (21) Buchatska TC	5,99	15,52
14	Буданівський / Budanivskyi	3000,0	Білобожницька ТГ (40) Bilobozhnytska TC	0,05	11,42
15	Середньосеретський / Middle Seretskyi	4000,0	Чортківська ТГ (27) Chortkivska TC	3,99	30,35
16	Язлівецький / Yazlivetskyi	3000,0	Бучацька ТГ(21) Buchatska TC	5,99	15,52
17	Яргорівський / Yargorivskyi	4000,0	Монастириська ТГ (17) Monastyrska TC	9,08	17,57

Продовження таблиці 2/ Continuation of table 2

18	Подільське Надзбруччя / Podilske Nadzbruchchia	4000,0	Скала-Подільська ТГ (42) Skala-Podilska TC	0,44	22,06
19	Борщівський / Borshchivskyi	2000,0	Борщівська ТГ (14) Borshchivska TC	12,78	17,65
20	Середньогоринський / Serednogorynskyi	700,0	Борсуківська ТГ (36) Borsukivska TC	0,95	5,55
		800,0	Вишнівецька ТГ (46) Vyshnivetska TC	0,31	2,79
РАЗОМ / TOTAL		**72161,4**	**-**	**6,18**	**20,42**

них громад 16 мають низький показник заповідності від 0.26% до 9,08%. Після врахування потенційної заповідності цей показник виріс у дев'ять, а подекуди в десять і більше раз (Вишнівецька, Скала-Подільська, Білобожницька, Микулинецька, Нараївська, Зборівська ТГ).

Три територіальні громади мали б показник заповідності європейського рівня (Залозецька, Бережанська, Чортківська). Враховуючи наявність у них значних природних та історико-культурних рекреаційних ресурсів, були б усі передумови розвивати різні види рекреації і туризму. На картосхемі (рис.2) відображено наявну (А) та перспективну (Б) заповідність територіальних громад за умови створення 20 перспективних РЛП. Наведені картосхеми заповідності територіальних громад демонструють, що створення перспективних 20 РЛП істотно



А Б

** Громади пронумеровані згідно заповідності території від найвищої.*
** Communities are numbered according to the protected area from the highest*

Рис. 2 – Існуюча (А) та ймовірна (Б) заповідність територіальних громад

Fig. 2 – Existing (A) and potential (B) territorial community reserve

диференціює їх за показником заповідності.

У групі у 22 ТГ з заповідністю менше 1.0% після потенційного створення РЛП чисельність зменшиться на 5 одиниць.

У групі ТГ з заповідністю від 1,0 до 10,0% також кількість ТГ зменшиться на 5 одиниць. Натомість збільшиться чисельність ТГ з рівнем заповідності вище 10% до 26 одиниць. При цьому заповідні площі в області зростуть на 73,0 тис. га і досягнули б 196866,8 га, або заповідність області зросла б з 8,95% до 14,21%. У розрізі адміністративних районів відбулись би також позитивні зміни. Так, заповідність північного Кременецького адміністративного району збільшилась би з 9,94% до 12,2%. Тернопільського адміністративного району – з 4,06% до 7,66%, а заповідність південного Чортківського адміністративного району – з 15,02% до 19,65%.

Висновки

Враховуючи складну ситуацію зі збільшенням заповідності області на загальнообласному, адміністративно районному і низовому територіальних рівнях, змодельована ситуація зі створення 20 запропонованих впродовж двадцяти останніх років регіональних ландшафтних парків, надає реальний шанс вирішення цієї складної проблеми.

Водночас на теренах області появляється можливість реанімувати туристсько-рекреаційний господарський сектор, долучивши до цієї сфери потенціали територіальних громад.

Запропонований перебіг подій сприятиме покращенню територіальної організації заповідної та екологічної мереж від локального до регіонального рівнів, активізації туристсько-рекреаційної діяльності господарського сектора.

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

Список використаної літератури

1. Царик Л. Еколого-географічний аналіз і оцінювання території: теорія та практика. Монографія. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2005. 256 с.
2. Царик Л., Царик П., Новицька С., Гінзула М. Мережа регіональних ландшафтних парків Тернопільщини: концептуальні засади формування, оцінка рекреаційного потенціалу. *Рекреаційне і заповідне природокористування.* Тернопіль: СМП «Тайп», 2012. С..27-54.
3. Програма охорони навколишнього природнього середовища в Тернопільській області. Електронний ресурс. 2021. URL: https://ecology.te.gov.ua/byudzhetni-programi/programa-ohoroni-navkolishnogo-prirodnogo-seredovi/
4. Черняк В.М., Синиця Г. Б. Пятківський І.О. Унікальні перлини природи Тернопільщини. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2014, 512 с. URL: https://www.bohdan-books.com/userfiles/file/books/lib_file_1089599823.pdf?srsltid=AfmBOooQJ_fXv26cI8rZ9Tanc3jLGJWWiFlB3Z687MmHUnYU16SgCnhJ
5. Кузик І., Царик Л., Царик П. Сучасний стан та перспективи розвитку природно-заповідного фонду Кременецького району Тернопільської області. «Global and Regional Aspects of Sustainable Development: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference (March 26-28, 2023). Copenhagen: SPC «InterConf»: Berlitz Forlag, 2023. № 148. P. 306-313 URL: https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2832/2862
6. Царик Л., Царик П., Кузик І.Р. Геоекологічний вимір екологічної мережі Кременецького адміністративного району Тернопільської області. Modernization of today's science: experience and trends: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the IV International Scientific and Theoretical Conference, September 22, 2023. Singapore, Republic of Singapore: European Scientific Platform. P. 172-175. DOI: https://doi.org/10.36074/scientia-22.09.2023
7. Кузик І. Структура природно-заповідного фонду в межах комплексної зеленої зони Тернопіль. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Микола Чайковський – організатор заповідної справи на Тернопільщині». Тернопіль: Редакційно-видав. відділ ТНПУ, 2022, С. 75-79. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/26808/1/Chajkovskuj_konf.pdf

8. Царик Л., Царик П., Царик В. Заповідна і екологічна мережі Тернопільського адміністративного району. The 30th International scientific and practical conference "Trends and modern methods of improving scientific ideas" (August 01 – 04, 2023) Melbourne, Australia. International Science Group. 2023. p. 35-40 DOI: https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.309
9. Царик Л., Царик П., Кузик І., Царик В. Перспективні моделі заповідної і екологічної мереж територіальних громад Чортківського району Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія. Тернопіль: СМП "Тайп". № 1 (випуск 54). 2023. С 256-265. DOI: https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.28
10. Царик Л., Ковальчук І., Царик П., Кузик І.Р Природоохоронні стандарти ЄС – національні і регіональні реалії. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (59), (2023) 329-339. DOI: https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-25
11. Tsaryk L. Novitska S., Jankovska L. Tsaryk V. Functional and Spatial Optimization of the Protected and Ecological Networks of Ternopil Region in Ukraine. *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin - Polonia. Sectio B.* Vol. 78. 2023. P.131-151. DOI:https://doi.org/10.17951/b.2023.78.0.131-151
12. Tsaryk L., Kuzyschyn A., Tsaryk P. Selected Aspects of Ecological Dimensions of Ecotourism Development in the Networks of National Natural and Regional Landscape Parks of Ukraine. *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Lublin. Polonia. Sectio B.* Vol. 75. 2020. P.161-181. https://doi.org/10.17951/b.2020.75.0.161-181
13. Новицька С.Р., Царик П.Л., Царик Л.П., Кузик І.Р. Регіональний ландшафтний парк «Княжий ліс» в умовах розбудови територіальних громад. *Scientific Collection «InterConf+»*, (18(95), 462–472. DOI: https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.01.2022.047
14. Царик Л.П., Новицька С.Р , Царик П.Л., Кузик І.Р., Регіональний ландшафтний парк «Збаразькі Товтри» з перспективою на визнання. Multidisziplinäre Forschung: Perspektiven, Probleme und Muster Band 2.2021. P. 176-182. URL: https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/logos/article/view/11047/10405
15. Царик П.Л., Царик Л.П., Кузик І.Р., Новицька С.Р Перспективний регіональний ландшафтний парк парк «Бариський» у структурі екомережі Тернопільщини Scientific Collection «InterConf», (105): with the Proceedings of the 5 th International Scientific and Practical Conference «Current Issues and Prospects for The Development of Scientific Research» (April 19-20, 2022). Orléans, France: Epi, 2022. P. 248-258. DOI: https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.04.2022.025
16. Янковська Л.В., Царик Л.П., Царик П.Л., Царик В.Л. Проблеми функціонування регіональних ландшафтних парків міських екосистем. Вісник Тернопільського відділу Українського географічного товариства. Тернопіль: СМП «Тайп». №5 (випуск 5). 2021. С. 31- 39. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/24384
17. Рожко І., Юрочко М., Рожко І., Матвіїв В. Проблема функціонування регіональних ландшафтних парків (на прикладі РЛП «Равське Розточчя»). Збереження та охорона унікальних природно–історичних комплексів регіонального ландшафтного парку «Знесіння». Матеріали науково–практичної конференції, присвяченої 30–річчю створення парку (Львів, 2 грудня 2023 року). Львів : Растр–7, 2023. С. 180–185. URL: https://ecoinst.org.ua/pdf/zbirnyk-materialiv-znesinnia-2023.pdf
18. Худоба В., Чикайло Ю. Сучасний стан та перспективи розвитку туризму в регіональних ландшафтних парках західного Поділля. Збереження та охорона унікальних природно–історичних комплексів регіонального ландшафтного парку «Знесіння». Матеріали науково–практичної конференції, присвяченої 30–річчю створення парку (Львів, 2 грудня 2023 року). Львів: Растр–7, 2023. С. 185–190. URL: https://ecoinst.org.ua/pdf/zbirnyk-materialiv-znesinnia-2023.pdf
19. Брусак В. П., Кричевська Д.А., Благодир С.Ф. Пам'ятки неживої природи й історико-культурні об'єкти регіонального ландшафтного парку «Равське Розточчя»: стан охорони і перспективи рекреаційного використання. Проблеми геоморфології та палеогеографії Українських Карпат та прилеглих територій. Львів: Видавн. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2018, Вип. 1 (8). С. 121–130. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeomorpal_2018_1_11
20. Худоба В. Теоретичне обгрунтування доцільності оптимізації мережі регіональних ландшафтних парків України. Наукові записки ТНПУ. Серія: географія. №2. 2011. С.242-247. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/20495
21. Národní parky a chráněné krajinné oblasti. URL: https://www.odpovedi.cz/otazky/jaky–je–rozdil–mezi–narodnim–parkem– a–chranenou–krajinnou–oblasti
22. Jermaczek D. Ochrona walorów parków krajobrazowych – pobożne życzenie czy realna rzeczywistość? URL: http://eko.org.pl/lkp/bociek/2000_3/2000_3_parki_kraj.htm
23. Europe`s Nature, Regional, and Landscape Parks – model regions for the sustainable development of rural areas. Verband Deutscher Naturparke. V. Bonn, June 2017. 174p. URL: https://naturparke.de/files/2024/02/Buch_Landschaften_voller_Leben_2017_ENG.pdf

Стаття надійшла до редакції 11.03.2025 Стаття рекомендована до друку 18.04.2025

L. P. TSARYK[1], DSc (Geography), Professor,
Head of the department of Geoecology and Gidrology,
e-mail: tsarykl55@gmail.com ORCID ID:https://orcid.org/0000-0003-0944-1905
A. V. KUZYSHYN[1], DSc (Geography), Professor,
Professor of Department of Geography of Ukraine and Tourism,
e-mail: kuzyshyn_a@tnpu.edu.ua ORCID ID:https://orcid.org/0000-0003-3879-7337
P. L. TSARYK[1], PhD (Geography), Associate Professor
Associate Professor of Department of Geography of Ukraine and Tourism
e-mail: pitertsaryk@gmail.com ORCID ID:https://orcid.org/0000-0002-4503-4437
[1]*Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University*
2, M. Kryvonosa St., Ternopil, 46015, Ukraine

PROSPECTIVE REGIONAL LANDSCAPE PARKS – RESERVES FOR OPTIMIZATION OF THE RESERVE AND ECOLOGICAL NETWORK OF TERNOPIL REGION

Purpose. Development of ways of functional-spatial improvement of reserve and ecological networks by involving promising regional landscape parks of Ternopil region for preservation.

Methods. The methodological basis of the study is the conceptual provisions of the functional-spatial features of the functioning of regional reserve and ecological networks, with the definition of the reserve and recreational potential of natural complexes and human potential of urban settlements, taking into account the peculiarities of their relationship with urban settlements, transport network, recreational infrastructure, functional fullness, completeness, degree of connectivity using the graph method.

Results. The creation of the proposed network of regional landscape parks will significantly improve the preservation of 21 territorial communities, which is 38% of the territorial communities of the region. Of the 21 territorial communities, 16 have a low preservation index. After taking into account the potential reserve, this indicator increases by nine, and in some places by ten or more times (Vyshnivetska, Skala-Podilska, Bilobozhnytska, Mykulynetska, Narayivska, Zborivska territorial communities). Three territorial communities will have a reserve indicator of the European level (Zalozetska, Berezhanska, Chortkivska). Given the presence of significant natural and historical and cultural recreational resources in them, there are all prerequisites for developing various types of recreation and tourism. The presented maps of the reserve of territorial communities demonstrate that the creation of promising 20 regional landscape parks significantly differentiates them in terms of reserve indicator. At the same time, the reserve area in the region will increase, the reserve of the region will increase from 8.95% to 14.21%.

Conclusions. The proposed course of events contributes to the improvement of the territorial organization of the reserve and ecological networks from the local to the regional levels, the activation of the tourist and recreational activities of the economic sector, involving the potential of territorial communities in this sphere.

KEYWORDS: *regional landscape park, reserve network, eco-network, degree of reserve, functional. optimization, territorial organization*

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

References

1. Tsaryk, L. (2005). Ecological and geographical analysis and assessment of the territory: theory and practice. Monograph. Ternopil: Textbook - Bogdan. (in Ukrainian).
2. Tsaryk, L., Tsaryk, P., Novytska, S., Ginzula, M. (2012). Network of regional landscape parks of Ternopil region: conceptual principles of formation, assessment of recreational potential. *Recreational and protected nature use*. Ternopil: SMP "Taip", 27-54. (in Ukrainian).
3. Program for environmental protection in Ternopil region. (2021). Retrieved from https://ecology.te.gov.ua/byudzhetni-programi/programa-ohoroni-navkolishnogo-prirodnogo-seredovi/ (in Ukrainian).
4. Chernyak, V.M., Synytsia, G. B. Pyatkivskyi, I.O. (2014). Unique pearls of nature of Ternopil region. Ternopil: Textbook – Bohdan, Retrieved from https://www.bohdan-books.com/userfiles/file/books/lib_file_1089599823.pdf?srsltid=AfmBOooQJ_fXv26cI8rZ9Tanc3jLGJWWiFlB3Z687MmHUnYU16SgCnhJ (in Ukrainian).
5. Kuzyk, I., Tsaryk, L., Tsaryk, P. (2023). Current state and prospects for the development of the nature reserve fund of the Kremenets district of Ternopil region. *«Global and Regional Aspects of Sustainable Development: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference (March 26-28, 2023).* Copenhagen: SPC «InterConf»: Berlitz Forlag, (148), 306-313. Retrieved from https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2832/2862 (in Ukrainian).
6. Tsaryk, L., Tsaryk, P., Kuzyk, I.R. (2023). Geoecological measurement of the ecological network of the Kremenets administrative district of Ternopil region. *Modernization of today's science: experience and trends: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the IV International Scientific and Theoretical Conference, (September 22, 2023).* Singapore: European Scientific Platform. P. 172-175. https://doi.org/10.36074/scientia-22.09.2023 (in Ukrainian).

7. Kuzyk, I. (2022). Structure of the nature reserve fund within the complex green zone of Ternopil. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Mykola Chaikovsky – Organizer of the Reserve Case in the Ternopil Region".* Ternopil: Editorial and Publishing Department of TNPU, 75-79. Retrieved from http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/26808/1/Chajkovskuj_konf.pdf (in Ukrainian).
8. Tsaryk, L., Tsaryk, P., Tsaryk, V. (2023). Reserve and Ecological Network of the Ternopil Administrative District. *Proceedings of the 30th International scientific and practical conference "Trends and modern methods of improving scientific ideas"* (August 01 – 04, 2023). Melbourne, Australia. International Science Group. 35-40. https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.309 (in Ukrainian).
9. Tsaryk, L., Tsaryk, P., Kuzyk, I., Tsaryk, V. (2023). Perspective models of protected and ecological networks of territorial communities of Chortkiv district. *Scientific notes of the Volodymyr Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: geography.* Ternopil: SMP "Type". 1(54). 256-265. https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.28 (in Ukrainian).
10. Tsaryk, L., Kovalchuk, I., Tsaryk, P., Kuzyk, I.R. (2023). Environmental standards of the EU - national and regional realities. *Visnyk of the V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology*", (59), 329-339. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-25 (in Ukrainian).
11. Tsaryk, L. Novitska, S., Jankovska, L. Tsaryk, V. (2023). Functional and Spatial Optimization of the Protected and Ecological Networks of Ternopil Region in Ukraine. *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia*. Sectio B, *78*, 131-151. https://doi.org/10.17951/b.2023.78.131-15
12. Tsaryk, L., Kuzyschyn, A., Tsaryk, R. (2020). Selected Aspects of Ecological Dimensions of Ecotourism Development in the Networks of National Natural and Regional Landscape Parks of Ukraine. *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Lublin. Polonia.*Sectio B, *75*, 161-181. https://doi.org/10.17951/b.2020.75.161-181
13. Novitska, S.R., Tsaryk, P.L., Tsaryk, L.P., Kuzyk, I.R. (2022). Regional Landscape Park "Knyazhyi lis" in the context of the development of territorial communities. *Scientific Collection «InterConf+»,* (18(95), 462–472. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.01.2022.047 (in Ukrainian).
14. Tsaryk, L.P., Novitska, S.R., Tsaryk, P.L., Kuzyk, I.R. (2021). Regional Landscape Park «Zbarazki Tovtry» with the prospect of recognition. Multidisziplinäre Forschung: Perspektiven, Probleme und Muster, *2*, 176-182. Retrieved from https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/logos/article/view/11047/10405 (in Ukrainian).
15. Tsaryk, P.L., Tsaryk, L.P., Kuzyk, I.R., Novitska, S.R. (2022). Promising regional landscape park "Barysky" in the structure of the ecological network of Ternopil region Scientific Collection "InterConf", (105): with the Proceedings of the 5 th International Scientific and Practical Conference "Current Issues and Prospects for The Development of Scientific Research" (April 19-20, 2022). Orléans, France: Epi, 248-258. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.04.2022.025 (in Ukrainian).
16. Yankovska, L.V., Tsaryk, L.P., Tsaryk, P.L., Tsaryk, V.L. (2021). Problems of functioning of regional landscape parks of urban ecosystems. *Bulletin of the Ternopil Department of the Ukrainian Geographical Society.* Ternopil: SMP "Type". (5), 31-39. Retrieved from http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/24384 (in Ukrainian).
17. Rozhko, I., Yurochko, M., Rozhko, I., Matviyiv, V. (2023). The problem of functioning of regional landscape parks (on the example of RLP "Ravske Roztochchya"). Preservation and protection of unique natural and historical complexes of the regional landscape park "Znesinnia". Proceedings of the scientific and practical conference dedicated to the 30th anniversary of the creation of the park (Lviv, December 2, 2023). Lviv: Rastr–7, 180–185. Retrieved from https://ecoinst.org.ua/pdf/zbirnyk-materialiv-znesinnia-2023.pdf (in Ukrainian).
18. Khudoba, V., Chykailo, Yu. (2023). Current state and prospects for tourism development in regional landscape parks of western Podillia. Preservation and protection of unique natural and historical complexes of the regional landscape park "Znesinnia". Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 30th anniversary of the park's creation (Lviv, December 2, 2023). Lviv: Rastr–7, 185–190. Retrieved from https://ecoinst.org.ua/pdf/zbirnyk-materialiv-znesinnia-2023.pdf (in Ukrainian).
19. Brusak, V. P., Krychevska, D. A., Blagodyr, S. F. (2018),.Monuments of inanimate nature and historical and cultural objects of the regional landscape park "Ravske Roztochchya": state of protection and prospects for recreational use. Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories. Lviv: Publishing center of the Ivan Franko National University of Lviv, 1 (8). 121–130. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeomorpal_2018_1_11 (in Ukrainian).
20. Khudoba, V. (2011). Theoretical justification of the feasibility of optimizing the network of regional landscape parks of Ukraine. *Scientific notes of the TNPU. Series: geography*. (2), 242-247. Retrieved from http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/20495 (in Ukrainian).
21. National parks and protected landscape areas. Retrieved from https://www.odpovedi.cz/otazky/jaky–je–rozdil–mezi–narodnim–parkem– a–chranenou–krajinnou–oblasti
22. Jermaczek, D. (2000). Ochrona walorów parków krajobzawoych – pobożne życzenie czy realna rzeczywistość? Retrieved from http://eko.org.pl/lkp/bociek/2000_3/2000_3_parki_kraj.htm
23. Europe's Nature, Regional, and Landscape Parks – model regions for the sustainable development of rural areas. (2017). Verband Deutscher Naturparke. V. Bonn, June Retrieved from https://naturparke.de/files/2024/02/Buch_Landschaften_voller_Leben_2017_ENG.pdf

The article was received by the editors 11.032025 The article is recommended for printing 18.04.2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-10
UDK (УДК): 338.49: 656.2: 504.5

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

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

Y. D. KORNIICHUK,
Bachelor,
e-mail: yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0742-3213
National university of Kyiv Mohyla academy
2, Skovorody Str., Kyiv, 04070, Ukraine

S. V. HOROSHKOV[1, 2],
Bachelor
e-mail: stas20055008@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-4310-9165
[1]*Taras Shevchenko National University of Kyiv*,
60, Volodymyrska Str., Kyiv, 01033, Ukraine
[2]*V.N. Karazin Kharkiv National University*,
4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

O. A. GOLUB[3, 4], DSc (Chemistry), Professor,
e-mail: agolub@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1823-2523
[3]*Justus Liebig University Giessen*
23 Ludwigstrasse, 35390 Giessen, Germany
[4]*National university of Kyiv Mohyla academy*
2 Skovorody Str., Kyiv, 04070, Ukraine

K. A. SKRYNCHENKO,
Postgraduate Student
e-mail: ohyrga@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-5984-3870
National university of "Kyiv-Mohyla academy"
2 Skovorody Str., Kyiv, 04070, Ukraine

RESEARCH ON THE IMPACT OF WAR ON PROTECTED AREAS OF SOUTHERN UKRAINE

Purpose. To conduct an integrated analysis of the dynamics and ecological consequences of wildfires on Biriuchyi Island (Azovo-Syvash National Nature Park) between 2014 and 2024 using satellite monitoring tools. The study aims to identify spatial and temporal patterns of fire occurrence, assess their impact on vegetation and fauna, and highlight the environmental threats exacerbated by the ongoing occupation and lack of fire management.

Methods. The study utilized NASA FIRMS (MODIS and VIIRS sensors), Sentinel-2 data, Google Earth Engine, and weather archives (RP5) to detect and map fire anomalies. Temporal-spatial analysis was performed based on fire radiative power (FRP), thermal brightness, fire coordinates, and weather parameters. Multisource data were integrated to validate fire events, and Sentinel-based NDVI changes were analyzed to assess vegetation damage.

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

Results. Two primary fire peaks were identified: June and August 2024. The highest FRP (35.15 MW) and temperature (367 K) were recorded on June 10. Fires exhibited clear diurnal patterns– higher intensity during the day and more detections at night. Vegetation loss and fire scars were confirmed via Sentinel imagery. Occupation-related factors (lack of suppression, military activities) were linked to increased fire spread. Post-fire satellite data showed significant degradation of native vegetation and fragmentation of habitats for deer, amphibians, and migratory birds.

Conclusions. The fires on Biriuchyi Island have caused severe disruption to ecosystems through soil erosion, vegetation loss, and trophic imbalance. Restoration requires urgent actions: wildlife population monitoring, reforestation with native species, erosion control, and regulation of ungulate density. The use of satellite tools proved essential for detecting small-scale fires and monitoring ecological dynamics in inaccessible territories. Without active intervention, cascading degradation is likely, including microclimatic shifts and invasion of alien species. A long-term management plan is needed to restore and protect this unique ecological area.

KEY WORDS: *Biriuchyi Island, wildfire monitoring, satellite remote sensing, FRP, NDVI, ecosystem degradation, ungulates, vegetation loss, fire dynamics, occupation, Google Earth Engine*

Як цитувати: Horoshkova L.A., Menshov O. I., Korniichuk Y. D., Horoshkov S. V., Golub O. A., Skrynchenko K. A. Research on the impact of war on protected areas of Southern Ukraine. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 124 – 146. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-10

In cites: Horoshkova, L.A., Menshov, O. I., Korniichuk, Y. D., Horoshkov, S. V., Golub, O. A., & Skrynchenko, K. A. (2025). Research on the impact of war on protected areas of Southern Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 124 – 146. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-10

Introduction

The consequences of the full-scale invasion of Ukraine have significantly impacted various aspects of the environment, particularly the condition of protected natural areas. Nature reserves, national parks, and other ecosystems under special protection have come under threat of destruction, degradation, or severe disruption of natural balance. Military actions have caused soil, water, and air pollution, habitat destructtion, changes in the range of animal species, and the extinction of rare flora and fauna species.

In wartime conditions, there is an increasing need for comprehensive studies on the consequences of anthropogenic impact on natural resources and the preservation of biodiversity. Such research is vital for developing strategies for environmental restoration, adapting conservation activities to crisis conditions, and ensuring ecological security in the post-war period.

The Azov-Syvash National Nature Park is a unique natural site that plays a key role in preserving the biodiversity of Ukraine's southern region. Its territory includes important ecosystems– lagoons, lakes, steppes, and salt marshes– which serve as habitats for rare and endangered plant and animal species, as well as a globally significant bird migration zone. Due to military operations, the park has suffered direct impacts such as combat damage, landmines, pollution, disruption of the hydrological regime, and uncontrolled human intervention.

Researching the consequences of war on this protected area is extremely relevant for assessing the current state of natural complexes, identifying the most vulnerable zones, and developing scientifically based rehabilitation measures. Furthermore, the results of such studies can serve as a foundation for updating nature protection policies in the context of post-war recovery, increasing environmental awareness, and integrating ecological safety into national security overall.

Biryuchyi Peninsula, which is part of the Azov-Syvash National Nature Park, is located in the southern part of Kherson Oblast. This area holds exceptional conservation value due to its unique ecosystems, rich flora and fauna, and its importance for bird migration routes. As a result of the Russian occupation, monitoring the ecological condition of the Biryuchyi Peninsula and responding promptly to environmental threats has become nearly impossible. This creates conditions for potentially irreversible losses to the natural environment.

Objects and Research Methods

The object of the study is the Biryuchyi Peninsula, part of the Azov-Syvash National Nature Park, specifically its coastal-steppe ecosystems that have been affected by wildfires since the beginning of the full-scale invasion. Due to the temporary occupation of the NNP's territory, the study of wildfires was conducted using Sentinel-2 satellite imagery via NASA's observation tools through the Google Earth Engine platform. This enabled the identification of areas with increased thermal impact [1-2].

The main tool for data processing is Google Earth Engine (GEE)– a cloud-based platform that allows users to work with large volumes of satellite images and conduct real-time analysis. The study utilized fire data from NASA's FIRMS (Fire Information for Resource Management System), which provides up-to-date information on thermal anomalies detected by MODIS and VIIRS satellites.

The methodology for wildfire detection using satellite data is a complex, multi-stage process that includes the collection, processing, and analysis of data from various sensors, such as MODIS, VIIRS S-NPP, VIIRS NOAA-20, and VIIRS NOAA-21. Each of these satellite instruments has unique characteristics that influence the accuracy, completeness, and timeliness of fire detection.

For example, the VIIRS satellite has a higher spatial resolution compared to MODIS, enabling it to detect even smaller fire sources. Additionally, VIIRS observes both during the day and at night, unlike MODIS, which mainly focuses on daytime imaging. This gives VIIRS the ability to record fires across a wider time range. Furthermore, VIIRS sensors have increased sensitivity to thermal radiation, enhancing their capability to detect even relatively low-intensity fires.

The MODIS satellite, in turn, has a somewhat lower spatial resolution but compensates for this with a wider field of view, which allows it to conduct global wildfire monitoring. One of MODIS's advantages is its long history of observations, as the satellite has been operating since 2000, enabling the analysis of multi-year data. Additionally, MODIS has better radiometric accuracy and calibration characteristics, which enhance the reliability of the measurements obtained. Despite its advantages, MODIS still falls short of VIIRS in certain aspects, such as resolution and observation frequency.

The analysis of satellite data on fires is based on evaluating several key parameters. One of the main ones is surface temperature, recorded in Kelvins, which serves as an indicator of fire intensity. The higher the temperature, the more powerful the fire. Another important indicator is FRP (Fire Radiative Power), measured in megawatts. It reflects the thermal radiation power of a fire. FRP values are considered directly proportional to fire intensity. High FRP values indicate large-scale fires, while low values point to less intense fire outbreaks. FRP can also be used to estimate the rate of vegetation burning and carbon emissions into the atmosphere during fires. This information is important for modeling the impact of fires on ecosystems and the global climate. It should also be noted that FRP values may vary depending on many factors, such as weather conditions, vegetation types, and others. Therefore, it is necessary to consider the specific context when interpreting this parameter.

The analysis was carried out by processing satellite data and subsequently visualizing them in Google Earth Engine. The geometry of the study area was created, and key fire activity zones were identified. To assess the dynamics of fires, data were filtered by year, which made it possible to track changes in fire intensity in the area under study. The results were visualized using color coding: red indicated high fire intensity, orange – medium, and yellow – low.

Additionally, spatial analysis methods were used to identify patterns in the distribution of fires. This made it possible to determine potential factors influencing fire occurrences and to assess the scale of their spread. Thanks to the integration of satellite data and Google Earth Engine tools, an objective picture of fire activity in the region was obtained, which is important for making management decisions in the field of environmental protection.

Results and Discussion

The Azov-Syvash National Nature Park was established by the Decree of the President of Ukraine dated February 25, 1993, No. 62/93, on the basis and within the existing boundaries of the Azov-Syvash nature and hunting reserve and its protected zone with the water areas of

the Central Syvash and the Sea of Azov. Administratively, the Azov-Syvash National Nature Park is subordinated to the State Administration of Affairs of the President.

The idea of reserving these territories arose at the end of the 19th century due to their unique natural significance. In 1927, a separate reserve "Seaside Spits" was created under the Askania-Nova reserve, which later turned into the Azov-Syvash Reserve. In 1933, the reserve was divided into the Black Sea and Azov-Syvash. In 1957, the latter was reorganized into a nature and hunting reserve, and in 1975 its territory received international status as an important nesting site for waterfowl. In 1993, based on the nature and hunting reserve, the modern national park was created.

The territory of the park is located in the southeast of the administrative Kherson region within the Henichesk and Novotroitsk administrative districts and has an elongated east-west configuration, which is also defined by the configuration of the coastline of the Syvash Bay and the Sea of Azov. Geographically, the territory of the park consists of two parts separated from each other – the Syvash and the Azov. The Syvash part occupies the northern part of the Central Syvash and borders in the south with the Crimean Peninsula, and in the north along the shoreline of the Syvash Bay. An exception is the Serhiivsky and Novodmytrivsky estuaries and a number of ponds that are separated from the main water area by dams. The lands adjacent to the park along the shoreline, as well as parts of the Churyuk and Kuyuk-Tuk islands, are used by village and farming households. The Azov part is located in the water area of the Sea of Azov and is represented by the Biryuchyi Peninsula and a one-kilometer strip around it. In 2018, during the development of the "Territory Organization Project..." the area of the Azov-Syvash National Nature Park was clarified, which now amounts to 52581.6774 ha. The entire territory of the park, according to the latest "Territory Organization Project," is divided into the following functional zones: 1) reserve – 39196.07 ha. Any economic and recreational activity is prohibited here, with rare exceptions. It includes: a) Churyuk Island – 898.7 ha, b) Kuyuk-Tuk Island – 255.3 ha, c) Martynyachyi Island – 7 ha, d) part of the Syvash Bay – 37785 ha, e) Biryuchyi Spit – 250 ha; 2) regulated recreation – 618 ha. It includes the territory: a) Biryuchyi Spit – 318 ha, b) water area of the Sea of Azov around Biryuchyi Spit – 300 ha; 3) stationary recreation – 49 ha of the Biryuchyi Spit. The last two zones are intended for recreation. Here it is allowed to establish tourist routes, ecological trails; 4) economic zone – 12718.6 ha (mostly located on the territory of the Biryuchyi Spit).

Here shooting and trapping of wild animals, sports, hunting and nature tourism, fishing, limited subsidiary farming, construction, grazing of livestock are allowed – in other words, economic activity within reason. It also includes the water areas of the estuaries adjacent to Biryuchyi: Muzhychyi, Yamkivskyi, Olen, Ozerskyi, Vershynskyi, Bukhta with a total area of 632 ha, part of the water area of the Syvash Bay and a one-kilometer strip of the water area of the Utliuk estuary and the Sea of Azov. According to the landscape zoning scheme, the territory of the Azov-Syvash National Nature Park belongs to the Prysyvash-Pryazov dry steppe lowland landscape area. The landscape structure of this area has formed under the influence of climatic conditions, vegetation characteristics, air mass action, relief, composition of underlying rocks, soil-forming processes, and geological-geomorphological activity of the sea. This area is distinguished by the following features: minimal atmospheric precipitation, high evaporation rates, low relative air humidity, and almost complete absence of surface runoff.

The Azov-Syvash National Nature Park is one of the most valuable natural areas of the Azov region. Its landscape combines steppe areas, salt flats, and significant water areas of the Sea of Azov, Syvash Lake, and the Utliuk estuary. Only one-sixth of the territory is land, and the rest is occupied by aquatic ecosystems that are of great importance for the region's biodiversity. The climatic conditions of the park are characterized by a long hot summer with temperatures up to +40°C and a short winter with minimal precipitation. The average temperature in January is -3°C, although it can drop to --34°C. The territory of the park is one of the driest in Ukraine, with an average annual precipitation of about 260 mm. This creates specific conditions for the formation of steppe and salt-marsh vegetation adapted to the arid climate. The reserve zone of Central Syvash is represented by lagoon ecosystems that are periodically flooded by sea waters, forming a complex hydrological regime.

Accordingly, the vegetation of this part of the park includes saltmarsh grass, spreading glasswort, half-shrub sea lavender and other halophilic species. This territory is also an important site for bird concentrations, especially during seasonal migrations. Biryuchyi Island, which is actually a spit with an area of 7232 ha and stretches for 20 km, was formed by the accumulation of sand and shells. Its coastline is indented by numerous bays and lagoons, creating favorable conditions for the development of aquatic flora and fauna. Small lakes are located along the coast, and the island's climate is moderately continental with a long hot summer. The soils of the island are mainly meadow, sod and saline, and the vegetation cover is represented by littoral, sandy-steppe, salt-meadow, coastal-aquatic communities, as well as artificial forest plantations. It should be noted that Biryuchyi is more appropriately considered a peninsula, as it has a permanent land connection with the mainland via the Fedotov Spit. This connection is only occasionally interrupted for a short time due to storm events.

The plant world of Biryuchyi is mainly represented by meadow and sandy-steppe species, among which vascular plants dominate – reed, rush, couch grass. In the 1970s-80s, artificial forest plantations were created here with a total area of 232 ha, which included narrow-leaved oleaster, elm, robinia, and ash. The fauna of the island includes various species of even-toed ungulates, in particular red deer, fallow deer, kulans, mouflons, and even domestic horses. In addition, foxes and raccoon dogs live here, and among birds – pheasants. It is important to note that most of the species were acclimatized, since by the beginning of the 20th century the fauna of Biryuchyi was relatively poor. On Biryuchyi Island, some animal species were successfully acclimatized, in particular fallow deer and pheasants, as well as reacclimatized Askanian steppe deer, mouflon, and saiga. Thanks to favorable natural conditions, these species have adapted well to local ecosystems, enriching the biodiversity of the park. Given the limited economic activity, which is constrained both by natural factors (isolation of the territory, saline soils, lack of permanent population) and by environmental restrictions (protected zone status), the natural landscapes of the Azov-Syvash National Nature Park remain almost untouched. An exception is part of the Biryuchyi Peninsula – the territory around the lighthouse, the village of Sadky, and the border areas, where park employees carry out limited management: haymaking, livestock grazing, cultivation of household plots. In addition, the area of artificial forest plantations on Biryuchyi should be considered transformed, as forest ecosystems are not typical for local landscape conditions. At the same time, these plantations enrich the natural structure of the territory, creating new ecological niches for the habitation and concentration of living organisms. Afforestation on the Biryuchyi Peninsula has a long history. The first plantings, including pyramid poplar and Bolle poplar, white mulberry, black locust, and narrow-leaved oleaster, were planted as early as 1914. Although the initial results were promising, further greening efforts were resumed only in 1957. Then, in addition to the already mentioned species, many new trees were planted – common quince, small-leaved elm, box elder, western plane, balsam poplar, green ash, as well as several species of willows (brittle, Babylonian, and white).

Among the shrubs were planted privet, felt cherry, Tatar honeysuckle, cornelian cherry, white dogwood, smoke tree, and golden currant. However, due to the unsuccessful choice of plots and the use of standard technologies in difficult natural conditions, the desired result was not achieved. In 1958, under the leadership of Professor O.L. Belgard, O.A. Fedorko began work on creating protective coverts for pheasants in the form of ribbon-rectangular forest plantations 20–50 meters wide. Within this project, 116 species of woody-shrub plants were tested, including 53 tree species and 63 shrub species.

The planting method involved forming clumps of trees, with strips of shrubs placed along the edges. At that time, valuable forest areas were formed on an area of 650 hectares. Over the past 40 years, about half of such coverts have disappeared. Of the 51 tree and shrub species that have survived, most are in depressed or only satisfactory condition. The best preserved are plantings of silver and narrow-leaved oleaster, common black locust, various species of poplar (white, Bolle, Canadian, black), common oak, eastern plane tree, Virginia juniper, common ash, black mulberry, and smooth elm. In addition to the coverts, separate forest areas and park zones were established on the territory of the Sadky village estate. The largest areas – over 200 hectares – are occupied by monocultures of narrow-leaved and silver

oleaster. In general, the condition of plantations created in the period 1965–1980 (common oak, green ash, narrow-leaved oleaster, smooth elm, four-stamen tamarisk) is assessed as satisfactory.

The occupation of the territory and military actions since 2022 have caused irreparable damage to the natural ecosystems of the national park in general and to the Biryuchyi Peninsula in particular. The loss of protected status, destruction of fauna and flora, as well as interference in natural processes may have long-term consequences that will require significant efforts for restoration in the future. Some consequences of the war's impact have been studied by us in the works. In order to determine the impact of fires on the ecosystem of the Biryuchyi Peninsula since the beginning of the full-scale invasion, we conducted studies of thermal anomalies using satellite data.

Within the framework of the study, satellite data on thermal anomalies recorded in the period from 2014 to 2024 in the area of the northern coast of the Sea of Azov, in particular in the vicinity of Biryuchyi Island, were systematized. The data were obtained from the open NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System) platform and cover key parameters of each hotspot: date and time of detection, geographic coordinates, brightness and temperature of radiation, FRP (Fire Radiative Power), as well as the part of the day. The analysis of the obtained indicators makes it possible to assess the dynamics of fire occurrences, their intensity and potential connection with weather conditions, economic activity, or other anthropogenic factors. Tables 1 and 2 presented form the basis for further spatiotemporal analysis of fire activity in the study area during 2014–2021.

The analysis of Tables 1 and 2 showed that during the period from 2014 to 2021, wildfires occurred at certain locations (with observable recurrence) but were of short duration. They took place both in the steppe zone of the island and within its territory.

Particular attention should be paid to the period from 2022 to 2024, since the territory, as noted, was occupied, and it was appropriate to analyze the situation specifically during this time. From 2022 to 2024, a number of wildfires of varying intensity, spread patterns, and temporal dynamics were recorded in the area near Biryuchyi Island.

Figure 1 shows the spatial intensity of thermal anomalies recorded in 2022 within the northern coast of the Sea of Azov, with a focus on Biryuchyi Island and adjacent areas of Henichesk District. The data are visualized based on satellite observations from the NASA FIRMS platform, which detects thermal radiation sources (wildfires) through spectral analysis.

The color gradation of pixels (from yellow to red-orange) indicates the density and frequency of thermal events. A high concentration of anomalies is observed in the northwestern part of the image – this indicates a significant number of fires or thermal processes of technogenic or natural origin. Biryuchyi Island, marked with a green square, is relatively less affected; however, several hotspots have also been recorded in its northeastern part, suggesting a potential spread of wildfire activity into the nature reserve area.

Google Earth Engine (GEE) is a cloud-based platform that allows working with large volumes of satellite imagery and performing real-time analysis. Within the framework of the study, a dataset was used MODIS and VIIRS.

The use of fire data from NASA's FIRMS (Fire Information for Resource Management System) did not provide information on wildfire characteristics during 2022. This may be due to the absence of data on thermal anomalies recorded by the VIIRS satellite.

At the same time, the application of the data processing tool Google Earth Engine (GEE), which provides information on burned areas detected by MODIS and VIIRS satellites, made it possible to identify the following results throughout 2022 (Fig. 2).

In 2022, it was not possible to obtain data for the winter months– January and February– due to the lack of suitable satellite images with low cloud cover. The first signs of burning were recorded in March, with an estimated burned area of approximately 0.14 km². In April, fire activity increased, and the burned area reached 0.66 km², making it the second most intense month of the year. In May and June, activity decreased, with burned areas of 0.006 km² and 0.014 km², respectively. The highest level of fire activity was observed in July, when the burned area exceeded 1.19 km²– this was the peak month by all indicators. In August, the burned area significantly decreased to 0.012 km², and from September to December, only isolated or minor fire outbreaks were recorded, with monthly burned areas of less than 0.01

Table 1

Thermal anomalies (wildfires) based on NASA FIRMS satellite monitoring in the northern Pryazovia region (Biryuchyi Island) during 2014–2018 (Suomi NPP satellite, VIIRS instrument)

Date	Time	Coordinates	Brightness, °K	Temperature, °K	FRP, MW	Time of Day
2014 year						
25.02.2014	09:36	35.19423°, 46.08587°	332.82	299	4.7	day
16.05.2014	09:38	35.09446°, 46.07539°	339.2	311.24	11.14	day
2015 year						
30.04.2015	10:33	35.12894°, 46.1455°	339.14	314.05	6.21	day
08.05.2015	23:45	35.19014°, 46.07806°	304.62	284.49	2.16	night
22.05.2015	22:42	35.05461°, 46.07613°	309.18	291.54	1.1	night
11.06.2015	23:07	35.15404°, 46.15062°	317.6	290.53	1.18	night
13.09.2015	09:42	35.20778°, 46.09476°	348.46	321.08	17.22	day
2016 year						
29.05.2016	10:24	35.1572°, 46.18586°	346.56	318.99	8.78	day
10.06.2016	22:20	35.14247°, 46.15843°	301.18	289.29	0.7	night
07.06.2016	22:50	35.15163°, 46.20123°	312.53	293.86	1.36	night
23.11.2016	22:07	35.07772°, 46.07906°	332.95	275.25	4.45	night
25.11.2016	09:08	35.13446°, 46.19335°	326.63	289.93	2.56	day
2017 year						
13.06.2017	22:18	35.16241°, 46.15647°	313.29	310.29	0.93	night
17.06.2017	22:44	35.13104°, 46.15343°	302.91	303.91	0.71	night
20.06.2017	09:26	35.16985°, 46.17682°	355.30	356.30	17.54	day
01.07.2017	09:19	35.15219°, 46.14613°	342.98	343.98	7.49	day
03.12.2017	23:16	35.03753°, 46.17597°	304.54	305.54	1.00	night
2018 year						
20.06.2018	10:22	35.16138°, 46.1436°	344.08	317.47	8.44	day
03.07.2018	23:40	35.20909°, 46.09457°	320.98	298.63	3.72	night
07.07.2018	22:25	35.15823°, 46.14952°	304.76	292.12	1.25	night
03.08.2018	22:19	35.15622°, 46.10986°	305.0	294.92	0.99	night
03.09.2018	10:16	35.12032°, 46.08723°	350.08	321.3	16.53	day
13.09.2018	22:51	35.2088°, 46.18575°	314.69	293.33	1.38	night

Compiled by the authors based on source [1].

km². Thus, the main fire activity occurred in the spring-summer period, with a peak in July.

Similar studies were continued for 2023.

Figure 3 presents satellite mapping of thermal anomalies in the southern part of Zaporizhzhia and the eastern part of Kherson regions for the period from January to December 2023. The image was created using NASA FIRMS data, which reflect active fire hotspots (thermal anomalies) with spatial distribution of intensity. As in the previous image, the green square marks the area of Biryuchyi Island – a nature reserve site. Regarding the protected zone– Biryuchyi Island– thermal anomalies were also recorded within or near it, posing a threat to natural ecosystems. This expansion of fire activity may be linked to changes in climatic conditions (an increase in average daily temperature, a decrease in precipitation), as well as complications in environmental monitoring during wartime. Therefore, the year 2023 is characterized by increased intensity and territorial coverage of wildfires, which creates

Table 2

Thermal anomalies (wildfires) based on NASA FIRMS satellite monitoring in the northern Pryazovia region (Biryuchyi Island) during 2019–2021 (Suomi NPP satellite, VIIRS instrument)

Date	Time	Coordinates	Brightness, °K	Temperature, °K	FRP, MW	Time of Day
2019 year						
02.06.2019	22:38	35.16323°, 46.15553°	307.07	307.07	0.92	night
14.06.2019	09:51	35.11017°, 46.11028°	367.00	367.00	15.15	day
14.06.2019	22:13	35.08490°, 46.12121°	341.50	341.50	7.48	night
15.06.2019	09:32	35.09468°, 46.11148°	347.75	347.75	24.35	day
16.06.2019	10:54	35.09716°, 46.08716°	341.01	341.01	11.94	day
04.08.2019	10:35	35.16127°, 46.17272°	348.12	348.12	6.90	day
14.08.2019	10:48	35.19474°, 46.16037°	367.00	367.00	26.60	day
13.09.2019	22:06	35.21069°, 46.11153°	330.11	330.11	4.33	night
2020 year						
26.06.2020	22:25	35.08144°, 46.09064°	318.21	297.2	4.23	night
28.06.2020	09:25	35.0776°, 46.11045°	344.38	316.5	18.68	day
28.06.2020	21:47	35.06363°, 46.12894°	312.27	294.85	3.36	night
30.06.2020	08:48	35.08916°, 46.15711°	334.11	334.11	21.39	day
30.06.2020	22:50	35.06333°, 46.15044°	310.4	348.17	1.38	night
30.06.2020	23:53	35.0659°, 46.07281°	307.77	346.34	4.73	night
01.07.2020	09:57	35.12608°, 46.19098°	367.00	336.21	8.69	day
2021 year						
09.04.2021	22:43	35.16703°, 46.10798°	311.59	282.03	1.24	night
24.04.2021	10:41	35.16858°, 46.14602°	367.00	316.51	3.35	day
25.04.2021	10:22	34.98259°, 46.17447°	333.37	308.06	4.36	day
25.04.2021	22:43	34.9863°, 46.08393°	304.83	288.38	0.57	night
04.06.2021	21:53	35.14074°, 46.16631°	315.01	291.81	1.94	night
05.06.2021	09:13	35.13234°, 46.16674°	341.16	315.91	2.34	day
24.06.2021	09:57	35.13001°, 46.19447°	367.00	327.22	8.69	day
25.06.2021	09:38	35.17773°, 46.21025°	321.02	351.61	13.9	day
21.07.2021	22:13	35.06557°, 46.09747°	312.12	299.18	3.01	night
22.07.2021	09:32	35.06585°, 46.1017°	351.87	320.45	10.16	day

Compiled by the authors based on source [1].

additional environmental risks for coastal and protected areas of the Azov-Black Sea region.

Satellite data recorded a wildfire on the southeastern coast of the Biryuchyi Peninsula from July 4 to July 10, 2023. The affected zones are clearly visible in the imagery using NDVI, indicating vegetation cover degradation. The results of the conducted analysis indicate a significant deterioration in the ecological condition of the study area due to military occupation. Since the occupation began, the effectiveness of fire suppression has noticeably decreased, and systematic care of protected areas, particularly in the Biryuchyi Island region, has almost completely ceased. This has created preconditions for large-scale seasonal wildfires affecting both natural and agricultural landscapes.

During the analysis of satellite data from NASA's FIRMS system, two main periods of fire activity were recorded in the study area – in June and September (Table 3).

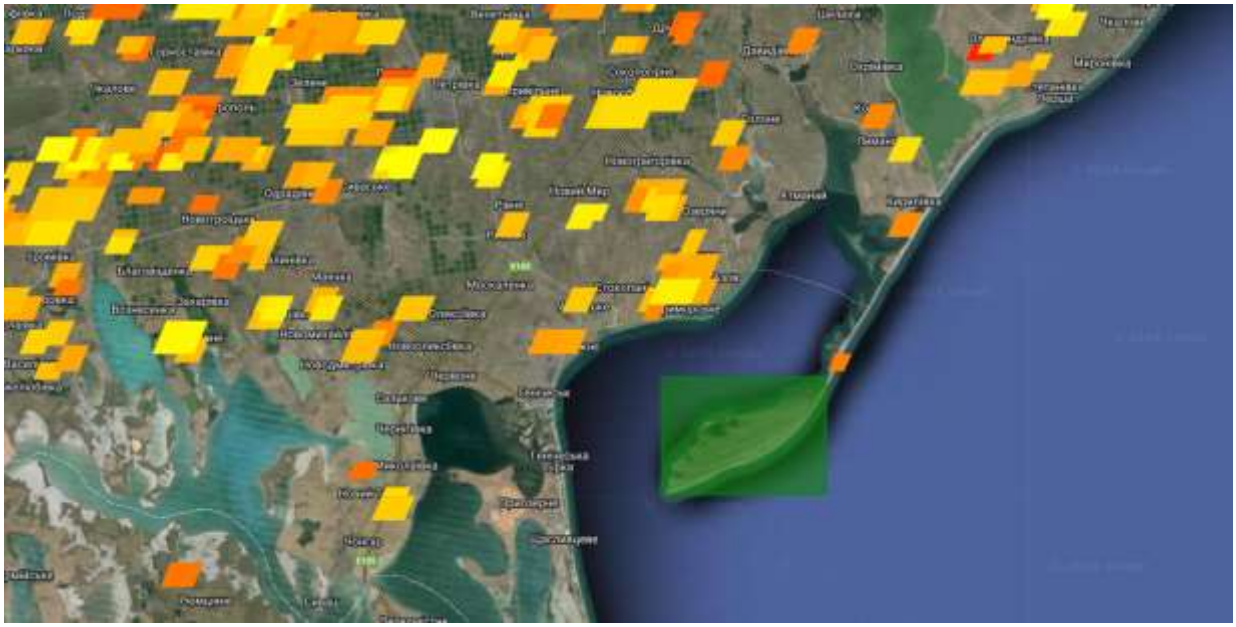


Fig. 1 – Condition of the selected area from January 2022 to December 2022.
Compiled by the authors based on source [2].


```
Burned Area per Month (km²) in 2022:
▾List (12 elements)
  ▾0: Object (2 properties)
      burned_area_km2: null
      month: 1
  ▾1: Object (2 properties)
      burned_area_km2: null
      month: 2
  ▾2: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.13863764069608803
      month: 3
  ▾3: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.6597645292834713
      month: 4
  ▾4: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.006233703918457031
      month: 5
  ▾5: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.01432473016357422
      month: 6
  ▾6: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 1.1897405258789062
      month: 7
  ▾7: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.012470583984375
      month: 8
  ▾8: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.0006238674926757812
      month: 9
  ▾9: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.0006240060424804688
      month: 10
  ▾10: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.00934088555908203
      month: 11
  ▾11: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.0006233760986328125
      month: 12
```


Fig. 2 – Burned Area in 2022

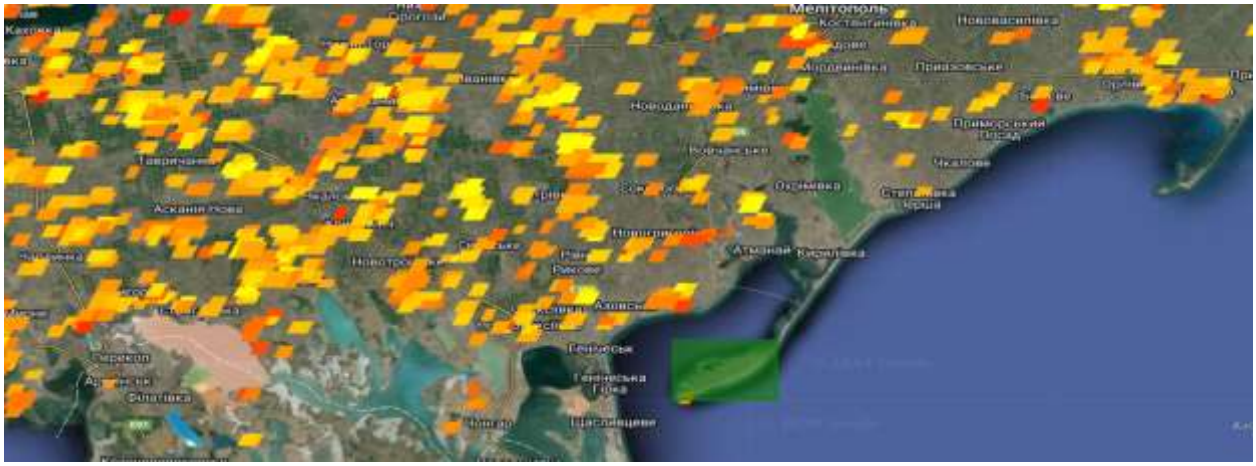


Fig. 3 – Condition of the selected area from January 2023 to December 2023
Compiled by the authors based on source [2].

Table 3

Thermal anomalies (wildfires) based on NASA FIRMS satellite monitoring in the northern Pryazovia region (Biryuchyi Island) during 2023 (Suomi NPP satellite, VIIRS instrument)

Date	Time	Coordinates	Brightness, °K	Temperature, °K	FRP, MW	Time of Day
2023 year						
06.06.2023	23:11	35.07536°, 46.1778°	302.36	288.91	0.39	night
06.06.2023	23:11	35.07462°, 46.1813°	300.33	287.91	0.39	night
08.06.2023	22:33	35.06746°, 46.19642°	290.72	310.44	1.52	night
10.09.2023	23:10	35.11687°, 46.16344°	320.04	295.22	1.91	night
11.09.2023	08:50	35.11636°, 46.17956°	340.52	312.29	12.88	day
11.09.2023	10:30	35.12804°, 46.15277°	354.85	320.19	16.43	day
11.09.2023	22:51	35.13182°, 46.14058°	294.86	305.66	1.6	night

In 2023, the first fire outbreaks were recorded from June 6 to 8, mostly at night, with low Fire Radiative Power (FRP) values ranging from 0.39 to 1.52 MW, indicating small, localized fires.

Significantly higher activity was recorded in September 2023, particularly on September 11, when a fire during the daytime reached a temperature of up to 320.19 K, brightness of 354.85 K, and an FRP of 16.43 MW, indicating intense burning. On the same morning, another powerful fire with an FRP of 12.88 MW was also detected. These events indicate a high fire hazard at the end of summer and the beginning of autumn.

Unlike June, the fires in September (September 10–11) were of a completely different nature – 17 detections were recorded, covering a broader area between 35.10–35.13°N and 46.14–46.18°E, with an estimated area of about 3 km². These fires alternated between night and day phases and showed sharp fluctuations in intensity. The daytime burning temperature reached 354.85 K, the highest value during the observed period, and the FRP peaked at 16.43 MW – a record value recorded twice on September 11.

June fires showed consistently low intensity and were detected with nominal confidence. In contrast, September fires exhibited high variability in intensity even within a single day, with a peak in activity in the morning and daytime hours of September 11. On this day, a sharp increase in fire intensity was recorded, followed by a rapid decline in the evening. Some daytime detections had mixed confidence levels due to high aerosol concentrations and possible interferences affecting the accuracy of satellite data.

Spatially, the June and September fire outbreaks did not overlap – they were located in different areas approximately 4–5 km apart. All

fires had a clustered pattern, forming compact groups, which indicates local conditions for fire ignition, likely caused by human activity or uncontrolled processes on abandoned land plots.

In conclusion, NASA FIRMS data clearly captures changes in the intensity and spatial characteristics of wildfires in the second half of 2023 and demonstrates the increased risks associated with declining land management effectiveness. This further underscores the importance of satellite monitoring for detecting and assessing the dynamics of both natural and human– induced fires.

The use of the Google Earth Engine (GEE) tool made it possible to obtain information on burned areas in 2023, as recorded by MODIS and VIIRS satellites. As in the previous case, combining information from both sources allowed for an expanded understanding of the fire events (Fig. 4).


```
Burned Area per Month (km²) in 2023:
▾List (12 elements)
  ▾0: Object (2 properties)
      burned_area_km2: null
      month: 1
  ▾1: Object (2 properties)
      burned_area_km2: null
      month: 2
  ▾2: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 14.415378108989156
      month: 3
  ▾3: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.04301451867675781
      month: 4
  ▾4: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.10110475665283203
      month: 5
  ▾5: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 1.1821690122680664
      month: 6
  ▾6: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0
      month: 7
  ▾7: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.0006230745239257813
      month: 8
  ▾8: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.0018665003051757812
      month: 9
  ▾9: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.0024915206909179688
      month: 10
  ▾10: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.04545594244384766
      month: 11
  ▾11: Object (2 properties)
      burned_area_km2: 0.028034564697265625
      month: 12
```


Fig. 4 – Burned Area in 2023

In 2023, wildfire activity on Biryuchyi Island showed a clear seasonal dynamic with a sharp peak in spring. No data were available for January and February, likely due to unfavorable weather conditions and high cloud cover that prevented the acquisition of suitable satellite imagery. In March, an exceptionally large burned area was recorded – over 14.4 km², which represents the absolute maximum for the year. In April, the figure dropped sharply to 0.043 km², and in May it slightly increased to 0.10 km². June saw another significant increase in burned area to over 1.18 km², after which no burning events were recorded in July. In August, September, and October, only minor traces of fire activity were detected, with monthly burned areas less than 0.003 km². In November, the burned area was approximately 0.045 km², and in December – around 0.028 km². Overall, 2023 was characterized by abnormally high fire activity in March, less intense episodes in June, and isolated fires during other months.

An analysis of NASA FIRMS thermal anomaly (wildfire) data based on satellite monitoring of Biryuchyi Island using the Suomi NPP satellite and VIIRS instrument is presented in Table 4**.**

Table 4

Thermal anomalies (wildfires) based on NASA FIRMS satellite monitoring in the northern Pryazovia region (Biryuchyi Island) during 2024 (Suomi NPP satellite, VIIRS instrument)

Date	Time	Coordinates	Brightness, °K	Temperature, °K	FRP, MW	Time of Day
2024 year						
04.06.2024	22:44	35.10315°, 46.20099°	316.8	297.12	2.38	night
06.06.2024	22:06	35.09619°, 46.18369°	316.88	293.57	4.65	night
06.06.2024	23:46	35.09515°, 46.18308°	307.97	292.86	3.04	night
07.06.2024	09:26	35.08377°, 46.20878°	340.79	300.93	5.07	day
08.06.2024	09:07	35.07297°, 46.19811°	367.00	307.11	7.42	day
08.06.2024	10:48	35.07441°, 46.21264°	310.09	367.00	9.33	day
08.06.2024	23:09	35.06923°, 46.21117°	294.73	327.04	2.68	night
09.06.2024	08:48	35.0585°, 46.20996°	345.48	300.91	7.33	day
09.06.2024	10:29	35.057°, 46.20673°	317.82	355.77	20.17	day
09.06.2024	22:50	35.06757°, 46.11308°	268.60	312.63	1.63	night
10.06.2024	10:10	35.04699°, 46.09775°	339.59	309.68	4.09	day
10.06.2024	22:31	35.03495°, 46.08949°	291.48	317.44	1.87	night
11.06.2024	22:12	35.02854°, 46.09764°	291.70	306.25	1.79	night
12.06.2024	21:53	35.032°, 46.10518°	291.25	301.53	1.17	night
12.06.2024	09:32	35.02376°, 46.10268°	308.69	341.22	16.16	day
13.06.2024	09:13	35.0119°, 46.11203°	305.93	347.58	4.48	day
14.06.2024	10:35	35.04836°, 46.20476°	311.14	367.00	15.42	day
02.07.2024	09:57	35.19245°, 46.17499°	317.45	346.86	7.40	day
10.08.2024	09:26	35.15236°, 46.14219°	317.62	346.2	7.35	day
19.08.2024	09:58	35.19637°, 46.15812°	323.25	348.35	18.52	day
17.10.2024	22:12	35.02831°, 46.13974°	293.67	321.06	2.75	night
24.10.2024	23:22	35.21137°, 46.09368°	277.76	296.84	0.98	night

In 2024, activity began in early June. From June 4 to 7, mostly nighttime fires with moderate intensity were recorded, with FRP reaching up to 4.65 MW, concentrated geographically near 46.18–46.21°E. From June 8 to 9, the situation escalated – a series of powerful daytime fires were recorded with FRP up to 20.17 MW and temperatures above 350 K, indicating large– scale burning. The highest recorded FRP value occurred on June 9, possibly signaling the ignition of a significant area of dry vegetation. Activity continued through June 14, with a daytime fire on the 14th reaching a temperature of 367 K and FRP of 15.42 MW – one of the most intense events in the entire observation period.

In July and August 2024, intense fires with FRP exceeding 7 MW were also recorded, with a peak of 18.52 MW on August 19. Later in autumn, in October 2024, nighttime fires with moderate intensity (up to 2.75 MW) were observed, which may have been caused by both natural factors and human activity.

In summary, wildfire activity during this period demonstrates a rising trend in the spring–summer season, with peaks in June and August. This underlines the importance of continuous monitoring to prevent environmental threats, especially under conditions of arid climate and possible anthropogenic influence.

Between June 4 and June 14, 2024, the study area experienced prolonged wildfire activity characterized by a distinct phased development and spatiotemporal dynamics. The initial ignition was recorded on June 4 at 22:44 at coordinates 35.09–35.10°N and 46.19–46.20°E. In the following days, active burning zones gradually shifted toward the southwestern

sector (35.00–35.08°N, 46.08–46.21°E), accompanied by increased thermal radiation intensity (FRP) and burning temperatures.

The main development phase occurred from June 8 to 10, peaking on June 10 at 10:10 at coordinates 35.04699°N, 46.09775°E, where the maximum FRP reached 35.15 MW, the burning area temperature was 309.68 K, and brightness was 339.59 K. This represents the highest energy output recorded during the entire observation period.

The daily dynamics of the fire displayed a typical natural pattern: higher FRP values were recorded during daylight hours (average ~8–12 MW), while nighttime activity decreased to around 2–3 MW. However, more detections occurred at night due to improved visibility for satellite sensors. Temperature readings ranged from 300.9 K to 367 K, with typical daytime values of 340–355 K and nighttime values of 305–320 K.

Following the peak intensity on June 10, the fire's energy gradually declined, marking the decay phase (June 11–14). During this time, the active burning zone shifted eastward (to coordinates 35.04–35.05°N, 46.20°E). A new isolated flare– up was recorded on July 2 at coordinates 35.19°N, 46.17°E, indicating a possible re– ignition or residual smoldering of organic matter.

The spatial concentration of fire activity is shown in Fig. 5.

Fig. 5 – Largest Wildfires Recorded During the Occupation on Biryuchyi Island
Compiled by the authors based on source [17].

Thus, the wildfires of June 2024 exhibited a complex development structure, with a sequential escalation of intensity, spatial expansion, a clear daily rhythm, and the conclusion of the main active phase within ten days. The highest temperatures and FRP values were recorded during daylight hours, while the nighttime phase provided detailed satellite data necessary for reconstructing the full dynamics of the wildfire.

Based on Sentinel– 2 (Copernicus) satellite imagery from August 2024, a large– scale wildfire was detected on Biryuchyi Island, covering a significant portion of its territory. The first signs of fire activity were observed on August 3, the intensity peaked on August 8, and active fire spots persisted through August 18–19. The images clearly show areas affected by thermal damage corresponding to hotspots of high temperature and burning (Fig. 6–8).

The wildfires were accompanied by thermal anomalies, with a maximum temperature reaching 348.35 K (on August 19) and fire radiative power (FRP) up to 18.52 MW. This is

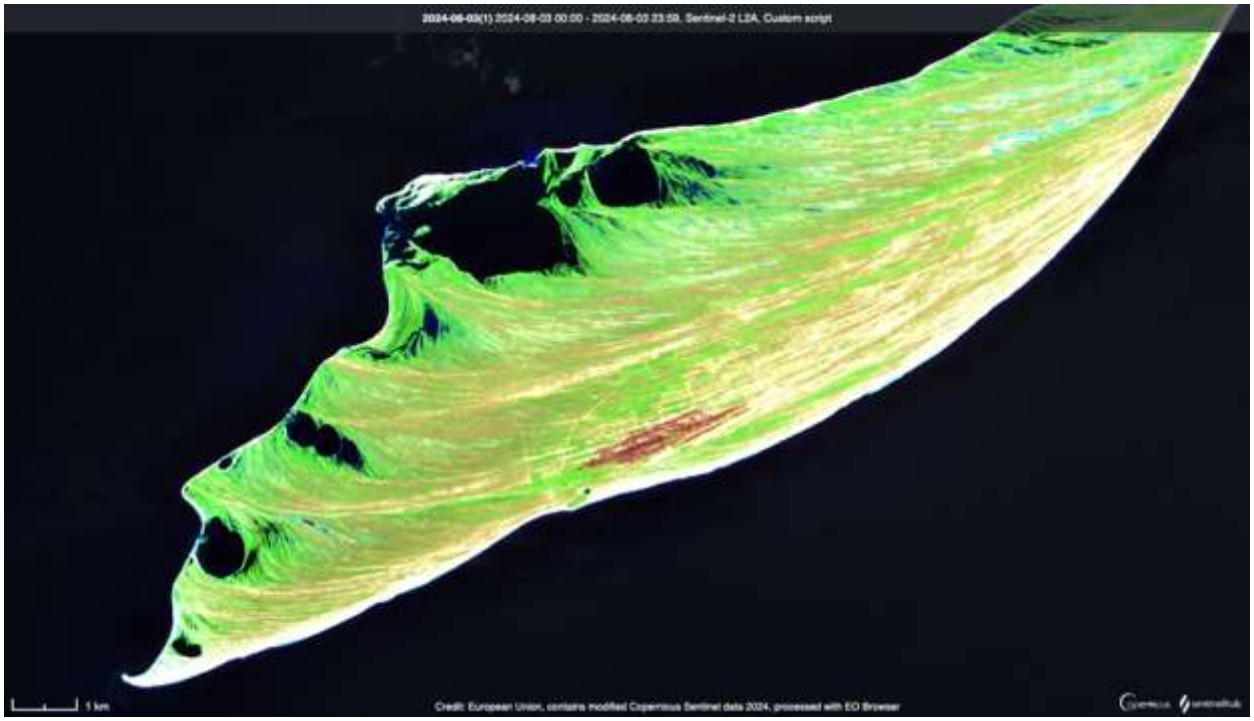


Fig. 6 – Wildfires on Biryuchyi Island, August 3, 2024
Compiled by the authors based on source [1].

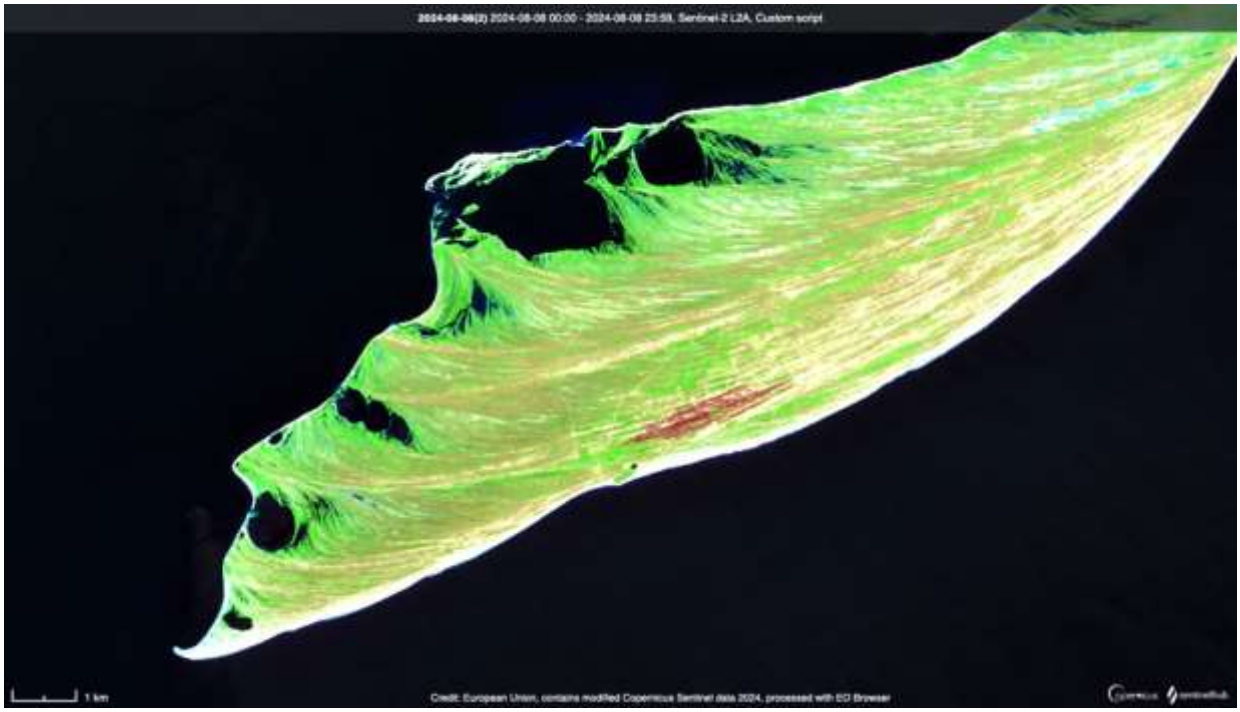


Fig. 7 – Wildfires on Biryuchyi Island, August 8, 2024
Compiled by the authors based on source [1].

confirmed by NASA FIRMS data, where these events were recorded as distinct, high–temperature daytime hotspots. In particular, the wildfire on August 10 (09:26) at coordinates 35.15236°N, 46.14219°E was accompanied by a temperature of 346.2 K and an FRP of 7.35 MW.

Throughout 2024, the overall pattern of fire load was as follows:

No fires were detected from January through May.

June accounted for the primary wave of detections, with 181 cases.

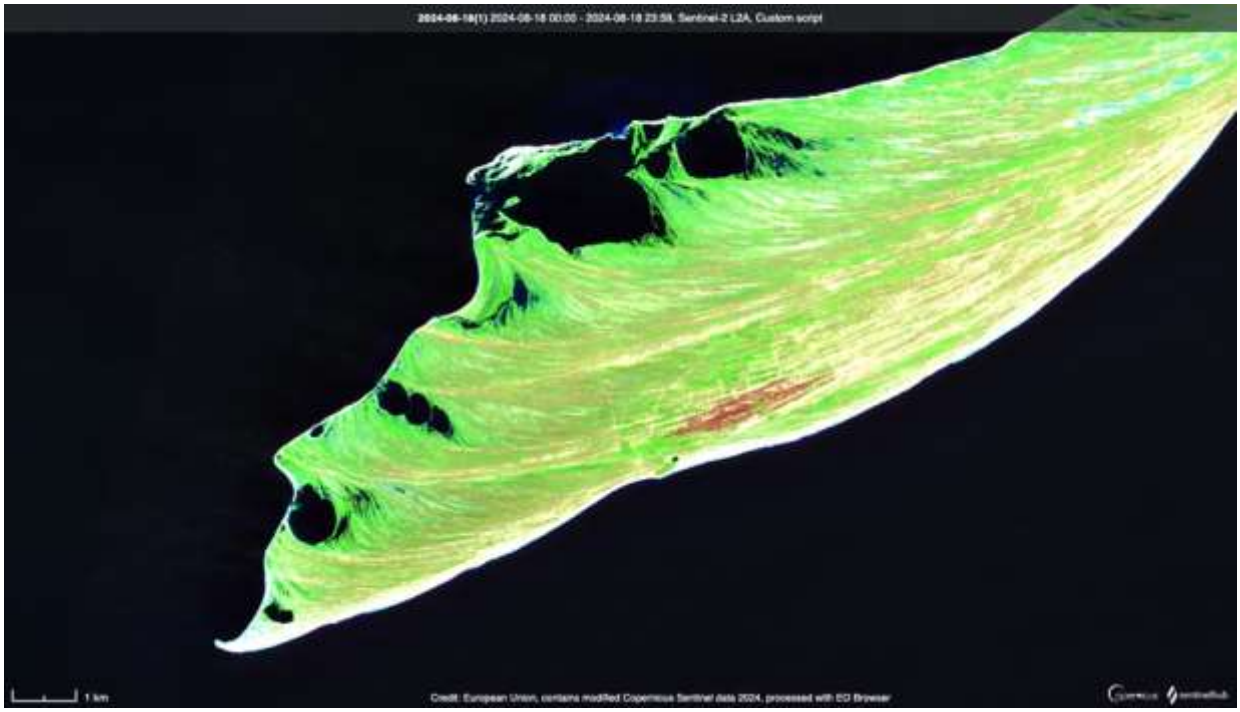


Fig. 8 – Wildfires on Biryuchyi Island, August 18, 2024
Compiled by the authors based on source [1].

July saw only 3 minor episodes.

The August outbreak was the second most intense.

October recorded 3 fire hotspots.

In autumn and early winter, fire activity gradually declined.

The temporal dynamics of the fires showed a typical diurnal pattern: intensity was higher during the day, but the total number of nighttime detections was greater due to higher contrast in the infrared spectrum. Spatially, the hotspots shifted from the eastern part of the island toward the center and then closer to the southwestern section, forming a clustered burn pattern.

The temperature range was consistent with natural burning of dry vegetation: from 300.9 K to 367 K. Daytime temperatures typically reached 340–355 K, while nighttime temperatures did not exceed 320 K. Average daytime FRP ranged from 8 to 12 MW, while nighttime values were around 2–3 MW.

Taken together, this data indicates significant wildfire activity on Biryuchyi Island in August 2024, confirmed by both remote sensing data from Sentinel– 2 and NASA FIRMS observations. The scale and duration of the fires suggest a serious ecological impact on the island's ecosystem, especially under conditions of limited fire management and restricted access for suppression efforts due to occupation.

The use of the Google Earth Engine (GEE) tool enabled the acquisition of information about burned areas in 2024, as recorded by MODIS and VIIRS satellites. As in the previous case, combining data from both sources allowed for a more comprehensive understanding of the wildfire events (Fig. 9).

In 2024, Biryuchyi Island experienced relatively moderate but traceable wildfire activity, marked by several periods of increased intensity. As early as January, a small burned area of approximately 0.004 km² was recorded. In February and March, no data were available, likely due to cloud cover or the lack of high–quality satellite images. In April and May, burned areas remained minimal– 0.013 km² and 0.0087 km², respectively. In contrast, June saw a sharp rise in activity, with over 1.63 km² burned, making it one of the two peak months of the year.

In July, the burned area dropped again to 0.0012 km², but in August it increased to over 0.2 km². September showed a more moderate figure of 0.061 km². October marked the second and most intense peak of the year, with a burned area exceeding 1.85 km²– the highest recorded monthly value. In November, wildfire activity nearly ceased (0.0006 km²), but in December, it rose again to 0.179 km².

```
Burned Area per Month (km²) in 2024:
▾List (12 elements)
  ▾0: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 0.004353026794433594
     month: 1
  ▾1: Object (2 properties)
     burned_area_km2: null
     month: 2
  ▾2: Object (2 properties)
     burned_area_km2: null
     month: 3
  ▾3: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 0.013078564025878906
     month: 4
  ▾4: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 0.008731709106445313
     month: 5
  ▾5: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 1.6331257754401711
     month: 6
  ▾6: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 0.0012436273803710938
     month: 7
  ▾7: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 0.2084447484741211
     month: 8
  ▾8: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 0.0611199439086914
     month: 9
  ▾9: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 1.8526720847170364
     month: 10
  ▾10: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 0.0006231348266601562
     month: 11
  ▾11: Object (2 properties)
     burned_area_km2: 0.17935345983479817
     month: 12
```


Fig. 9 – Burned Area in 2024

Thus, the combined use of the Google Earth Engine platform and NASA FIRMS allowed for a detailed description of the wildfire situation on Biryuchyi Island since the onset of war.

To confirm conclusions regarding the causes of fires (see Table 2), multiple sources were used– satellite data, meteorological information, and local– scale observations– which allowed for a more complete and comprehensive picture of the changes that occurred during the 2015–2024 period.

To study the influence of weather conditions on the likelihood of wildfires in the Biryuchyi Island area, a table was constructed containing data on fire detection dates and corresponding weather conditions. Fire data were obtained from the official source– NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System), which provides satellite monitoring of thermal anomalies.

For each recorded fire date, the average daily air temperature was calculated as the arithmetic mean between daytime and nighttime temperatures. These weather data were gathered from hydrometeorological websites that provide actual weather information in the region. The primary meteorological station used for data collection was located in the urban– type settlement of Kyrylivka, the closest to the study area [18].

In addition to temperature, the table also includes recorded weather phenomena (sunny, rain, cloudy, thunderstorm) observed on the day of the fire, as they can significantly influence ignition conditions or fire spread. This enabled a comprehensive assessment of the possible relationship between temperature conditions, atmospheric phenomena, and the risk of natural wildfires, as illustrated in Table 5.

Wildfire on 11.06.2015

The average daily temperature was 20°C, reaching 25°C during the day and dropping to 15°C at night. The weather was sunny. These temperature values do not reach critical thresholds for spontaneous ignition of vegetation. While the sunny weather could have contributed to drying the grass, the anthropogenic factor remains the most likely cause of the fire.

Wildfire on 10.06.2016

Table 5

Analysis of Meteorological Conditions on Wildfire Days Near Biryuchyi Island, 2015–2024

Date of Fire	Average Daily Temperature (°C)	Daytime Temperature (°C)	Nighttime Temperature (°C)	Weather Conditions	Date of Fire	Average Daily Temperature (°C)	Daytime Temperature (°C)	Nighttime Temperature (°C)	Weather Conditions
11.06.2015	20	25	15	Sunny	28.06.2020	22,5	26	19	Sunny
10.06.2016	15,5	18	13	Sunny	4.06.2021	15,5	18	13	Rain
13.06.2016	19,5	22	17	Sunny	5.06.2021	16	19	13	Rain
17.06.2016	22,5	25	20	Sunny	24.06.2021	23	26	20	Cloudy
18.06.2016	22,5	25	20	Sunny	25.06.2021	24,5	28	21	Cloudy
20.06.2016	26,5	32	21	Sunny	26.06.2021	24	27	21	Cloudy
23.06.2016	27	30	24	Sunny	21.07.2021	27	31	23	Sunny
1.07.2017	27,5	32	23	Sunny	22.07.2021	21,5	22	21	Thunderstorm
9.07.2017	21,5	24	19	Thun-der-storm	18.07.2022	21	26	16	Sunny
10.07.2017	19,5	24	15	Sunny	19.07.2022	20,5	25	16	Cloudy
11.07.2017	23	26	20	Sunny	20.07.2022	22	26	18	Cloudy
12.07.2017	23	25	21	Sunny	21.07.2022	21,5	26	17	Cloudy
13.07.2017	24	26	22	Sunny	22.07.2022	23,5	27	20	Cloudy
30.08.2017	16	18	14	Sunny	23.07.2022	21,5	27	16	Cloudy
20.06.2018	22,5	25	20	Sunny	24.07.2022	23	28	18	Cloudy
3.07.2018	20,5	23	18	Sunny	6.06.2023	16	20	12	Sunny
7.07.2018	25	30	20	Sunny	8.06.2023	17	20	14	Sunny
12.07.2018	27,5	34	21	Sunny	4.06.2024	22	26	18	Cloudy
3.08.2018	24	27	21	Sunny	6.06.2024	22,5	26	19	Cloudy
8.08.2018	24	31	17	Sunny	7.06.2024	23	27	19	Cloudy
2.06.2019	21,5	25	18	Rain	8.06.2024	23	27	19	Cloudy
14.06.2019	22,5	25	20	Sunny	9.06.2024	23	27	19	Cloudy
15.06.2019	22	26	18	Sunny	10.06.2024	24,5	28	21	Cloudy
16.06.2019	23	27	19	Sunny	11.06.2024	24,5	27	22	Cloudy
19.06.2019	23,5	27	20	Sunny	12.06.2024	25	28	22	Rain
17.07.2019	21,5	25	18	Sunny	13.06.2024	22	27	17	Cloudy
4.08.2019	22	24	20	Thun-der-storm	14.06.2024	22,5	26	19	Cloudy
14.08.2019	24,5	27	22	Sunny	2.07.2024	25,5	29	22	Sunny
26.06.2020	21	24	18	Sunny	10.08.2024	25	28	22	Cloudy
27.06.2020	22	25	19	Sunny	19.08.2024	24	28	20	Cloudy

Compiled by the authors based on sources [1, 2, 18].

The average temperature was 15.5°C, with a daytime high of 18°C and a nighttime low of 13°C. Although the weather was sunny, the temperature was too low for natural ignition. The fire was most likely caused by human activity.

Wildfire on 13.06.2016

Average temperature: 19.5°C (22°C day, 17°C night). Sunny weather, but moderate temperatures make spontaneous ignition unlikely. Again, the anthropogenic factor is the main hypothesis.

Wildfire on 17.06.2016

Average daily temperature: 22.5°C (25°C day, 20°C night). Sunny conditions could dry out vegetation, but temperatures are still below levels typical for spontaneous ignition. Most likely human– caused.

Wildfire on 18.06.2016

Average temperature: 22.5°C (25°C day, 20°C night). Conditions similar to 17.06 – conducive to burning, but not spontaneous ignition. Anthropogenic cause remains most probable.

Wildfire on 20.06.2016

Higher average temperature: 26.5°C (32°C day, 21°C night). Sunny weather and high daytime temperature may have created conditions for natural ignition, but definitive conclusions require more data.

Wildfire on 23.06.2016

Average temperature: 27°C (30°C day, 24°C night). Temperatures were high and sunny weather promoted drying. Natural ignition is possible, though human involvement cannot be ruled out.

Wildfire on 1.07.2017

Average temperature: 27.5°C (32°C day, 23°C night). High temperatures and sunny weather provided favorable conditions for ignition, though human factors remain possible.

Wildfire on 9.07.2017

Average temperature: 21.5°C (24°C day, 19°C night). Thunderstorms were reported, suggesting possible lightning ignition.

Wildfire on 10.07.2017

Average temperature: 19.5°C (24°C day, 15°C night). Sunny with moderate temperatures. Most likely anthropogenic.

Wildfire on 11.07.2017

Average temperature: 23°C (26°C day, 20°C night). Sunny weather and moderate temperatures do not exclude human influence.

Wildfire on 12.07.2017

Average temperature: 23°C (25°C day, 21°C night). Anthropogenic factor remains the leading cause, as temperatures are not critical.

Wildfire on 13.07.2017

Average temperature: 24°C (26°C day, 22°C night). Conditions similar to previous days. Most likely human– caused.

Wildfire on 30.08.2017

Average temperature: 16°C (18°C day, 14°C night). Low temperatures rule out natural ignition. Human activity is the main suspected cause.

Wildfire on 20.06.2018

Average temperature: 22.5°C (25°C day, 20°C night). Sunny weather supports burning, but not natural ignition. Human activity is the likely cause.

Wildfire on 3.07.2018

Average temperature: 20.5°C (23°C day, 18°C night). Moderate temperatures again point to anthropogenic origin.

Wildfire on 7.07.2018

Average temperature: 25°C (30°C day, 20°C night). High but not extreme temperatures. Both natural and human causes are possible.

Wildfire on 12.07.2018

Average temperature: 27.5°C (34°C day, 21°C night). High daytime temperature increases likelihood of natural ignition.

Wildfire on 3.08.2018

Average temperature: 24°C (27°C day, 21°C night). Conditions support burning, but spontaneous ignition is unlikely.

Wildfire on 8.08.2018

Average temperature: 24°C (31°C day, 17°C night). Sunny weather and high daytime temperature could facilitate ignition, though a human cause is still possible.

Fires on 30.08.2017, 20.06.2018, and others up to August 2019. These dates reflect similar average temperatures (16°C–27.5°C) with sunny weather. Temperatures do not exceed thresholds for natural ignition, suggesting human activity as the probable cause.

Fires during 06–07 months of 2020–2022

Temperatures ranged between 15.5°C and 27°C under varied weather conditions (sunny, cloudy, rainy). The lack of extreme heat suggests low probability of spontaneous ignition. Fires during cloudy days further support the anthropogenic origin theory.

Fires in 2023–2024

Data shows a temperature increase up to 25.5°C (with daytime highs of 29°C). At such

temperatures, natural ignition is unlikely, especially since vegetation might be more humid during this period. Cloudy weather conditions in 2024 once again highlight the role of human activity.

The results of this comprehensive analysis confirm the main conclusion about the predominant causes of wildfires – anthropogenic pressure resulting from the occupation of the territory, rather than climatic anomalies, throughout the studied period.

Conclusions

During the study of the chronological dynamics of thermal anomalies on the territory of the Biryuchyi Peninsula for the period 2014–2024, a full– scale spatiotemporal analysis of fire activity was carried out based on satellite data from NASA FIRMS and Google Earth Engine. Two stable periods of increased intensity were identified – the spring– summer season (especially June–July) and, in some years, September. Fires during these periods were characterized by significant thermal loads, confirmed by high fire radiative power (FRP) values exceeding 20 MW, indicating extremely intense burning. The spatial distribution of thermal anomalies showed a clustered pattern: ignition zones concentrated in compact areas of 3–5 km² with a tendency for repeated ignition in the same locations. The movement of fire hotspots from the northeastern to the southwestern part of the peninsula indicates the formation of localized fire– prone zones, likely linked to landscape morphology, vegetation type, and the presence of abandoned infrastructure.

The daily distribution of fire activity revealed a clear pattern: the highest FRP values were recorded during the daytime (from 08:00 to 12:00), associated with peak air temperatures, while the number of detections increased at night (22:00–02:00) due to optimal conditions for infrared signal reading. June and August 2024 were particularly active in terms of thermal dynamics due to a combination of high air temperatures, low precipitation levels, and increased dryness of soil and vegetation. A retrospective analysis of burned areas conducted via GEE revealed significant annual variability: over 2.1 km² in 2022, over 16.5 km² in 2023 (with a peak in March – 14.4 km²), and about 3.9 km² in 2024, with pronounced peaks in June and October.

The ecological situation in the region has significantly deteriorated since 2022 due to military occupation. There has been a decline in environmental monitoring, loss of operational control over protected areas, and reduced effectiveness of fire suppression. As a result, uncontrolled wildfires have spread on a large scale, leading to the degradation of biotopes, loss of floristic and faunal diversity, and the activation of secondary destructive natural processes such as erosion and changes in microclimatic conditions.

Meteorological context accompanying the thermal anomalies, determined by comparing weather conditions (based on data from the Kyrylivka meteorological station) with fire detection dates, showed that most fires occurred under average daily temperatures of 18–26°C – values not critical for spontaneous vegetation ignition. Moreover, some thermal anomalies occurred under cloudy skies or following rainfall, which significantly reduces the probability of natural causes and points to an anthropogenic origin.

The integration of multi– source satellite analysis – particularly NASA FIRMS (VIIRS), Google Earth Engine (MODIS/VIIRS), and Sentinel– 2 (Copernicus) imagery – enabled high– precision reconstruction of the real fire dynamics. The use of NDVI for assessing post–fire vegetation condition helped to detect the degree of vegetation degradation and objectively assess the scale of environmental damage.

The overall assessment of fire hazard in the study area indicates a high level of ecosystem vulnerability on the Biryuchyi Peninsula and adjacent areas of the Henichesk coastline. This hazard is caused by a combination of natural factors (arid climate, open landscapes, rapid biomass drying) and anthropogenic impact (military presence, neglect, abandoned land plots). Therefore, there is an urgent need to create an adaptive fire risk management system based on satellite monitoring, meteorological modeling, and the development of fire danger forecast maps.

Conflict of Interest

This work was supported by a grant from the Simons Foundation, Award ID: 1030285 (2023) Award ID: 1290592 (2024).

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.

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work

References

1. NASA FIRMS – Fire Information for Resource Management System. Retrieved from https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov
2. Google Earth Engine. Retrieved from https://code.earthengine.google.com
3. Getman, V. (2017). Azov-Syvash National Nature Park. Bulletin *of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography*. (3-4), 44 – 47. http://doi.org/10.17721/1728– 2721.2017.68.8 (in Ukrainian)
4. Boiko, M. F., & Podhainyi, M. M. (1998). Red List of the Kherson Region: Rare and Endangered Species of Plants, Fungi, and Animals. Kherson.
5. Kolomiychuk, V. P. (2012). Azovo-Syvash National Nature Park. Phytodiversity of Nature Reserves and National Parks of Ukraine. Kyiv, Part 2: National Nature Parks.
6. State Administration of Affairs. Azovo–Syvash National Nature Park.(2025, 01 Feb.). Retrieved from https://wownature.in.ua/en/parks-and-reserves/azov-syvash-national-nature-park/
7. On Amendments to the Regulations on the Azov-Syvas National Natural Park. (2016). Retrieved from https://ips.ligazakon.net/document/FN026316?an=1&ed=2016_11_01 (in Ukrainian)
8. Dubyna, D. M., & Tymoshenko, P. A. (2004). Structural and Comparative Analysis of the Floristic Composition of Azovo– Syvash National Nature Park (Kherson Region). *Ukrainian Botanical Journal*. *61*(1), 18–26. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/UBJ_2004_61_1_5
9. Kolomiychuk, V. P., & Volokh, A. M. (2017). Changes in the Vegetation Cover of Biriuchyi Peninsula (Azovo-Syvash NNP) Under the Influence of Wild Ungulates. *Ecological Sciences*, (5), 74–83. Retrieved from http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2014/5/12.pdf
10. Volokh, A. M. (2014.). Game Animals of the Steppe Ukraine. Monograph. Kherson: Hryn.
11. Horoshkova, L., Skrynchenko, K., Menshov, O., Maslova, O., & Korniichuk, Y. (2023). Ecological risks of the impact of war on nature reserves in Ukraine (using the example of the Azovo-Sivash National Nature Park). *Proceedings of the XVII Intern. Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». European Association of Geoscientists & Engineers*. (2023, 7–10 November). Kyiv, Ukraine. https://doi.org/10.3997/2214– 4609.2023520226
12. Horoshkova L., Vasyl'yeva O., Antoniuk D., Antoniuk K., Horoshkov S., Tarasenko O. Assessment of Lost Benefits for Nature Conservation Areas and Objects Due to War in the Post– War Recovery. System of the Country. *Proceedings of the XVII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». European Association of Geoscientists & Engineers.* (2023, 7– 10 November). Kyiv, Ukraine. https://doi.org/10.3997/2214– 4609.2023520225
13. Horoshkova, L., Menshov, O., Skrynchenko, K., Korniichuk, Y., & Horoshkov, S. (2023). Assessment of environmental damage caused by the occupation of Ukraine's nature reserves (using the example of the Azovo– Sivash National Nature Park). *Proceedings of the VI International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence.* ISC SAI. (2023, 20– 25 Nov).
14. Horoshkova, L.A., & Menshov, O.I. (2023). Science for the post–war recovery of Ukraine. Information and Communication Technologies for Victory and Recovery. Collective monograph. *Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference "Information and Communication Technologies and Sustainable Development."* Kyiv, (2023, Nov 14–15, pp. 105–109). Kyiv: LLC "Yuston Publishing House," Retrieved from https://odnb.odessa.ua/vnn/book/15661
15. Horoshkova, L, Antoniuk, D., & Vasyl'yeva, O. (2023). Lost profits calculations of business entities: features of definition and assessment. In Pavlikha N. V. (Ed.). Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference: The socio-economic development model transformation in the conditions of Ukraine's restoration and integration with the EU. (Lutsk, May 15, 2023, pp. 34–37.). Lutsk: Vezha-Druk. Retrieved from https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/22365?offset=40
16. Horoshkova L.A., & Skrynchenko K.A. (2023). The Impact of Military Actions on the Condition of Protected Areas in Ukraine (on the Example of the Azov–Syvash National Nature Park). Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference: Boholib Readings:. Hryhorii Skovoroda

University in Pereiaslav. September 4–5, 2023: collection of scientific papers / ed. by S. Yu. Kucherenko, L.A. Horoshkova. Pereiaslav: FOP Dombrovska Ya.M., pp. 75–76.
17. Google Maps – Satellite View of Biriuchyi Peninsula. Retrieved from https://www.google.com.ua/maps/@46.0869957,34.9057233,98698m/data=!3m1!1e3?hl=ru
18. Meteofor – Weather Archive for Kyrylivka. Retrieved from https://meteofor.com.ua/weather– kyrylivka–13424/
19. EOS Data Analytics – LandViewer. Retrieved from https://eos.com/landviewer

The article was received by the editors 23.04.2025
The article is recommended for printing 29.05.2025

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

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

Ю. Д. КОРНІЙЧУК,
Бакалавр,
e-mail: yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0742-3213
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
вул.Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

С. В. ГОРОШКОВ[1, 2],
Бакалавр,
e-mail: stas20055008@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-4310-9165
[1]*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,*
вул. Володимирська, 60, Київ, 01033, Україна
[2] *Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,*
пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна

О. А. ГОЛУБ[3, 4], д-р хім. наук, професор,
e-mail: agolub@ukma.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1823-2523
[3]*Університет Юстуса Лібіга, Гіссен*
Людвігштрассе, 23, Гіссен, 35390, Німеччина
[4]*Національний університет «Києво-Могилянська академія»*
вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

К. А. СКРИНЧЕНКО,
Аспірант
e-mail: ohyrga@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-5984-3870
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІЙНИ НА ЗАПОВІДНІ ТЕРИТОРІЇ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Мета. Провести комплексний аналіз динаміки та екологічних наслідків лісових пожеж на території Бірючого півострова (Азово-Сиваський національний природний парк) за період з 2014 по 2024 роки з використанням інструментів супутникового моніторингу. Дослідження спрямоване на виявлення просторово-часових закономірностей виникнення пожеж, оцінку їхнього впливу на рослинність і тваринний світ,

а також виявлення екологічних загроз, що посилюються окупацією та відсутністю протипожежного менеджменту.

Методи. Для виявлення та картографування пожежних аномалій були використані дані супутників NASA FIRMS (датчики MODIS та VIIRS), Sentinel-2, Google Earth Engine та погодні архіви (RP5). Просторово-часовий аналіз проводився на основі радіаційної потужності пожежі (FRP), теплової яскравості, координат пожежі та погодних параметрів. Дані з різних джерел були інтегровані для підтвердження пожежних подій, а зміни NDVI на основі Sentinel були проаналізовані для оцінки пошкодження рослинності.

Результати: Встановлено, що пожежі на Бірючому півострові мали кластерний характер і демонстрували чітку добову та сезонну динаміку. **В**иявлено два основні піки пожеж: Червень і серпень 2024 року. Найвищі значення ПРП (35,15 МВт) і температури (367 К) були зафіксовані 10 червня. Пожежі мали чіткі добові закономірності - вища інтенсивність вдень і більша кількість загорянь вночі. Втрата рослинності та пожежні шрами були підтверджені за допомогою знімків Sentinel. Географічний аналіз показав зміщення осередків горіння з північного сходу на південь півострова. Метеоаналіз підтвердив, що більшість пожеж виникали в умовах помірної або високої температури при відсутності опадів, що свідчить про вірогідну участь антропогенного чинника у виникненні загорянь. Фактори, пов'язані з окупацією (недостатнє гасіння, військові дії), були пов'язані зі збільшенням поширення пожеж. Супутникові дані після пожежі показали значну деградацію природної рослинності та фрагментацію середовищ існування оленів, земноводних і перелітних птахів**,** що виявляється за зниженими значеннями NDVI після пожеж

Висновки. Пожежі на Бірючому півострові в умовах окупації стали частішими, масштабнішими та менш контрольованими. Втрата природоохоронного режиму, припинення пожежогасіння та зменшення антропогенного догляду за територією стали критичними чинниками загострення екологічної ситуації. Наслідки включають серйозні порушення екосистем через ерозію ґрунту, втрату рослинності та трофічний дисбаланс. Відновлення вимагає невідкладних заходів: моніторингу популяцій диких тварин, відновлення лісів місцевими видами, боротьби з ерозією та регулювання чисельності копитних. Використання супутникових інструментів виявилося дуже важливим для виявлення невеликих пожеж та моніторингу екологічної динаміки на важкодоступних територіях. Без активного втручання можлива каскадна деградація, включаючи мікрокліматичні зміни та вторгнення чужорідних видів. Для відновлення та захисту цієї унікальної екологічної території необхідний довгостроковий план управління.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *Бірючий півострів, моніторинг лісових пожеж, супутникове дистанційне зондування, FRP, NDVI, деградація екосистем, копитні, втрата рослинності, динаміка пожеж, зайнятість, Google Earth Engine*

Конфлікт інтересів

Цю роботу було підтримано грантом від Simons Foundation, ідентифікатор гранту: 1030285 (2023) та ідентифікатор гранту: 1290592 (2024).

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

Список використаної літератури

1. NASA FIRMS – Fire Information for Resource Management System. URL: https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov
2. Google Earth Engine. URL: https://code.earthengine.google.com
3. Гетьман В. Азово-Сиваський національний природний парк. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2017. № 3-4. С.44 - 47. DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.68.8
4. Бойко М. Ф., Подгайний М. М. Червоний список Херсонської області: Рідкісні та зникаючі види рослин, грибів та тварин. Херсон, 1998.
5. Коломійчук В. П. Національний природний парк Азово-Сиваський // Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Київ, 2012. Ч. 2: Національні природні парки.
6. Державне управління справами. Азово-Сиваський національний парк. URL: http://www.dus.gov.ua/content/азово-сиваський-національний-природний-парк. Останній візит 01/02/25 [Accessed 01 Feb 2025].
7. Про внесення змін до Положення про Азово-Сиваський національний природний парк. 2016. URL: https://ips.ligazakon.net/document/FN026316?an=1&ed=2016_11_01
8. Дубина Д. М., Тимошенко П. А. Структурно-порівняльний аналіз флористичного складу Азово-Сиваського національного природного парку (Херсонська область). *Український ботанічний журнал.* 2004. Том 61, № 1. С. 18–26. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UBJ_2004_61_1_5
9. Коломійчук В.П., Волох А.М. Зміни рослинного покриву півострова Бірючий (Азово-Сиваський НПП) під впливом диких копитних. *Екологічні науки*. 2017. № 5. С. 74-83. http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2014/5/12.pdf
10. Волох, А. М. Охотничьи звери Степной Украины. Монография. 2014. Херсон: Грынь. 230 с.

11. Horoshkova L., Skrynchenko K., Menshov O., Maslova O., Korniichuk Y. Ecological risks of the impact of war on nature reserves in Ukraine (using the example of the Azovo-Sivash National Nature Park). XVII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». European Association of Geoscientists & Engineers. 7-10 November 2023, Kyiv, Ukraine. URL: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520226
12. Horoshkova L., Vasyl'yeva O., Antoniuk D., Antoniuk K., Horoshkov S., Tarasenko O. Assessment of Lost Benefits for Nature Conservation Areas and Objects Due to War in the Post-War Recovery. System of the Country. XVII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». European Association of Geoscientists & Engineers. 7-10 November 2023, Kyiv, Ukraine. URL: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520225
13. Horoshkova L., Menshov O., Skrynchenko K., Korniichuk Y., Horoshkov S. Assessment of environmental damage caused by the occupation of Ukraine's nature reserves (using the example of the Azovo-Sivash National Nature Park). 6th International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence. ISC SAI. 20-25 November 2023.
14. Horoshkova L.A., Menshov O.I. Science for the post-war recovery of Ukraine. Інформаційно-комунікаційні технології для перемоги та відновлення. Колективна монографія за матеріалами XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток». Київ, 14-15 листопада 2023 р. К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2023. С.105-109. URL: https://odnb.odessa.ua/vnn/book/15661
15. Horoshkova L, Antoniuk D., Vasyl'yeva O. Lost profits calculations of business entities: features of definition and assessment. Трансформація моделі соціально-економічного розвитку в умовах відновлення України та інтеграції з ЄС: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції (Луцьк, 15 травня 2023 р.). / За заг. ред. Павліхи Н. В. Луцьк: Вежа-Друк, 2023. С. 34-37. URL: https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/22373
16. Горошкова Л.А., Скринченко К.А. Вплив воєнних дій на стан природоохоронних територій України (на прикладі Азово-Сиваського НПП). Боголібські читання: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Університет Григорія Сковороди в Переяславі. 4-5 вересня 2023 року. / за ред. С. Ю. Кучеренко, Л.А. Горошкової. Переяслав: ФОП Домбровська Я.М., 2023, С.75-76.
17. Google Maps – Satellite View of Biriuchyi Peninsula. URL: https://www.google.com.ua/maps/@46.0869957,34.9057233,98698m/data=!3m1!1e3?hl=ru
18. Meteofor – Weather Archive for Kyrylivka. URL: https://meteofor.com.ua/weather-kyrylivka-13424/
19. EOS Data Analytics – LandViewer. URL: https://eos.com/landviewer

Стаття надійшла до редакції 23.04.2025
Стаття рекомендована до друку 29.05.2025

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-11
UDC (УДК): 631.572./461.62(292.485:477.5)

Z. O. DEHTIAROVA[1], PhD
Assistant Chair of the Farming and Herbology named after O.M. Mozheiko
e-mail: zinaidasamosvat@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1055-4811
A. A. DYOMKIN[1]
Specialist of the University Development Center
e-mail: eclairoff@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6500-821X
[1]*State Biotechnological University*
44, Alchevskikh Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

IMPACT OF PROJECTIVE SOIL COVER WITH POST-HARVEST RESIDUES ON SOIL MICROBIOLOGICAL INDICATORS IN THE CONDITIONS OF THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

The transformation of crop residues is an important factor in shaping the spatial and functional structure of the soil microbial biome, crucial for enhancing soil fertility and ecological sustainability. Their application as a component of agrotechnology contributes to developing a stable, active, and diverse microbial community.

Purpose. To determine the effect of crop residue ground cover on the abundance of actinomycetes in soil.

Methods. Field experiments, laboratory-analytical procedures, and statistical methods.

Results. The data on the impact of various crop residues on the abundance of actinomycetes in soil presents. It was proven that residues of sunflower, corn, and soybean significantly enhanced microbiological activity, particularly increasing actinomycete numbers compared to the control without residues. The highest abundance of actinomycetes was recorded in soil with sunflower residues, indicating the high potential of this residue type to improve soil biological quality. An inverse relationship was found between actinomycete abundance and both soil moisture and temperature: optimal conditions were observed at 18.3% moisture and 26.0°C. The developed regression model demonstrated a moderate correlation between soil moisture and actinomycete abundance. The study emphasizes the importance of the chemical composition of crop residues, particularly the carbon-to-nitrogen (C:N) ratio, in creating favourable conditions for soil microbial development.

Conclusions. The use of crop residues in resource-saving farming systems is an effective measure to stimulate microbiological processes and improve soil fertility. Establishing the dependence of microbial activity on soil moisture and temperature makes it possible to optimize the water regime, reduce energy inputs for soil management, and ensure the sustainable development of the microbiota under climate change conditions.

KEYWORDS. *actinomycetes, crop residues, soil microbiota, soil temperature, soil moisture, stress conditions, tillage, corn*

Як цитувати: Dehtiarova Z. O., Dyomkin A. A. Impact of projective soil cover with post-harvest residues on soil microbiological indicators in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 147-155. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-11

In cites: Dehtiarova, Z. O., & Dyomkin, A. A. (2025). Impact of projective soil cover with post-harvest residues on soil microbiological indicators in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology,* (43), 147-155. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-11

Introductions

Microorganisms play a crucial role in the soil ecosystem and in the cycling of key elements such as nitrogen and carbon. Plant residues are of great importance for their growth and reproduction, as they provide a nutrient-rich environment by increasing the organic matter content in the soil [1]. The microbiological properties of soil depend on the type and quan

© Dehtiarova, Z. O., Dyomkin, A. A., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

tity of crop residues post-harvest, as well as the soil conditions. For example, Y. Su et al. [2] reported that the soil microbiome responds more positively to the accumulation of corn residues compared to winter wheat residues. Changes in microbial biomass content in the soil are also influenced by soil temperature and moisture. Elevated temperatures negatively affect microbial productivity both in the soil and in agroecosystems as a whole. Under conditions of insufficient precipitation and increased temperatures (Hydrothermal Coefficient = 0.5–0.7), the population of soil microorganisms decreases by approximately 1.5 to 2.8 times. The application of organic and organo-mineral fertilizers mitigates the adverse effects of high temperatures on microbial productivity. Optimal soil moisture conditions positively affect microbial development (r = 0.66–0.79) and alleviate the negative impact of elevated temperatures [3].

Crop residues (such as stubble, leaves, and stems) serve as a source of organic matter that stimulates the activity of soil microbiota, including actinomycetes. Their abundance is influenced by the carbon-to-nitrogen (C:N) ratio, the presence of specific phenolic compounds or lignin, and the rate of residue decomposition. Changes in the quantitative and qualitative composition of root exudates within crop rotation systems lead to the reorganization of actively metabolizing microbial communities and affect the intensity of biochemical processes in the soil [4, 5, 6]. The study of the structure, abundance, and dynamics of ecological-trophic groups of microorganisms, as well as the functional activity of microbial communities in soils, provides valuable insights into changes in the trophic conditions of the soil biocenosis. Crop residues from soybean, corn, and sunflower significantly affect the development of actinomycetes in the soil, primarily due to changes in the composition of organic matter, microbial activity, and soil physicochemical properties. Actinomycetes are key soil microorganisms involved in the decomposition of complex organic compounds, the synthesis of antibiotics, and the formation of humus.

Actinomycetes play a key role in the decomposition of complex organic compounds such as lignin and cellulose found in plant residues. These aerobic soil microorganisms are essential for the humification of organic matter and the biosynthesis of antibiotics. The negative correlation between actinomycete populations and soil moisture can be attributed to several factors: limited oxygen availability under high-moisture conditions, which is critical for their survival; increased competition with other microorganisms, such as bacteria and fungi that thrive in moist environments; and the possible accumulation of metabolites toxic to actinomycetes under excessive moisture levels.

Purpose. To determine the impact of projective soil cover on microbiological indicators of soil under abiotic stress conditions.

Methods

The study was conducted in 2023–2024 at the Educational-Scientific-Production Center (ESPC) “Dokuchaievske Experimental Field” of the State Biotechnological University, located in the Left-Bank Forest-Steppe zone of Ukraine. The soil cover of the experimental field is represented by typical heavy loam Chernozem developed from loess-like loam. This soil is characterized by high reserves of plant-available nutrients, a significant humus content, and high biological activity. The arable soil layer (0–30 cm) is characterized by a humus content (according to Tyurin's method) of 4.9–5.1%, easily hydrolyzable nitrogen content (according to Kornfield's method) of 81 mg/kg of soil and mobile forms of phosphorus and potassium (according to Chirikov's method) amounting to 100 and 200 mg/kg of soil, respectively. The content of exchangeable cations is as follows: calcium – 37.8%, magnesium – 6.6%, sodium – 0.49%, potassium – 0.5%; the hydrogen content is 21 mg-eq./kg of soil. The soil reaction is characterized by a pH of 7.0 in aqueous extract and 5.2–5.6 in salt extract. Groundwater occurs at a depth of approximately 18 m [7].

The experiment was conducted with three replications. The plots were arranged sequentially. The area of the sowing plot was 750 m^2, and the accounting plot area was 100 m^2.

The experimental design included the following treatments:

- No plant residues (control)
- Projective soil cover with post-harvest soybean residues
- Projective soil cover with post-harvest corn residues
- Projective soil cover with post-harvest sunflower residues

The amount of plant residues on the winter wheat field was determined using the line-transect method. A measuring tape with markings at 10 cm intervals was used for this

purpose. The sampling area was selected using a random sampling method. The measuring tape was placed at a 45° angle to the crop rows. A visual inspection of the presence of plant residues at the intersection points of the marked divisions was carried out along the tape. Each intersection of a marked point with plant residues was recorded as 1, and the absence of residues as 0. To improve the accuracy of the measurement method, repetitions were conducted on several lines placed at varying distances from one another across the field. The number of points where plant residues intersected the line was summed for each tape separately. The formula for determining the coverage fraction is as follows:

$$P = \frac{N}{T} \times 100\ \% \qquad (1)$$

Where N is the number of points where the intersection with plant residues was recorded; T – the total number of points (the length of the ruler divided by the interval between markers).

The average coverage fraction is calculated for all measured lines:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n} \qquad (2)$$

where n is the number of measured lines; P_i – the coverage fraction for each individual line.

Variants of soil tillage treatments:

1. Plowing with PLN-4-35 to a depth of 20-22 cm (control).
2. Local loosening with PCh-2.5 to a depth of 33-35 cm.
3. Chisel plowing with PCh-2.5 to a depth of 33-35 cm.
4. Disking with DMT-4 to a depth of 10-12 cm.
5. Chisel plowing with PCh-2.5 to a depth of 20-22 cm.

Microbiological investigations were carried out at the Soil Microbiology Department of the NSC "O.N. Sokolovsky Institute of Soil Science and Agrochemistry Research." In soil samples collected from the 0–25 cm layer, the abundance of actinomycetes was determined using the soil suspension plating method on starch-ammonia agar (SAA). Statistical analysis of the data was performed using analysis of variance (ANOVA), as well as correlation and regression analysis. All data were processed in the Colaboratory software environment.

Results and Discussion

According to the obtained results, the population density of actinomycetes was found to depend on both the presence and type of crop residues (Table 1). The highest abundance of actinomycetes was recorded in the variant with sunflower residues – 59.8% – indicating a high potential of these residues to stimulate microbiological processes in the soil. The incorporation of corn residues resulted in a 10% increase in actinomycete populations compared to the control (no residues), highlighting the effectiveness of corn as a source of organic matter. It is noteworthy that the distribution of corn residues was influenced by soil tillage methods.

In particular, the highest concentration of residues was observed following chisel plowing with the PCh-2.5 implement to a depth of 33–35 cm. In contrast, disking with the BD-2.5 implement to a depth of 10–12 cm finely fragmented the corn residues, leading to the near-complete absence of a protective mulch layer on the soil surface.

Table 1

Actinomycete Abundance in Relation to Soil Cover by Crop Residues

Crop residues	Soil moisture, %	Soil temperature, °C	Actinomycete abundance in Soil, %
No plant	19.0	30.7	45.0
Sunflower	18.3	26.0	59.8
Corn	18.0	26.7	55.0
Soybeans	18.1	23.3	51.1

Soybean residues contributed to a 6.1% increase in actinomycete abundance compared to the control, indicating a positive, though less pronounced, effect relative to sunflower and corn residues. This can be attributed to differences in the chemical composition of the residues, particularly the carbon-to-nitrogen (C:N) ratio, which affects decomposition rates and microbial activity in the soil. The lowest actinomycete counts were observed in the variant

without crop residues, emphasizing the importance of organic inputs in sustaining soil microbial activity. The absence of organic matter suppresses the development of actinomycetes, which negatively impacts the overall condition of the soil environment.

The incorporation of plant residues into the soil is a key component of energy-saving agricultural technologies, as it not only improves the physicochemical properties of the soil but also enhances microbiological activity. The highest actinomycete density in the variant with sunflower residues demonstrates their effectiveness in restoring biological activity in the soil. Corn and soybean residues also support the stable development of microbial communities by providing a favorable habitat for soil microorganisms.

Elevated temperatures create adverse conditions for actinomycetes. At the same time, soybean residues had a moderate effect on actinomycete development, which is explained by their high nitrogen content and rapid decomposition. However, compared to sunflower and corn residues, this effect is less significant due to the quick depletion of available substrates.

The highest actinomycete population – 59.8% – was observed at a soil moisture content of 18.3%, whereas the lowest – 45.0% – occurred at 19.0%. This suggests that excess soil moisture deteriorates conditions for actinomycete proliferation, as they tend to thrive under moderately moist, aerobic conditions. Figure 1 illustrates the relationship between actinomycete abundance (%) and soil moisture content (%). The key elements of the graph include experimental data points (blue markers) and a regression line (red dashed line), which depicts the trend between the variables. The coefficient of determination ($R^2 = 0.47$) indicates a moderate relationship between these variables. In other words, while there is a clear association, actinomycete populations are also influenced by other environmental factors such as temperature, soil chemical composition, or the presence of organic residues.

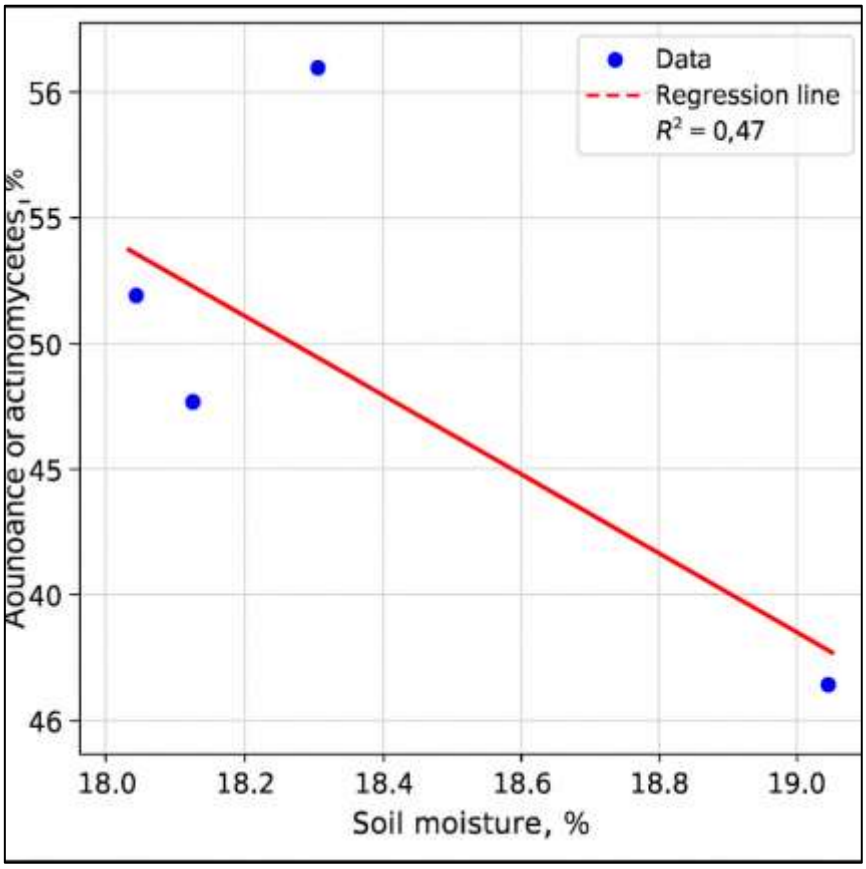


Fig. 1 – Relationship between microorganism abundance and soil moisture under various crop residues

The regression line reveals a negative trend: as soil moisture increases from 18% to 19%, actinomycete density gradually declines. This indicates that moisture levels exceeding optimal thresholds create unfavourable conditions for microbial development. The data

points exhibit moderate variability around the regression line, suggesting that although the relationship is statistically significant, certain deviations exist. The highest actinomycete counts were recorded under the lowest moisture levels, supporting the hypothesis that their activity is strongly linked to aerobic conditions. This observation aligns with the findings of K. Kasman and D. Mance [8], who demonstrated that nitrogen mineralization by soil microorganisms is proportional to soil moisture content: when water content was increased in air-dry soil without reaching full equilibrium, nitrogen mineralization decreased linearly with rising water content.

Soil temperature is one of the key factors influencing biological activity in the soil. It has a decisive impact on the abundance of soil organisms, which play a crucial role in maintaining soil fertility and health. The abundance of actinomycetes exhibited an inverse relationship with temperature. The lowest population was recorded at the highest temperature of 30.7°C (Fig. 2). Temperatures of 26.0°C and 26.7°C in treatments with sunflower and corn residues, respectively, were found to be optimal for microbial development. In contrast, a lower temperature of 23.3°C in the soybean residue treatment slightly reduced the actinomycete population.

At a soil temperature of 23.3°C, the population of soil organisms reached 51.1%, indicating that this temperature was favourable for a significant portion of the soil biota.

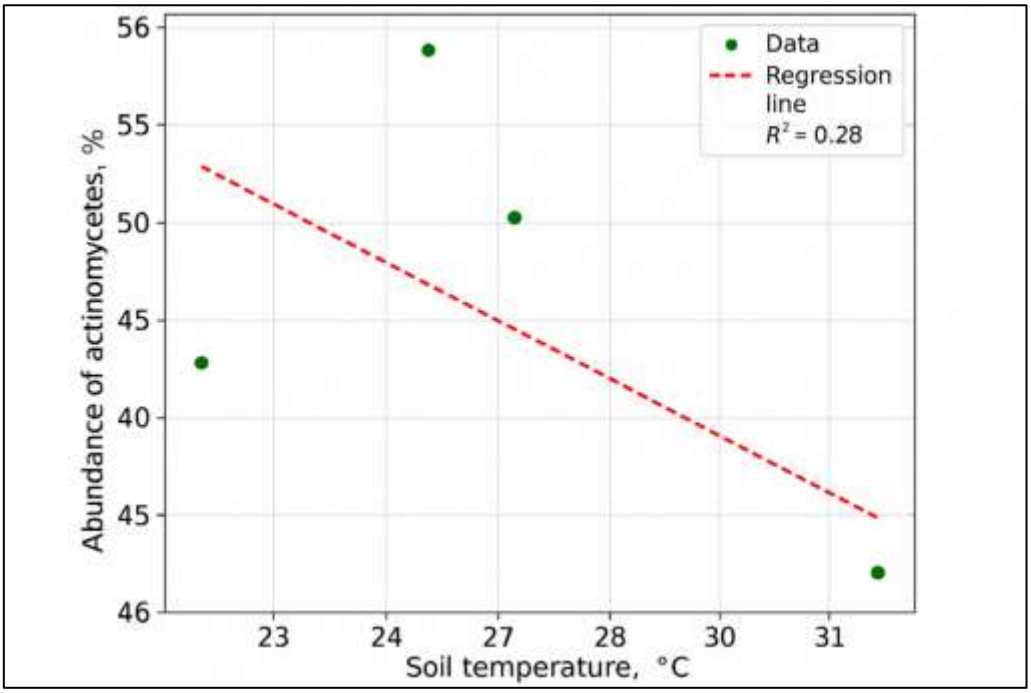


Fig. 2 – Relationship between microorganism abundance and soil temperature under different crop residues

As the temperature increased to 26.0°C, microbial abundance rose to 59.8%, suggesting that this is the optimal temperature range for active growth and reproduction. A further increase in temperature to 26.7°C led to a decrease in abundance to 55.0%, likely due to thermal stress experienced by the microorganisms, which negatively affected their activity. At the highest recorded temperature of 30.7°C, microbial abundance dropped to 45.0%, confirming that elevated temperatures are unfavourable for most soil biota, reducing both their activity and population levels. These results highlight the significant impact of plant residues on soil microbiological activity, a finding supported by both domestic and international studies. It is well established that organic residues from agricultural crops serve as a major source of carbon and energy for soil microorganisms. Their presence in the soil creates favourable conditions for the growth and biochemical activity of microbial communities.

A study by Ellanska et al. focused on changes in the microbial community of soil under the influence of silicon-containing mineral mixtures during the cultivation of various crops, including sugar beet, soybean, and corn. The results indicated that the abundance of specific ecological-trophic groups of microorganisms varied depending on the crop and the applied

mineral mixture. The most significant shifts in microbial communities were observed under soybean and corn, particularly with the application of mineralized sapropels. A positive effect on the rhizosphere microbiota of sugar beet was observed when mixtures of raised bog peat with silicon-containing minerals and potassium silicate with silicon minerals and sapropel were applied. The mineralization processes of soil organic matter remained balanced, indicating the stability of the microbial community under the influence of the applied amendments.

Research by V. Rozhko et al. on the effect of agricultural crops on soil microbiological activity showed that a crop rotation including pea–winter wheat–buckwheat–corn led to a balanced microbial community, activation of enzymatic processes, and mitigation of soil fatigue. Similar findings were reported by L.V. Tsentilo, where, in typical chernozem soils, the application of organo-mineral fertilizers combined with plant residues led to an increase in the population of ammonifying bacteria to 4.7 million CFU/g, significantly exceeding the control (2.9 million CFU/g). Under the same conditions, enzymatic activity (urease, catalase) increased by 18–24%, further indicating the positive impact of plant biomass on microbial processes in soil.

In a study by L. Tokmakova and A. Trepach, it was found that the application of shredded plant residues stimulated the development of actinomycetes up to 1.2 million CFU/g, nearly twice that of the control. Microbial activity peaked within 3–4 weeks after residue incorporation, corresponding to the phase of active organic matter decomposition.

Our results align with international research. In a five-year field experiment, D. Yin et al. reported that corn residues increased microbial biomass carbon by 21–34% and enhanced the abundance of Trichoderma fungi and nitrogen-fixing bacteria. Additionally, microbial diversity (Shannon index) increased from 2.8 to 3.4, indicating the stabilization of the soil ecosystem. S. Lee et al. demonstrated that the diversity of cover crop residues positively influenced the structure of soil microbial communities. A mixture of three crops (pea, rye, and rapeseed) increased total microbial biomass by 42% compared to monocultural residues. This effect is attributed to the diverse carbon sources provided by the mixture, which supports a broader range of trophic groups.

However, as noted by L. Kerdraon et al., plant residues can act not only as a source of energy but also as a reservoir for pathogenic microorganisms. The authors describe the concept of «residue microbial ecology», suggesting that plant residues represent a transitional ecosystem where saprotrophs and potential pathogens coexist, which may have epidemiological implications in field conditions.

In the study by M.V. Patyka et al., the effect of plant residue transformation on the spatial-functional structure of the soil microbiome was analysed. Using metagenomic analysis, the authors found that straw incorporation altered the prokaryotic community composition, particularly increasing the abundance of cellulose-degrading microorganisms. These changes were accompanied by enhanced enzymatic activity, including catalase and dehydrogenase, indicating intensified microbiological processes in the soil. The findings align with previous studies showing the positive impact of plant residues on soil microbial activity. For instance, the incorporation of rye straw or organo-mineral fertilization combined with plant residues stimulated an increase in ammonifying bacteria and enzymatic activity.

Conclusions

Crop residues, particularly those from sunflower, corn and soybean, are effective in maintaining actinomycete populations, which in turn help to sustain and improve soil fertility. Sunflower and maize residues contributed to a high abundance of actinomycetes under the conditions tested. This can be attributed to the prolonged decomposition of cellulose and lignin, which provides a continuous substrate for these microorganisms.

The analysis of the relationship between soil microorganism abundance and soil temperature indicated that the optimal temperature range for their activity lies between 23.3 and 26.0°C. A gradual decline in microorganism abundance was observed as temperature increased, suggesting that higher temperatures create stressful conditions for these microorganisms.

A negative correlation between soil moisture and actinomycete abundance was observed, which can be explained by the biological characteristics of these microorganisms. Although the coefficient of determination ($R^2 = 0.47$) suggests a moderate strength of this relationship, the findings underscore the importance of maintaining optimal soil moisture levels to support the activity of actinomycetes, which play a crucial role in promoting soil fertility.

Conflict of Interest

The research was carried out under the support of the Ministry of Education and Science of Ukraine under Project № 2-24-26 of the Public Organization «Development of Measures to Ensure Sustainable Productivity of Agroecosystems under the Influence of Abiotic and Biotic Stress Factors», with State Registration № 0124U000457

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

References

1. Zhang, C., Lin, Z., Que, Y., Fallah, N., Tayyab, M., Li, S., Luo J., Zhang, Z., Abubakar, A.Y. & Zhang, H. (2021). Straw retention efficiently improves fungal communities and functions in the fallow ecosystem. *BMC microbiology, 21,* 1–13. https://doi.org/10.1186/s12866-021-02115-3
2. Su, Y., Yu, M., Xi, H., Lv, J., Ma, Z., Kou, C., & Shen, A. (2020). Soil microbial community shifts with long-term of different straw return in wheat-corn rotation system. *Scientific reports, 10(1),* 6360. https://doi.org/10.1038/s41598-020-63409-6
3. Demyanyuk O., Gaidarzhi V., & Vasilyeva O. (2017). Modelling of agroecosystem productivity depending on indicators of soil biological activity and hydrothermal conditions. *Balanced nature management, 1,* 143–148. https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2017.319940 (in Ukrainian)
4. Karpenko, O. Y., Rozhko, V. M., Butenko, A. O., Masyk, I. M., Malynka, L. V., Didur, I. M., Vereshchahin, I.V., Chyrva, A.S., & Berdin, S. I. (2019). Post-harvest siderates impact on the weed littering of Maize. *Ukrainian Journal of Ecology, 9(3*), 300–303.
5. Vorokhova, E., & Ivanitska, V. (1997). The role of myxobacteria in destruction processes of organic matter into natural biocenoses. *Ecological Effects of Microorganisms Action: Materials of International Conference*, 151–155.
6. Van der Heijden M. G. A., Bardgett R. D., & Van Straalen N. M. (2008). The unseen majority – Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters, 11,* 296–310. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x
7. Dehtiarova, Z. (2023). Nutrient regime of the soil depending on the share of sunflower in short-rotational crop. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science, 27(2),* 87–95. https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/2.2023.87
8. Cassman, K. G., & Munns, D. N. (1980). Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature, and depth. *Soil Science Society of America Journal, 44(6),* 1233–1237. https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400060020x
9. Ellanska, N. E., Zaimenko, N. V., & Yunosheva, O. P. (2015). The soil microbial coenosis state under various cropsin case of introducing the mixtureof silicon-containing minerals. *Agricultural microbiology, (22),* 30–36. https://doi.org/10.35868/1997-3004.22.30-36 (in Ukrainian)
10. Rozhko, V., Butenko, A., Gushcha, S., Vlasenko, O. & Liskevych, R. Activity of microbial community of maize root zone in crop rotations. Prjceedings of the International Scientific and Practical Conference "Goncharov Readings" dedicated to the 92nd anniversary of DSc (Agricultury), Prof. Mykola Demianovych Goncharov. 25 May 2021. Sumy, 121–122. Retrieved from https://agro.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2023/11/%D0%93%D0%BE%D0%BD%D1%87%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96-%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_2021.pdf (in Ukrainian)
11. Tsentylo, L.V. (2019). Influence of fertilizer and cultivating systems on curettes on the humus state and biological processes of chernozem typical. *Tavrian Scientific Bulletin. Agriculture, crop production, vegetable and melon growing, 107,* 171–177. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.23 (in Ukrainian)
12. Tokmakova, L., & Trepach, A. (2022). Microbiological destruction of organic substance in agrocenoses. *Bulletin of Agricultural Science*, *100*(2), 19–26. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-03 (in Ukrainian)
13. Yin, D., Li, H., Wang, H., Guo, X., Wang, Z., Lv, Y., Ding, G., Jin, L. & Lan, Y. (2021). Impact of different biochars on microbial community structure in the rhizospheric soil of rice grown in albic soil. *Molecules*, *26*(16), 4783. https://doi.org/10.3390/molecules26164783
14. Lee, S., Cho, M., Sadowsky, M. J., & Jang, J. (2023). Denitrifying woodchip bioreactors: a microbial solution for nitrate in agricultural wastewater – a review. *Journal of Microbiology*, *61*(9), 791–805. https://doi.org/10.1007/s12275-023-00067-z

15. Kerdraon, L., Balesdent, M. H., Barret, M., Laval, V., & Suffert, F. (2019). Crop residues in wheat-oilseed rape rotation system: a pivotal, shifting platform for microbial meetings. *Microbial Ecology*, *77*, 931–945. https://doi.org/10.1007/s00248-019-01340-8
16. Patyka, M. V., Kolodiazhnyi, O. Yu., Ibatullin, I. I., Patyka, T. I., & Borko, Yu. P. (2017). Features of formation the spatial-functional structure of microbial biome of soil and its activity at the transformation of plant residues. *Microbiological journal*, 79(5), 91–104. (in Ukrainian)

The article was received by the editors 07.04.2025
The article is recommended for printing 15.05.2025

ДЕГТЯРЬОВА З. О. [1], PhD
Асистент кафедри землеробства та гербології ім. О. М. Можейка
e-mail: zinaidasamosvat@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1055-4811
ДЬОМКІН[1] О. О. [1]
Фахівець центру розвитку
e-mail: eclairoff@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6500-821X
[1]*Державний біотехнологічний університет*
вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002, Україна

ВПЛИВ ПРОЕКТИВНОГО ПОКРИТТЯ ПІСЛЯЖНИВНИМИ РЕШТКАМИ НА МІКРОБІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ҐРУНТУ В УМОВАХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Трансформація рослинних решток є важливим фактором формування просторово-функціональної структури мікробного біому ґрунту, що має значення для підвищення його родючості та екологічної стабільності. Їх використання як елемента агротехнологій сприяє формуванню стабільної, активної й різноманітної мікробної спільноти.

Мета. Визначити вплив проективного покриття рослинними рештками сільськогосподарських культур на чисельність актиноміцетів у ґрунті.

Методи. Польові, лабораторно-аналітичні, статистичний.

Результати. Представлено результати дослідження впливу різних видів рослинних решток на чисельність актиноміцетів у ґрунті. Доведено, що рослинні залишки соняшника, кукурудзи та сої значно підвищують мікробіологічну активність, зокрема кількість актиноміцетів, порівняно з варіантом без решток. Найвищий рівень актиноміцетів зафіксовано у ґрунті з рештками соняшника, що свідчить про високий потенціал цих решток у покращенні біологічного стану ґрунту. Результати показали наявність зворотної залежності між чисельністю актиноміцетів і вологістю та температурою ґрунту: оптимальні умови спостерігались при середній вологості (18,3 %) та температурі 26,0 °C. Побудована регресійна модель вказує на помірну силу зв'язку між вологістю ґрунту та чисельністю актиноміцетів. У дослідженні підкреслено важливу роль хімічного складу рослинних решток, зокрема співвідношення C:N, у формуванні умов для розвитку ґрунтової мікрофлори.

Висновки. Використання рослинних решток у системах енергоощадного землеробства є ефективним заходом для активізації мікробіологічних процесів і підвищення родючості ґрунту. Встановлення залежності мікробіологічної активності від вологості й температури ґрунту дає змогу оптимізувати режим зволоження, зменшити енергозатрати на обробіток і забезпечити сталий розвиток мікрофлори в умовах зміни клімату.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *актиноміцети, рослинні рештки, мікробіота ґрунту, температура ґрунту, вологість, стресові умови, обробіток ґрунту, кукурудза*

Конфлікт інтересів

Дослідження виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках проекту № 2-24-26 Громадської організації «Розробка заходів щодо забезпечення сталої продуктивності агроекосистем під впливом абіотичних та біотичних стресових факторів», державна реєстрація № 0124U000457.

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

Список використаної літератури

1. Zhang C., Lin Z., Que Y., et al. Straw retention efficiently improves fungal communities and functions in the fallow ecosystem. *BMC microbiology*. 2021. Vol. 21. P. 1–13. DOI: https://doi.org/10.1186/s12866-021-02115-3
2. Su Y., Yu M., Xi H., et al. Soil microbial community shifts with long-term of different straw return in wheat-corn rotation system. *Scientific reports*. 2020. Vol. 10(1). 6360. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-020-63409-6
3. Дем'янюк О. С., Гайдаржи В. І., Васильєва О. Б. Моделювання продуктивності агроекосистеми залежно від показників біологічної активності ґрунту та гідротермічних умов. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 1. С. 143–148.
4. Karpenko, O. Y., Rozhko, V. M., Butenko, A. O., et al. Post-harvest siderates impact on the weed littering of corn *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9(3). P. 300–303.
5. Vorokhova E., Ivanitska V. The role of myxobacteria in destruction processes of organic matter into natural biocenoses. *Ecological Effects of Microorganisms Action:* Materials of International Conference. 1997. P. 151–155.
6. Van der Heijden M. G. A., Bardgett R. D., Van Straalen N. M. The unseen majority – Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters.* 2008. Vol. 11. P. 296–310. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x
7. Dehtiarova Z. Nutrient regime of the soil depending on the share of sunflower in short-rotational crop. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Vol. 27. № 2. P. 87–95. DOI: https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/2.2023.87
8. Cassman K. G., Munns D. N. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature, and depth. *Soil Science Society of America Journal*. 1980. Vol. 44(6). P. 1233–1237. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400060020x
9. Елланська Н. Е., Заіменко Н. В., Юношева О. П. Стан мікробного ценозу ґрунту під різними сільськогосподарськими культурами за внесення суміші кремнієвмісних мінералів. *Сільськогосподарська мікробіологія.* 2015. Вип. 22. С. 30–36. DOI: https://doi.org/10.35868/1997-3004.22.30-36
10. Рожко В., Бутенко А., Гуща С., Власенко О., Ліскевич Р. Активність мікробного угруповання прикореневої зони кукурудзи в сівозмінах. Міжнародна науково-практична конференція «Гончарівські читання» присвячена 92-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича. Суми, 25 травня 2021. С. 121–122. URL: https://agro.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2023/11/%D0%93%D0%BE%D0%BD%D1%87%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96-%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_2021.pdf
11. Центило Л. В. Вплив систем удобрення та обробітку ґрунту на гумусний стан і біологічні процеси чорнозему типового. *Таврійський науковий вісник. Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво*. 2019. № 107. С. 171–177. DOI: https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.23
12. Токмакова Л., Трепач А. Мікробіологічна деструкція органічної речовини в агроценозах. *Вісник аграрної науки*. 2022. Вип. 100(2). С. 19–26. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-03
13. Yin D., Li H., Wang H., et al. Impact of different biochars on microbial community structure in the rhizospheric soil of rice grown in albic soil / D. Yin et al. *Molecules*. 2021. Vol. *26*(16). 4783. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules26164783
14. Lee S., Cho M., Sadowsky M. J., Jang J. Denitrifying woodchip bioreactors: a microbial solution for nitrate in agricultural wastewater – a review. *Journal of Microbiology*. 2023. Vol. 61(9). P. 791–805. DOI:https://doi.org/10.1007/s12275-023-00067-z
15. Kerdraon L., Balesdent M. H., Barret M., et al. Crop residues in wheat-oilseed rape rotation system: a pivotal, shifting platform for microbial meetings / L. Kerdraon et al. *Microbial Ecology*. 2019. Vol. 77. P. 931-945. DOI: https://doi.org/10.1007/s00248-019-01340-8
16. Патика М. В. та ін. Особливості формування просторово-функціональної структури мікробного біому ґрунту та його активність за трансформації рослинних решток. *Мікробіологічний журнал*. 2017.Вип. 79, № 5. С. 91–104.

Стаття надійшла до редакції 07.04.2025
Стаття рекомендована до друку 15.05.2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-12
УДК: 502.521:543.393

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
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. Ю. РАБАН[1],
Магістр
e-mail: olaraban7@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-8096-5915
В. П. КАРАЇМ[1],
Аспірант
e-mail: karaim.volodymyr@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4053-8019
[1]*Волинський національний університет імені Лесі Українки,*
Пр-т Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., 43025, Україна

ВПЛИВ ПЕСТИЦИДІВ НА МІКРОФЛОРУ ҐРУНТУ В АСПЕКТІ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Мета. Дослідження впливу пестицидів *Pesticol* та *KarateGold* на мікрофлору ґрунту, зокрема на бактеріальні угруповання родів *Sphingomonas, Streptomyces, Bacillus* та *Micrococcus* в аспекті збалансованого природокористування.

Методи. Метод серійних розведень, Дригальського, метод Грама та мікроскопії, методи дифузії в агар, методи статистичного опрацювання даних..

Результати. Відібрано проби ґрунту в різних локаціях міста Луцьк: 1 – ботанічний заказник «Воротнів», лісова зона; 2 – ділянка автошляху Е85 на вулиці Окружній, 37; 3 – квітник біля гуртожитку № 2 ВНУ імені Лесі Українки на вулиці Винниченка, 22. Для дослідження обрано два види найбільш вживаних пестицидів *Pesticol* (концентрація діючої речовини 6,0 %) та *KarateGold* (концентрація діючої речовини 0,075 %). Аналіз впливу пестицидів на мікроорганізми показав, що обрані препарати, такі як *Pesticol* і *KarateGold*, мають різний ефект на різні види ґрунтових бактерій, що підкреслює важливість вивчення їх дії на мікробіоту. Отримані результати досліджень чітко показують, що препарат із меншою концентрацією діючої речовини є менш агресивним та екологічнішим порівняно з іншим. Визначено, що для бактерій *Streptomyces* мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) пестициду *Pesticol* становить 16 мкг/мл, тоді як *KarateGold* – 2 мкг/мл, що свідчить про високу чутливість до першого пестициду. У випадку бактерій *Micrococcus*, МІК для *Pesticol* становить 2 мкг/мл, тоді як до *KarateGold* бактерії виявили високу стійкість, що підтверджується їх присутністю в усіх пробірках, окрім першої.

Висновки. Негативний вплив використання пестицидів на зазначені мікроорганізми може спричинити порушення ґрунтової екосистеми. Врахування впливу пестицидів на мікрофлору має велике значення при розробці стратегії захисту рослин для забезпечення збалансованого використання хімічних засобів захисту. Дослідження можуть сприяти кращому розумінню дії пестицидів на мікроорганізми в ґрунті, що важливо для збалансованого природокористування та забезпечення сталого розвитку агросфери.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *екологічний аналіз, пестициди, мікроорганізми, ґрунт, мікрофлора, бактерії, зона пригнічення росту, збалансоване природокористування, сталий земельний менеджмент, агросфера*

Як цитувати: Лавринюк З. В., Караїм О. А., Рабан О. Ю., Караїм В. П. Вплив пестицидів на мікрофлору ґрунту в аспекті збалансованого природокористування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 43. С. 156–165. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-12

In cites: Lavrynyuk, Z. V., Karaim, O. A., Raban, O. Yu., & Karaim, V. P. (2025). The pesticides impact on soil microflora in the context of sustainable natural resource use. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 156-165. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-12 (in Ukrainian)

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

Вступ

Використання пестицидів у сільському господарстві є невід'ємною складовою сучасних агротехнологій, спрямованих на захист рослин від шкідників, хвороб і бур'янів. Однак, масове застосування цих хімічних речовин призводить до значних негативних наслідків для навколишнього середовища, зокрема для ґрунтової мікрофлори, яка відіграє ключову роль у підтриманні родючості ґрунтів, кругообігу поживних речовин і самоочищенні екосистем. Пестициди можуть порушувати баланс мікробних угруповань, знижувати їх різноманітність і активність, що в кінцевому підсумку впливає на продуктивність сільськогосподарських угідь та здоров'я людей через ланцюги живлення. Тому дослідження впливу пестицидів на ґрунтові мікроорганізми є надзвичайно актуальним для розробки екологічно безпечних методів захисту рослин і забезпечення сталого розвитку агросфери.

Останні дослідження українських та зарубіжних вчених свідчать про те, що пестициди суттєво впливають на структуру та функціонування ґрунтових мікробних угруповань. Наприклад, авторами [1 – 3] доведено, що пестициди можуть порушувати структуру мікробних угруповань через пряму токсичну дію на окремі види бактерій, що призводить до зміни мікробного різноманіття та функціональної активності ґрунтової біоти. Дослідження авторів [4, 5] щодо впливу пестицидів на ґрунтову мікрофлору ґрунтуються на положеннях про ключову роль мікроорганізмів у підтриманні ґрунтової родючості та біогеохімічних циклів. Сучасні концепції екології ґрунтів підкреслюють, що тривалий вплив пестицидів може викликати формування стійких мікробних угруповань із зниженою біологічною активністю, що в подальшому може негативно вплинути на агроекосистеми. На думку авторів [6, 7], різні групи пестицидів (синтетичні та природні) можуть мати відмінні механізми впливу на мікроорганізми, що обумовлено їх хімічною структурою та специфікою біологічної дії. У праці [8] проаналізовано вплив пестицидів на ґрунтові мікробні організми, ґрунтові біохімічні реакції та ґрунтові ферменти. Зміни біологічного складу ґрунту під впливом пестицидів досліджено в [9]. Вплив на біорізноманіття та структуру ґрунтових бактерій та грибів, а також пов'язані з ними функції ґрунту (дихання, розкладання) у швейцарських виноградниках внаслідок тривалого застосування хімічних препаратів представлено в [10]. Дослідження [11] показало, що вища різноманітність пестицидів може суттєво та негативно впливати на функції ґрунтових мікробів. Вивчення впливу одного або кількох видів пестицидів на ґрунтові мікроорганізми висвітлено в [12 – 14]. Особливості управління використанням пестицидів у ґрунтах у розрізі критичного огляду, зосередженого на сталості сільського господарства розкрито в [15]. У роботі [16] науковці підкреслюють значний вплив пестицидів на довкілля та необхідність екологічної політики для вирішення загроз які виникають унаслідок їх застосування. Автори [17] розглядають вплив агрохімічних речовин на мікробне різноманіття ґрунтів та навколишнє середовище, підкреслюючи важливу роль дрібних фермерів у впровадженні рішень для сталого захисту та підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, а також аналізують управлінські стратегії, що можуть бути корисними для науковців, політиків і землевласників у контексті інтеграції практик відновлення ґрунтів і принципів сталого розвитку в малих фермерських господарствах. Поточний огляд сприяє глибшому розумінню ефективного управління сільськогосподарськими землями задля зміцнення продовольчої та харчової безпеки.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз робіт вищезгаданих авторів свідчить про наявність значної теоретичної та емпіричної бази щодо забруднення від пестицидів та його впливу, однак бракує сучасних досліджень саме з вивчення дії на мікрофлору ґрунту часто вживаних у нашому регіоні пестицидів *Pesticol* та *KarateGold*.

Метою роботи **є** дослідження впливу пестицидів *Pesticol* та *KarateGold* на мікрофлору ґрунту, зокрема на бактеріальні угруповання родів *Sphingomonas, Streptomyces, Bacillus* та *Micrococcus* в аспекті збалансованого природокористування. У роботі передбачається оцінити ступінь чутливості цих мікроорганізмів до дії пестицидів, визначити мінімальні інгібуючі концентрації (МІК) та проаналізувати зміни у структурі мікробних спільнот під їх впливом. Отримані результати дозволять зробити висновки щодо екологічних ризиків застосування даних пестицидів та обґрунтувати необхідність розробки більш безпечних методів захисту рослин.

Об'єкти та методи дослідження

Методологія дослідження базується на комплексному підході, що включає відбір проб ґрунту з трьох ділянок із різним антропогенним навантаженням (лісова зона, придорожня територія та міський квітник), подальше виділення мікроорганізмів методами серійних розведень, Дригальського та визначення колонієутворюючих одиниць, їх ідентифікацію за допомогою методу Грама та мікроскопії. Для оцінки впливу пестицидів *Pesticol* та *KarateGold* на мікрофлору використовували методи дифузії в агар з вимірюванням зон пригнічення росту та визначення мінімальної інгібуючої концентрації (МІК). Отримані дані піддавали статистичному опрацюванню з розрахунком середніх значень, побудовою графіків та кореляційним аналізом, що дозволило оцінити токсичний вплив пестицидів на різні види ґрунтових бактерій та зробити висновки щодо їхньої екологічної небезпеки.

Результати та обговорення

Для проведення екологічного аналізу впливу пестицидів на мікрофлору ґрунту нами було відібрано проби ґрунту у трьох різних локаціях міста Луцьк: 1 – ботанічний заказник «Воротнів», лісова зона; 2 – ділянка автошляху Е85 на вулиці Окружній, 37 м. Луцьк; 3 – квітник біля гуртожитку № 2 ВНУ імені Лесі Українки на вулиці Винниченка, 22. Ґрунт із лісу відрізнявся своєю вологістю, тоді як ґрунт з клумби та біля магістралі був сухим і демонстрував добру водопроникність. На основі отриманих зразків проводили посіви методом Дригальського на чашках Петрі за відповідною методикою [18]. Вибрані бактерії пересіяли в пробірку. Через 3 дні до культивованих мікроорганізмів вливали фізіологічний розчин і перемішували за допомогою вортекса. З отриманої суміші відбирали 0,1 мл субстанції і проводили посів методом Дригальського на заздалегідь підготовлені агарові середовища в 48 чашках Петрі по 8 чаш на кожен штамм бактерій. Всі підготовлені чаші були розділені на 4 для кожного штамму бактерій на один обраний пестицид (рис. 1).

У кожну з них було розміщено по 1 кружечку з фільтрувального паперу. За допомогою електронної піпетки на нього наносили 10 мкл обраного пестициду і залишали для інкубації на 4 дні.

Пестицид *Pesticol* має вищу концентрацію діючої речовини – 6,0 %. Він містить апельсинову олію (сполука з групи ефірних олій) – 60 г/л. Другий обраний пестицид – *KarateGold*, який використовується для знищення комах і, отже, є інсектицидом. Він містить лямбда-цигалотрин (сполука з групи піретроїдів) – 0,75 г/л (0,075 %). Виробником препаратів є компанія *SyngentaPolskaSp* (Варшава).

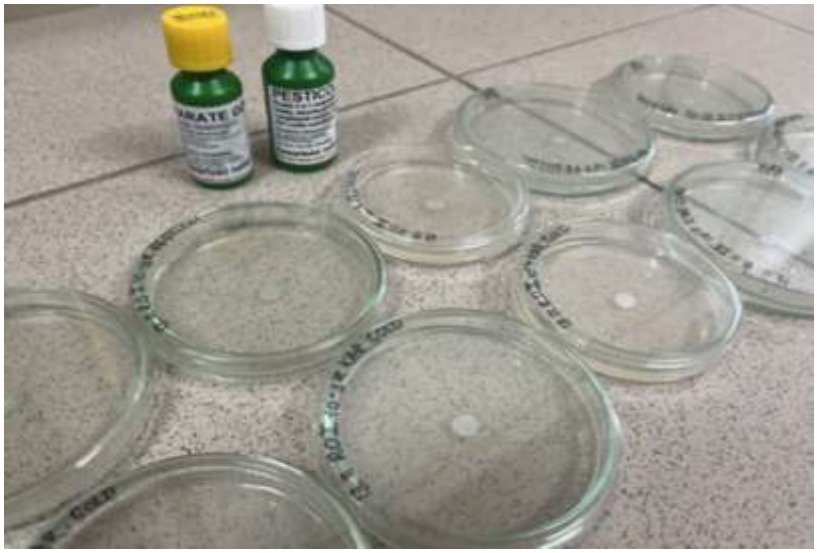


Рис. 1 – Посів методом Дригальського і пестициди на кружечку з фільтрувального паперу
Fig. 1 – Inoculation using the Drigalski spatula method and pesticides applied on a disc of filter paper

Проведене дослідження показало, що різні види встановлених бактерій, а саме *Sphingomonas, Streptomyces, Micrococcus, Bacillus*, мають різну чутливість до токсичної дії пестицидів *Pesticol* та *KarateGold.* Встановлено, що через вищу концентрацію діючої речовини в першому препараті майже на всіх плитках спостерігалося пригнічення зростання мікроорганізмів. Це проявлялося у вигляді кільця навколо краплі пестициду, де відсутні були будь-які бактерії (рис. 2–4. а). Проте, в другому препараті теж спостерігалось пригнічення росту з дуже малим кільцем та на малій кількості чашок Петрі (рис. 2–4. б). Це вказує на те, що другий препарат є менш агресивним та більш екологічно безпечним у порівнянні з першим, що демонструє високий рівень знищення.

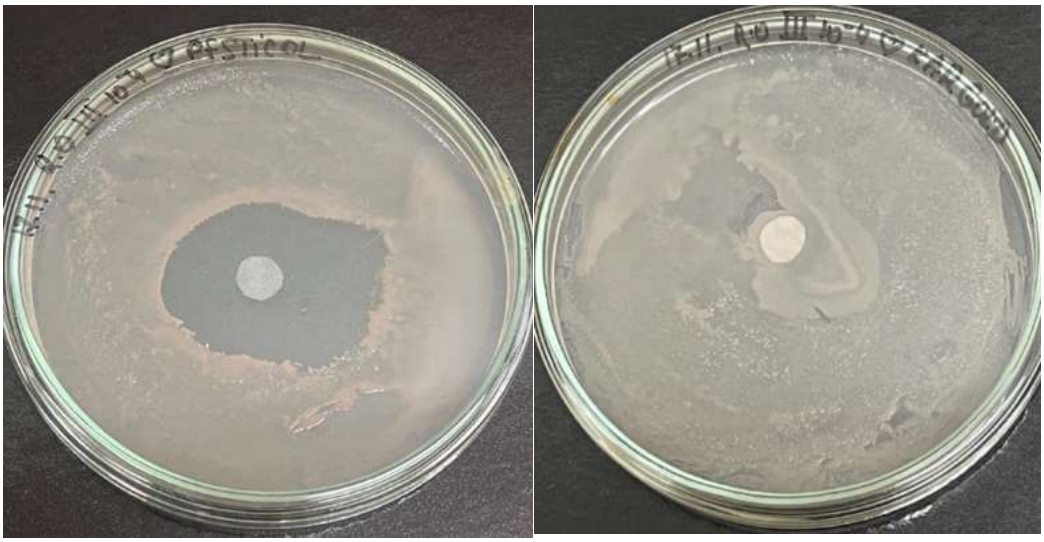
Після культивування мікроорганізмів вимірювали розміри зони пригнічення росту за допомогою лінійки. Результати подано у табл. 1 та на рис. 5.

а **б**

а – пестицид *Pesticol*; б – пестицид *KarateGold*

Рис. 2 – Зона пригнічення росту, на прикладі бактерії виду *Streptomyces,* 10^{-3}:
а – pesticide *Pesticol*; b – pesticide *KarateGold*

Fig. 2 – Growth inhibition zone on the example of *Streptomyces* bacteria, 10^{-3} dilution:

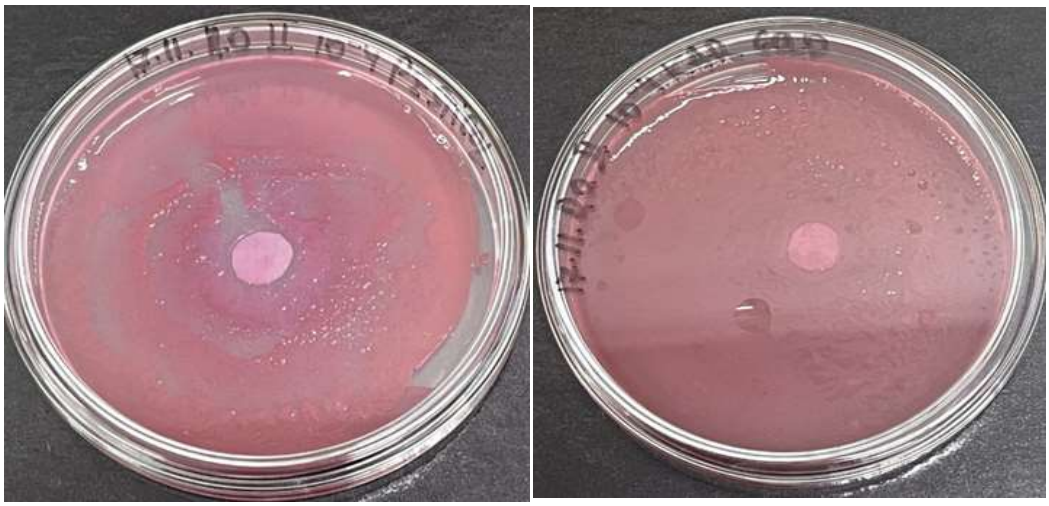


а **б**

а – пестицид *Pesticol*; б – пестицид *KarateGold*

Рис. 3 – Зона пригнічення росту, на прикладі бактерії виду *Bacillus,* 10^{-4}:
а – pesticide *Pesticol*; b – pesticide *KarateGold*.

Fig. 3 – Growth inhibition zone on the example of *Bacillus* bacteria, 10^{-4} dilution:



а **б**

а – пестицид *Pesticol*; б – пестицид *KarateGold*

Рис. 4 – Зона пригнічення росту, на прикладі бактерії виду *Micrococcus,* 10^{-4}:
а – pesticide *Pesticol*; b – pesticide *KarateGold*.
Fig. 4 – Growth inhibition zone on the example of *Micrococcus* bacteria, 10^{-4} dilution:

Таблиця 1

Величина зон пригнічення росту під впливом пестицидів для досліджуваних мікроорганізмів

Table 1

The size of growth inhibition zones under the influence of pesticides for the studied microorganisms

№ зразків ґрунту/ No. of soil samples		**Розмір зони пригнічення росту, мм/ Size of growth inhibition zone, mm**	
		Pesticol	***Karate Gold***
Перший зразок ґрунту, ліс/ First soil sample, forest	10^{-3}(a) *Sphingomonas*	40	11
		35	10
		35	12
		36	-
	10^{-3}(b) *Streptomyces*	35	3
		48	20
		45	12
		43	-
Другий зразок ґрунту, біля дороги/ Second soil sample, near the road	10^{-4} *Micrococcus*	-	-
		10	-
		15	-
		-	-
	10^{-5} *Bacillus а*	27	11
		25	10
		26	20
		21	-
Третій зразок ґрунту, квітник/ Third soil sample, flower garden	10^{-3} *Bacillus б*	17	-
		12	10
		14	-
		10	-
	10^{-4} *Bacillus в*	43	-
		32	-
		40	-
		15	-

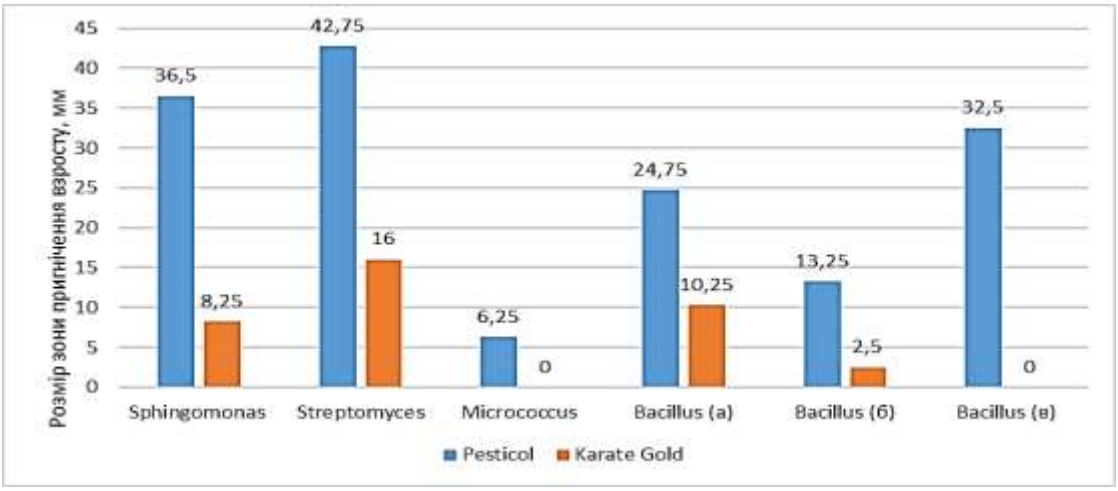


Рис. 5 – Вплив пестицидів *Pesticol* і *KarateGold* на ґрунтові бактерії
Fig. 5 – The effects of Pesticol and KarateGold pesticides on soil bacteria

Аналіз результатів та діаграми розміру зони пригнічення росту (ЗПР) різних видів бактерій на середовищі з різними концентраціями пестицидів *Pesticol* і *KarateGold* дозволяє зробити кілька важливих висновків. По-перше, різні види бактерій мають різну чутливість до пестицидів, причому *Bacillus* (б) з 3 ділянки та *Micrococcus* є найбільш стійкими до обох речовин. Крім того, *Sphingomonas* і *Streptomyces* показали більшу чутливість до обох пестицидів, тоді як *Bacillus* (в) з третьої ділянки виявилися найбільш чутливими до *Pesticol*, а в *KarateGold* пригнічення не відбулось. Збільшення концентрації пестицидів призводить до збільшення розміру ЗПР бактерій, що зумовлює прототоксичну дію цих речовин на мікроорганізми. Загалом, *Pesticol* виявився більш токсичним для бактерій, в рекомендованих виробником концентраціях, хоч є більш екологічним за складом.

Також був проведений тест на мінімальну інгібуючу концентрацію для 2 видів ґрунтових бактерій, а саме *Streptomyces* з першого зразка ґрунту та *Micrococcus* з другого зразка ґрунту. Метод мінімальної інгібуючої концентрації (МІК) є лабораторним методом, призначеним для визначення найменшої концентрації антибіотика або іншого протимікробного засобу, яка пригнічує ріст мікроорганізмів [19, 20].

У ході дослідження було встановлено, що для бактерії *Streptomyces* мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) пестициду *Pesticol* становить 16 мкг/мл, тоді як для пестициду *KarateGold* МІК складає 2 мкг/мл. Це свідчить про вищу ефективність *Pesticol* у пригніченні росту цих мікроорганізмів. Виявлення наявності бактерій здійснювалося шляхом струшування пробірок, що дозволяло візуально оцінити їх помутніння.

Щодо бактерії *Micrococcus*, МІК пестициду *Pesticol* становить 2 мкг/мл, що було підтверджено відсутністю бактерій у першій пробірці, яка змінила колір бульйону через зелений відтінок пестициду, при цьому бактерії мали рожеве забарвлення. *KarateGold* виявився менш ефективним проти *Micrococcus*, оскільки бактерії були присутні у всіх пробірках, а колір бульйону змінився зі світло-коричневого на рожевий, що свідчить про високу стійкість бактерій до цього пестициду.

Загалом, за результатами дослідження можемо стверджувати, що пестициди створюють значну небезпеку для ґрунтового середовища. Тому надзвичайно важливим є вміле та зважене використання пестицидів, оскільки низка шкідливих наслідків спричинені дозами застосування, що перевищують рекомендовані норми. У цьому аспекті важливими є дотримання засад збалансованого природокористування на основі сталого земельного менеджменту, що у свою чергу передбачає навчання персоналу сільськогосподарських підприємств, зокрема в напрямку управління пестицидами та земельними ресурсами агросфери.

Висновки

Дослідження впливу пестицидів *Pesticol* та *KarateGold* на ґрунтову мікрофлору визначило: різні види бактерій мають диференційовану чутливість до дії пестицидів. Найбільш вразливими виявилися представники родів *Streptomyces* та *Sphingomonas*, тоді як *Micrococcus* продемонстрував найвищу стійкість, особливо до препарату *Pesticol*, що містить 6 % апельсинової олії та показав вищу токсичність порівняно з *KarateGold* (0,075 % лямбда-цигалотрину). Це підтверджено як розмірами зон пригнічення росту, так і значеннями мінімальної інгібуючої концентрації. Особливо варто відзначити, що на забруднених ділянках (зокрема, біля автошляху) спостерігалося менше чутливих мікроорганізмів, що може свідчити про їх адаптацію до хімічного навантаження.

Перспективними напрямами подальших досліджень можуть бути: вивчення тривалого впливу пестицидів на структуру мікробних угруповань та їх функціональну активність; створення менш токсичних засобів захисту рослин на основі природних сполук або мікробних препаратів; впровадження інноваційних еколого-орієнтованих та міждисциплінарних методів управління земельним ресурсами. Реалізація цих напрямів досліджень дозволить розробити ефективні стратегії збереження ґрунтової мікрофлори та мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних із застосуванням пестицидів у сільському господарстві, сприятиме збалансованому використанню земельних ресурсів та забезпеченню сталого розвитку агросфери.

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

Список використаної літератури

1. Лоханська В. Й. Вивчення забруднення агроценозів пестицидами. Наукові доповіді НАУ. 2008. № 2 (10). С. 1–12.
2. Yushchenko D. Y., Paj Z. P., Khlebnikova T. B., Bukhtiyarov V. I., Moroz B. L., Pyryaev P. A. Method for producing n-(phosphonomethyl)-glycine. 2017. URL: https://scispace.com/papers/method-for-producing-n-phosphonomethyl-glycine-4new88xkm8
3. Найдьонова О. Є. Динаміка чисельності мікрофлори і біохімічної активності чорнозему типового за застосування комплексу пестицидів. Агрохімія і ґрунтознавство. Вип. 90. Харків: ННЦ «ІҐА ім. О. Н. Соколовського». 2020. С. 65–75. DOI: https://doi.org/10.31073/acss90-07
4. Моклячук Л., Ліщук А., Матусевич Г. Еколого-економічні засади ремедіації забруднених пестицидами ґрунтів. Екологічний Вісник. 2013. Т. 6, № 81. С. 20–21.
5. Streletskii R., Astaykina A., Cheptsov V. S., Belov A. S., Gorbatov V. Effects of the Pesticides Benomyl, Metribuzin and Imidacloprid on Soil Microbial Communities in the Field. Agriculture. 2023. Vol. 13(7). 1330. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture13071330
6. Lishchuk A., Parfenyk A., Horodyska I., Boroday V. V., Ternovyi Y., Tymoshenko, L. Environmental Risks of the Pesticide Use in Agrocenoses and their Management. Journal of Ecological Engineering. 2023. Vol. 24(3). P. 199–212. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/158537
7. Ruba U. B., Chakma K., Ali Md. P., Khan A. U., Talucder M. S. A. Environmental Pollution from Injudicious Application of Pesticides: Bangladesh Context. Journal of Agroforestry and Environment. 2023. Vol. 16(1). P. 40–49. DOI: https://doi.org/10.55706/jae1606
8. Hussain S., Siddique T., Saleem M., Arshad M., Khalid A. Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. In D. L. Sparks (Ed.), Advances in agronomy. 2009. Vol. 102. P. 159–200. Academic Press. DOI: https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01005-0
9. Gangola S., Joshi S., Bhandari G., Pant G., Sharma A., Perveen K., Bukhari N. A., Rani R. Exploring microbial diversity responses in agricultural fields: A comparative analysis under pesticide stress and non-stress conditions. Frontiers in Microbiology. 2023. Vol. 14. Article 1271129. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1271129
10. Steiner M., Falquet L., Fragnière A.-L., Brown A., Bacher S. Effects of pesticides on soil bacterial, fungal and protist communities, soil functions and grape quality in vineyards. Ecological Solutions and Evidence. 2024. Vol. 5(2). e12327. DOI: https://doi.org/10.1002/2688-8319.12327

11. Ni, B. Xiao L., Lin D., Zhang T., Zhang Q., Liu Y., Chen Q., Zhu D., Qian H., Rillig M. C., Zhu. Y. Increasing pesticide diversity impairs soil microbial functions, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2025. Vol. 122 (2). e2419917122. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.2419917122
12. Beaumelle L., Tison L., Eisenhauer N., Hines J., Malladi S., Pelosi C., Thouvenot L., Phillips H. R. P. Pesticide effects on soil fauna communities – A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology. 2023.* Vol. *60*(7). P. 1239–1253. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2664.14437
13. Riedo J., Wettstein F. E., Rösch A., Herzog C., Banerjee S., Büchi L., Charles R., Wächter D., Martin-Laurent F., Bucheli T. D., Walder F., Van der Heijden M. G. A. (2021). Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils – the ghost of a conventional agricultural past? Environmental Science & Technology. 2021. Vol. 55(5). P. 2919–2928. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405
14. Sim J. X. F., Zhang X., Liu Y., Lau T. C. Impact of twenty pesticides on soil carbon microbial functions and community composition. *Chemosphere. 2022.* Vol. *307*. 135820. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135820
15. Sarker A., Kim D., Jeong W.-T. (2024). Environmental Fate and Sustainable Management of Pesticides in Soils: A Critical Review Focusing on Sustainable Agriculture. Sustainability. 2024. Vol. 16(23). P. 10741. DOI: https://doi.org/10.3390/su162310741
16. Meidl P., Lehmann A., Bi, M. et al. Combined application of up to ten pesticides decreases key soil processes. Environ Sci Pollut Res. 2024. Vol. 31. P. 11995–12004. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-024-31836-x
17. Meena R. S., Kumar S., Datta R., Lal, R., Vijayakumar V., Brtnicky M., Sharma M. P., Yadav G. S., Jhariya M. K., Jangir C. K., Pathan S. I., Dokulilova T., Pecina V., Marfo T. D. (2020). Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. Land. 2020. Vol. 9(2). P. 34. DOI: https://doi.org/10.3390/land9020034
18. Gurfinkel E., Shmueli Y. Process toprepare diazinon. 1994. URL: https://typeset.io/papers/process-to-prepare-diazinon-4enq6hrpcu
19. Meena R. S.; Meena V. S.; Meena S. K.; Verma J. P. The needs of healthy soils for a healthy world. J. Clean. Prod. 2015. Vol. 102. P. 560–561.
20. Zhang F., Yang Y., Zhang X., Li G., Di C., Zhang S., Li X., Sha N., Lian H., Shao Z., Wang X. Dichlorodiphenyltrichloroethane degrading bacterium as well as culturing method and application thereof. 2016. URL: https://typeset.io/papers/dichlorodiphenyltrichloroethane-degrading-bacterium-as-well-3iq87sub1n

Стаття надійшла до редакції 16.04.2025
Стаття рекомендована до друку 22 05 2025

Z. V. LAVRYNYUK[1], PhD (Chemistry), Associate Prof.,
Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1906-3330
O. A. KARAIM[1], PhD (Economics), Associate Prof,
Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1722-4110
O. Yu. RABAN[1],
Master's Student,
e-mail: olaraban7@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-8096-5915
V. P. KARAIM[1],
PhD Student,
e-mail: karaim.volodymyr@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4053-8019
[1]*Lesya Ukrainka Volyn National University,*
13, Voli Ave., Lutsk, Volyn region, 43025, Ukraine

THE PESTICIDES IMPACT ON SOIL MICROFLORA IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE NATURAL RESOURCE USE

Purpose. Study of the impact of the pesticides Pesticol and KarateGold on soil microflora, specifically on bacterial communities of the genera *Sphingomonas*, *Streptomyces*, *Bacillus*, and *Micrococcus*, in the context of balanced nature management.

Methods. Serial dilutions, Drygalsky, the Gram method and microscopy, agar diffusion methods, statistical processing.

Results. Soil samples were selected in different locations of the city of Lutsk: 1 – botanical reserve "Vorotniv", forest zone; 2 – section of the E85 highway on Okruzhnaya Street, 37; 3 – flower garden near the dormitory No. 2 of the VNU on Vynnychenko Street, 22. Two types of the most commonly used pesticides were selected for the study: *Pesticol* (active substance concentration 6.0 %) and *KarateGold* (active substance concentration 0.075 %). Analysis of the effect of pesticides on microorganisms showed that the selected drugs, such as *Pesticol* and *KarateGold*, have different effects on different types of soil bacteria, which emphasizes the importance of studying their effect on the microbiota. The obtained research results clearly show that the drug with a lower concentration of the active substance is less aggressive and more environmentally friendly compared to the other. The results showed that for Streptomyces bacteria, the minimum inhibitory concentration (MIC) of the pesticide *Pesticol* is 16 μg/ml, while for *KarateGold* it is 2 μg/ml, which indicates high sensitivity to the first pesticide. In the case of *Micrococcus* bacteria, the MIC for *Pesticol* is also 2 μg/ml, while the bacteria showed high resistance to *KarateGold*, which is confirmed by their presence in all tubes except the first.

Conclusions. The negative impact of pesticide use on these microorganisms, which may cause disruption of the soil ecosystem. Taking into account the impact of pesticides on microflora is of great importance when developing a plant protection strategy to ensure a balanced use of chemical protection agents. Research can contribute to a better understanding of the effect of pesticides on microorganisms in the soil, which is important for balanced environmental management.

KEY WORDS: *pesticides, microorganisms, soil, microflora, bacteria, growth inhibition zone, balanced nature management, sustainable land management, agrosphere*

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

References

1. Lokhanska, V. Y. (2008). Study of pesticide contamination in agrocenoses. *Scientific Reports of NAU, 2*(10), 1–12. (in Ukrainian).
2. Yushchenko, D. Y., Paj, Z. P., Khlebnikova, T. B., Bukhtiyarov, V. I., Moroz, B. L., Pyryaev, P. A. (2017). Method for producing n-(phosphonomethyl)-glycine. Retrieved from https://scispace.com/papers/method-for-producing-n-phosphonomethyl-glycine-4new88xkm8
3. Naidonova, O. Ye. (2020). Dynamics of microflora population and biochemical activity of typical chernozem under pesticide complex application. *Agrochemistry and Soil Science*, (90), 65–75. https://doi.org/10.31073/acss90-07 (in Ukrainian).
4. Mokliachuk, L., Lishchuk, A., & Matusevych, H. (2013). Ecological and economic principles of remediation of pesticide-contaminated soils. *Ecological Bulletin, 6*(81), 20–21. (in Ukrainian).
5. Streletskii, R., Astaykina, A., Cheptsov, V. S., Belov, A. S., & Gorbatov, V. (2023). Effects of the Pesticides Benomyl, Metribuzin and Imidacloprid on Soil Microbial Communities in the Field. *Agriculture, 13*(7), 1330. https://doi.org/10.3390/agriculture13071330
6. Lishchuk, A., Parfenyk, A., Horodyska, I., Boroday, V. V., Ternovyi, Y., & Tymoshenko, L. (2023). Environmental Risks of the Pesticide Use in Agrocenoses and their Management. *Journal of Ecological Engineering, 24*(3), 199–212. https://doi.org/10.12911/22998993/158537
7. Ruba, U. B., Chakma, K., Ali, Md. P., Khan, A. U., & Talucder, M. S. A. (2023). Environmental Pollution from Injudicious Application of Pesticides: Bangladesh Context. *Journal of Agroforestry and Environment, 16*(1), 40–49. https://doi.org/10.55706/jae1606
8. Hussain, S., Siddique, T., Saleem, M., Arshad, M., & Khalid, A. (2009). Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. In D. L. Sparks (Ed.), Advances in agronomy (Vol. 102, pp. 159–200). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01005-0
9. Gangola, S., Joshi, S., Bhandari, G., Pant, G., Sharma, A., Perveen, K., Bukhari, N. A., & Rani, R. (2023). Exploring microbial diversity responses in agricultural fields: A comparative analysis under pesticide stress and non-stress conditions. *Frontiers in Microbiology, 14*, 1271129. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1271129
10. Steiner, M., Falquet, L., Fragnière, A.-L., Brown, A., & Bacher, S. (2024). Effects of pesticides on soil bacterial, fungal and protist communities, soil functions and grape quality in vineyards. *Ecological Solutions and Evidence, 5*(2), e12327. https://doi.org/10.1002/2688-8319.12327
11. Ni, B., Xiao, L., Lin, D., Zhang, T., Zhang, Q., Liu, Y., Chen, V, Zhu, D., Qian, V, Rillig, M. C.& Zhu, Y. (2025). Increasing pesticide diversity impairs soil microbial functions, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 122* (2), e2419917122, https://doi.org/10.1073/pnas.2419917122.

12. Beaumelle, L., Tison, L., Eisenhauer, N., Hines, J., Malladi, S., Pelosi, C., Thouvenot, L., & Phillips, H. R. P. (2023). Pesticide effects on soil fauna communities–A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology, 60*(7), 1239–1253. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14437
13. Riedo, J., Wettstein, F. E., Rösch, A., Herzog, C., Banerjee, S., Büchi, L., Charles, R., Wächter, D., Martin-Laurent, F., Bucheli, T. D., Walder, F., & van der Heijden, M. G. A. (2021). Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils—the ghost of a conventional agricultural past? *Environmental Science & Technology, 55*(5), 2919–2928. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405
14. Sim, J. X. F., Zhang, X., Liu, Y., & Lau, T. C. (2022). Impact of twenty pesticides on soil carbon microbial functions and community composition. *Chemosphere, 307*, 135820. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135820
15. Sarker, A., Kim, D., & Jeong, W.-T. (2024). Environmental Fate and Sustainable Management of Pesticides in Soils: A Critical Review Focusing on Sustainable Agriculture. *Sustainability, 16*(23), 10741. https://doi.org/10.3390/su162310741
16. Meidl, P., Lehmann, A., Bi, M. Breitenreiter, C., Benkrama, J., Li, E., Riedo, J. & Rillig, M. C. (2024). Combined application of up to ten pesticides decreases key soil processes. *Environ Sci Pollut Res 31*, 11995–12004. https://doi.org/10.1007/s11356-024-31836-x
17. Meena, R. S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M. P., Yadav, G. S., Jhariya, M. K., Jangir, C. K., Pathan, S. I., Dokulilova, T., Pecina, V., & Marfo, T. D. (2020). Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: *A Review. Land, 9*(2), 34. https://doi.org/10.3390/land9020034
18. Gurfinkel E., Shmueli Y. (1994). Process toprepare diazinon. SCISPACE. Retrieved from https://typeset.io/papers/process-to-prepare-diazinon-4enq6hrpcu
19. Meena, R.S., Meena, V.S., Meena, S.K., & Verma, J.P. (2015). The needs of healthy soils for a healthy world. *J. Clean. Prod. 102*, 560–561.
20. Zhang, F., Yang, Y., Zhang, X., Li, G., Di, C., Zhang, S., Li, X., Sha, N., Lian, H., Shao, Z., & Wang, X. (2016). Dichlorodiphenyltrichloroethane degrading bacterium as well as culturing method and application thereof. Retrieved from https://typeset.io/papers/dichlorodiphenyltrichloroethane-degrading-bacterium-as-well3iq87sub1n

The article was received by the editors 16.04.2025
The article is recommended for printing 22.05.2025

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-13
УДК UDC): 504 : 631.4

І. І. САРАНЕНКО, канд. біол. наук, доц.
доцент кафедри географії та екології
e-mail: saranenkoinna@gmail.com ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-6152-7290
Херсонський держаний університет,
вул. Шевченка, 14, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ҐРУНТІВ З РІЗНИМИ ВИДАМИ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Мета. Визначення фітотоксичності ґрунтів**,** відібраних на різних ділянках шляхом біотестування з використанням насіння капусти білоголової (*Brassica oleracea* L.), перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.) та редису посівного (*Raphanus sativus* L.).

Методи. Аналітичний, польових досліджень, біотестування, статистичний.

Результати. Визначено, що пробна ділянка поблизу сміттєзвалища значно забруднена: фітотоксичний ефект (ФЕ) сягає 69,6%, що свідчить про істотне пригнічення росту, pH ґрунтового розчину – 4,9. Ґрунт на узбіччі автомобільної дороги забруднений вище середнього рівня, спостерігається максимальний ФЕ – 53,4 % для проростання насіння перцю солодкого, pH – 4,9. Зразок ґрунту з сільськогосподарського поля виявив середню фітотоксичну дію, pH – 5,4. Контрольна ділянка показала високий відсоток проростання насіння без ознак фітотоксичності, pH – 4,9. На всіх забруднених ділянках у шарі 0–20 см сформувалося кисле ґрунтове середовище pH 4,5–5,4. При таких показниках більшість поживних елементів стають важкодоступними для рослин. Спостерігаються характерні морфологічні ознаки токсичного стресу: скручування листя, побіління країв, деформація кореня. Найбільшу чутливість до забруднення проявило насіння перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.).

Висновки: Визначено, що техногенно навантажені ґрунти чинять негативний вплив на проростання насіння та його подальший розвиток. Біотестування виявилося ефективним методом первинного біоіндикаційного моніторингу стану ґрунтів і може бути рекомендоване для використання у громадах та закладах освіти для виявлення прихованих екологічних загроз.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *біотестування, капуста городня, перець солодкий, редис посівний, морфологічні параметри паростків, pH ґрунтового розчину, фітотоксичний ефект*

Як цитувати: Сараненко І. І. Оцінювання фітотоксичності ґрунтів з різними видами антропогенного забруднення. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 166 –177. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-13

In cites: Saranenko, I. I. (2025). Soil phytotoxicity assessment with different types of anthropogenic pollution. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 166-177. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-13 (in Ukrainian)

Вступ

Стан ґрунтів у сучасних екологічних умовах України викликає значне занепокоєння через зростання антропогенного навантаження, зокрема внаслідок інтенсивної діяльності промислових підприємств, автомобільного транспорту та накопичення твердих побутових відходів. Вінницька область, як один з промислово розвинених регіонів, також стикається з проблемою деградації ґрунтового покриву внаслідок забруднення важкими металами, нафтопродуктами, залишками агрохімікатів та іншими токсичними речовинами. Проведення досліджень особливо актуально на територіях, де наявні потенційні джерела забруднення: сміттєзвалища, транспортні магістралі, сільськогосподарські підприємства з інтенсивною агрохімією та промислові об’єкти. Біотестування за допомогою пророщування насіння чутливих рослин дозволяє оперативно та наочно

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

оцінити рівень токсичності ґрунту, виявити приховані загрози для агроекосистем і здоров'я населення.

Історія використання рослин для визначення якості довкілля розпочалася у 1866 році, коли видатний дослідник – Вільгельм Нюландер, фінський ліхенолог, який працював у Франції, вперше застосував лишайники як біоіндикатори стану атмосферного повітря. Він примітив, що деякі види лишайників зникають у міських районах з високим рівнем забруднення, особливо сірчистими сполуками. Це поклало початок розвитку лехіноіндикації, яка й сьогодні є надійним методом оцінки якості повітря. Насіння, як індикатор шкідливих речовин у довкіллі, почали використовувати пізніше. Перші задокументовані дослідження з використанням насіння рослин для біоіндикації забруднення ґрунту та води проведені в США у 1960-х роках. Дослідники Агенції з охорони довкілля США (EPA) застосували насіння люцерни (*Medicago sativa* L.), редиски (*Raphanus sativus* L.), огірка (*Cucumis sativus* L.) для виявлення токсичної дії важких металів (Cd, Zn, Pb) у ґрунті та воді [1].

У результаті тривалого періоду використання насіння рослин, як індикаторів забруднення довкілля, визначено, що важливе значення має правильний вибір тест-об'єкта, тому що різні види рослин виявляють специфічну чутливість до певних полютантів (табл. 1).

Упродовж останнього десятиліття біоіндикація ґрунтів активно розвивалася як напрям прикладної екології. Українські вчені розробили низку методик, спрямованих на оцінку стану ґрунтового середовища за допомогою рослин, мікроорганізмів та інших біологічних об'єктів. Паралельно з цим, міжнародні дослідження акцентують увагу на інтегрованих системах біомоніторингу та індикаторах сталості ґрунтів.

Досліджено у 2016 році [2] потенціал фітоіндикації для оцінки родючості ґрунтів Центрального Лісостепу України з використанням рослинних індикаторів для визначення змін у складі та структурі ґрунтів тваринницьких комплексів, наголосивши на зниженні їх якості.

У 2017 році узагальнено сучасні методи біоіндикації та біотестування, приділяючи особливу увагу мікроорганізмам [3] . Дослідження висвітлює комплексний підхід до оцінювання деградації ґрунтів, що є особливо важливим для моніторингу екосистем Карпатського регіону.

Того ж року в роботі [4] зосереджено увагу на обґрунтуванні вибору рослинних тест-систем для ґрунтів, забруднених унаслідок діяльності гранітних кар'єрів. Застосування методу аналізу ієрархій дозволило вченим встановити найінформативніші тест-об'єкти для діагностики фітотоксичності.

Притула Н.М. [5] узагальнив теоретичні та практичні засади використання рослин і мікроорганізмів у біоіндикації ґрунтів поблизу несанкціонованих сміттєзвалищ у Карпатах. Дослідження [6] у 2020 році застосували фітоіндикаційні і мікробіологічні методи та підтвердили зниження екологічної якості ґрунтів на даній території.

У 2023 році в роботі [7] вивчали фітотоксичність примагістральних ґрунтів, використовуючи рослинні тест-системи. Дослідження підтвердили вплив автомобільного транспорту на забруднення ґрунтів у Прикарпатському регіоні.

Питанням фітоіндикації та фітомоніторингу, де наведені польові і лабораторні методики, що базуються на спостереженні за змінами фізіологічного стану рослин, зокрема хлорофіл-флуоресценції, морфометрії та індексів життєздатності надано в роботі [8].

На міжнародному рівні дослідження в галузі біоіндикації є мультидисциплінарними та охоплюють ґрунтознавство, мікробіологію, біоремедіацію. Агентство з охорони навколишнього середовища США (EPA) регулярно публікує результати досліджень з використанням біоіндикаторів для оцінки якості ґрунтів в контексті забруднення важкими металами, пестицидами та нафтопродуктами. Матеріали EPA слугують базовим джерелом для екологічної політики США та міжнародного екологічного моніторингу [1].

У розділі монографії [9] запропоновано класифікацію біоіндикаторів за типами організмів (бактерії, гриби, рослини, безхребетні) та рівнями організації живої матерії (клітинний, популяційний, екосистемний). Зазначено про важливість моніторингу ґрунтового середовища в умовах змін клімату та зростаючого техногенного навантаження.

Дослідження [10] присвячене ґрунтовим мікроорганізмам як «екосенсорам» забруднення. Автори розглядають біоіндикатори як інтегративні інструменти для виявлення порушень у мікробіомі ґрунтів, що є ранніми маркерами змін у структурі екосистем. Дослідження має високу прикладну цінність у галузі

Таблиця 1

Застосування насіння рослин для біоіндикації різних типів забруднення

Table 1

Application of plant seeds for bioindication of different types of pollution

№	Вид рослин/ Growing species	Типи забруднення/ Types of pollution	Рекомендації до застосування/ Recommendations for use
1.	Соняшник звичайний (*Heliantus annus* L.)	Радіонукліди, важкі метали / Radionuclides, heavy metals	Акумулює важкі метали та радіонукліди; рекомендовано для зон після аварійного забруднення/ Accumulates heavy metals and radionuclides; recommended for areas after accidental contamination.
2.	Гірчиця сарпетська (*Brassica juncea* L.)	Важкі метали (Hg, Cr, Pb), радіонукліди / Heavy metals (Hg, Cr, Pb), radionuclides	Підходить для фіторемедіації та виявлення радіаційного забруднення/ Suitable for phytoremediation and detection of radiation contamination.
3.	Капуста білоголова (*Brassica oleracea* L.)	Важкі метали / Heavy metals (W, Pb, Cd)	Висока накопичувальна здатність, рекомендовано для складного важкого забруднення/ High accumulation capacity, recommended for complex heavy contamination.
4.	Квасоля звичайна (*Phasoleus vulgaris* L.)	Важкі метали (Cu, Zn, Pb), феноли/ Heavy metals(Cu, Zn, Pb, phenols	Застосовується в лабораторних тестах для виявлення токсичності фенолів та міді/ Used in laboratory tests for detecting phenol and copper toxicity.
5.	Ріпа кормова (*Brassica rapa* L.)	Гербіциди, солі важких металів / Herbicides, heavy metal salts	Чутливий до гербіцидного навантаження; швидке зростання дозволяє провести оперативне оцінювання/ Sensitive to herbicide load; rapid growth allows for prompt assessment.
6.	Гарбуз звичайний (*Cucurbita pepo* L.)	Органічні забруднювачі, пестициди / Organic pollutants, pesticides	Чутливий до органічних пестицидів; застосовується у фітотестах з довгим циклом проростання/ Sensitive to organic pesticides; used in phytotests with long germination cycle.
7.	Хріниця сійна, крес-салат (*Lepidium sativum* L.)	Важкі метали / Heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, As)	Ідеальний для виявлення легкого хімічного забруднення; дуже швидке проростання/ Ideal for detecting light chemical pollution; very rapid germination.
8.	Редис посівний (*Raphanus sativus* L.)	Нафтопродукти, гербіциди, важкі метали / Petroleum products, herbicides, heavy metals	Підходить для оцінки нафтохімічного забруднення; швидка реакція/ Suitable for assessing petrochemical pollution; quick response.
9.	Перець солодкий (*Capsicum annuum* L.)	Пестициди, важкі метали, промислові відходи / Pesticides, heavy metals, industrial waste	Чутливий до легких токсикантів; підходить для забруднення органічними сполуками/ Sensitive to light toxicants; suitable for organic compound contamination.
10.	Люцерна посівна (*Medicago sativa* L.)	Cd, Cu, хлорорганічні сполуки / Cd, Cu, organochlorine compounds	Показник загального стану ґрунтового біоценозу; висока толерантність / Indicator of general soil biocenosis condition; high tolerance.
11.	Овес посівний (*Avena sativa* L.)	Важкі метали, бензол, розчинники / Heavy metals, benzene, solvents	Рекомендований для промислових зон; добре виявляє токсичність розчинників/ Recommended for industrial zones; effective in detecting solvent toxicity.
12.	Щириця звичайна (*Amaranthus retroflexus* L.)	Нітрати, фосфати, промислові відходи / Nitrates, phosphates, industrial waste	Біомасу використовують для аналізу накопичення шкідливих речовин; перспективний для моніторингу аграрного навантаження./ Biomass used for analyzing harmful substance accumulation; promising for agricultural load monitoring.

			Продовження таблиці 1/ Continuation of table 1
13.	Маршанція мінлива (*Marchantia polimorpha* L.)	Важкі метали (Pb, Al, Zn), радіація / Heavy metals (Pb, Al, Zn), radiation	Надзвичайно чутливий до свинцю; використовується у біомоніторингу міських ландшафтів./ Extremely sensitive to lead; used in biomonitoring of urban landscapes.
14.	Чина весняна (*Lathyrus vernus* L.)	As, Sb, Cr, сірчисті сполуки / As, Sb, Cr, sulfur compounds	Рідкісний індикатор для елементів-металоїдів; рекомендований для гірничопромислових районів./ Rare indicator for metalloid elements; recommended for mining areas.

біомоніторингу урбанізованих та деградованих територій.

Як українські, так і зарубіжні джерела демонструють високий рівень розвитку підходів до біоіндикації та біотестування [11]. Вітчизняні вчені переважно зосереджені на фітоіндикації, аналізі ґрунтів агроландшафтів та промислово-забруднених зон, тоді як зарубіжні дослідники доповнюють методику мікробіологічними та молекулярними підходами. Важливим трендом є комплексна інтеграція методів для підвищення достовірності результатів екологічного моніторингу. Усі дослідження підтверджують ефективність такого підходу як недорогого, швидкого й екологічно орієнтованого інструменту оцінювання стану ґрунтів.

З погляду нормативного регулювання, у практиці біоіндикації застосовується низка міжнародних підходів. Стандарт ISO 18512:2007 [12] містить керівництво з визначення біологічної активності в ґрунтах, а ASTM E1963-09 (оновлений у 2014) забезпечує чіткий алгоритм оцінки. Методики, рекомендовані OSED, передбачають використання тестів на проростання насіння та інших рослинних реакцій як стандартних у визначенні токсичності: "OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Section 2: Effects on Biotic Systems Test 208 Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test. OECED Publishing" (2006).

Українські методичні підходи адаптовано до вимог європейських екостандартів, що дозволяє інтегрувати вітчизняні дослідження у глобальне середовище наукових даних.

Дослідження на території з різними типами забруднювачів має важливе значення для моніторингу стану навколишнього середовища; розробки заходів щодо рекультивації та охорони ґрунтів; забезпечення екологічної безпеки регіону; підвищення обізнаності громади про реальний стан довкілля. Використання насіння капусти городньої (*Brassica oleracea* L.), перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.) та редису посівного (*Raphanus sativus* L.) як тест-об'єктів є обґрунтованим вибором, оскільки ці культури мають високу біочутливість до різних видів забруднення і швидко реагують на несприятливі зміни у навколишньому середовищі. Дослідження морфологічних параметрів проростків (довжини кореня, пагону, маси, відсотка проростання) дозволить не лише якісно виявити забруднення, а й кількісно оцінити ступінь його впливу.

Метою дослідження є визначення фітоксичного ефекту ґрунту на земельних ділянках з різними видами антропогенного забруднення (сміттєзвалище, узбіччя дороги, поле сільськогосподарського підприємства з інтенсивною агрохімією) методом пророщування насіння капусти, перцю та редису з порівнянням результатів із зразками контрольної присадибної ділянки.

Завдання дослідження:

- відбирання ґрунтових зразків чорнозему глибокого малогумусного з території поблизу сміттєзвалища, узбіччя дороги, сільськогосподарського підприємства та контрольної присадибної ділянки;
- визначення pH ґрунтового розчину;
- підготовка насіння капусти, перцю та редису і забезпечення однакових умови пророщування;
- визначення кількісних показників: кількості пророслого насіння; довжини кореня та пагонів; маси проростків;
- виявлення морфологічних зміни проростків, характерних для кожної ділянки;
- аналіз отриманих результатів з метою виявлення ступеня токсичності ґрунтів;
- надання рекомендацій щодо використання методів біотестування щодо оцінювання екологічного стану ґрунтів села Стадниця Вінницької міської територіальної громади.

Передбачається зниження показників: pH ґрунтового розчину; рівня проростання насіння; довжини кореня, пагону та маси

проростків капусти, перцю і редису на ґрунтах, відібраних поблизу сміттєзвалища, узбіччя дороги та сільськогосподарського підпри-ємства з інтенсивною агрохімією, у порівнянні з контрольним ґрунтом присадибної ділянки.

Також очікується, що рослини продемонструють характерні морфологічні ознаки токсичного стресу (скручування листя, побіління країв, деформація кореня) на забруднених ділянках.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є чорнозем глибокий малогумусний села Стадниця Вінницької міської територіальної громади. Для виконання поставленої задачі закладено чотири пробні ділянки, які знаходяться поблизу джерел різного антропогенного впливу (рис. 1) та визначено pH водного розчину з використанням вимірника кислотності Benetech GM765.

1. Стадницький полігон твердих побутових відходів (ПД1) – джерело органічного та змішаного хімічного забруднення, розташований на території Стадницької сільської ради (7-й кілометр Турбівського шосе у Вінницькому районі) за межами населеного пункту. Значення pH ґрунтового розчину – 4,9.

2. Сільськогосподарське поле з інтенсивною агрохімією (ПД2) розташоване на сході Стадницької сільської ради; використовується для вирощування с/г культур із застосуванням мінеральних добрив та пестицидів. Значення pH ґрунтового розчину – 5,4.

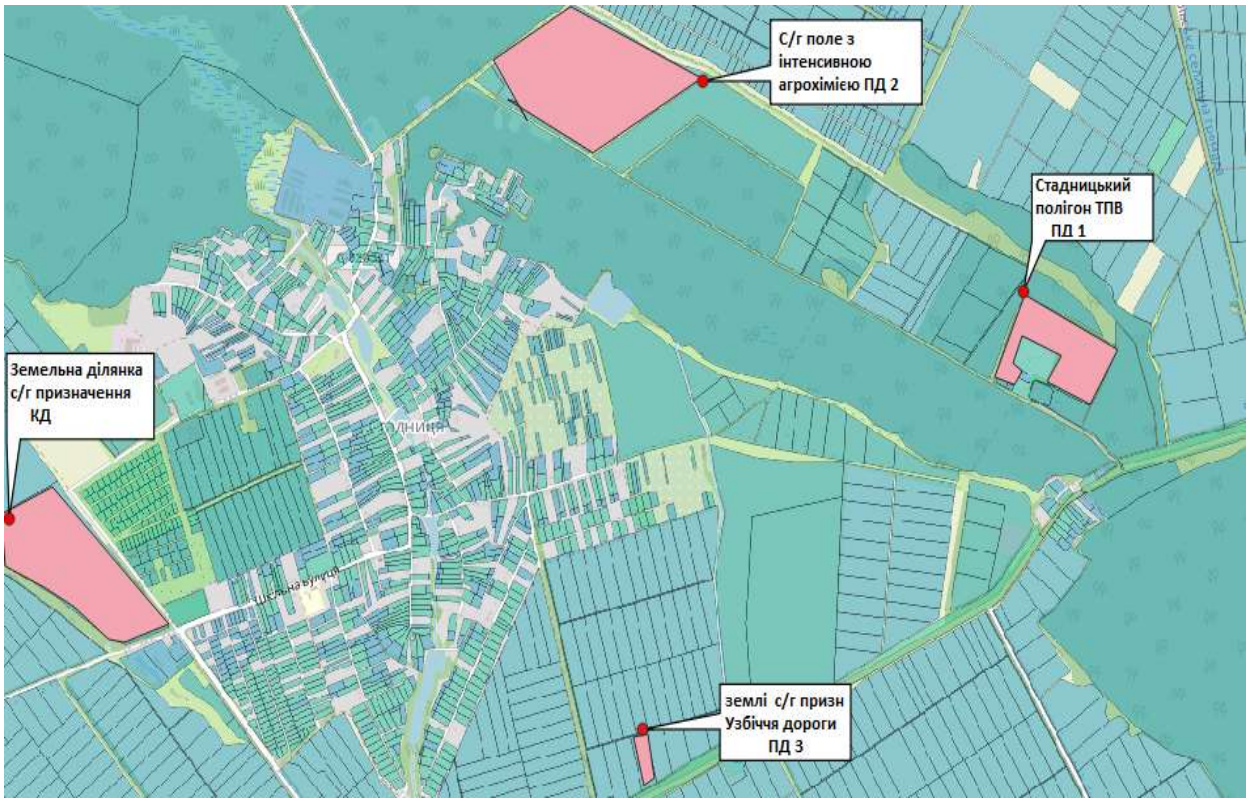


Рис. 1 – Місця відбору проб ґрунту (растр публічної кадастрової карти; QGIS)

КД – agricultural land plot; ПД 1 – Stadnytsyi solid waste landfill;
ПД 2 – agricultural field with intensive agrochemicals; ПД 3 – agricultural land. Roadside of the road
Fig. 1 – Soil sampling locations (raster of the public cadastral map; QGIS)

3. Узбіччя автомобільної дороги (ПД3) – ділянка вздовж траси Стадниця – Вінниця, зона впливу транспортної магістралі (свинець, бензол, сажа, залишки паливно-мастильних матеріалів). Значення pH ґрунтового розчину – 4,5.

4. Контрольна ділянка (КД) – умовно чиста присадибна територія, віддалена від

основних джерел техногенного навантаження. Значення pH ґрунтового розчину – 6,8.

Для визначення фітотоксичного ефекту чорнозему глибокого малогумусного застосовано метод біотестування з використанням пророщеного насіння 20 штук на кожен зразок у п'яти повтореннях в лабораторних умовах [13–14]. Обрані рослини характеризуються чутливістю до широкого спектра забруднювачів (табл. 1):

1. Капуста білоголова (*Brassica oleracea* L.) ефективно реагує на Pb, Cd та інші важкі метали;

2. Перець солодкий (*Capsicum annuum* L.) – чутливий до пестицидів, важких металів, органічних сполук;

3. Редис посівний (*Raphanus sativus* L.) швидко реагує на гербіциди, нафтохімічні забруднювачі, важкі метали Зразки ґрунтів відбиралися з верхнього горизонту (0–20 см) [13] у період з травня по вересень 2024 року. Висушені зразки використовувалися для постановки лабораторного досліду: на попередньо зволожений шар ґрунту висівалось 20 насінин кожного виду рослин у п'яти повтореннях на кожному зразку [14, 15]. Паралельно висівалося насіння на контрольний ґрунт з присадибної ділянки. Через 7 діб оцінювали наступні показники:

- кількість пророслих насінин;
- довжина кореня та підземної частини;
- візуальні зміни у формі проростків (аномалії, затримка росту);
- фітотоксичний ефект [14,].

Оцінку токсичності субстратів проведено за п'ятибальною шкалою (табл. 2)

Для підвищення об'єктивності результатів проведено статистичну обробку даних з використанням t-критерію Стьюдента ($p < 0,05$) та коефіцієнтів варіації [17–19].

Дані результатів зіставлялися між контрольним і дослідними зразками для виявлення токсичності ґрунту [20]. Інтегральний фітотоксичний ефект розраховано як середнє арифметичне показників для насіння рослин всіх видів на кожній ділянці [21].

Таблиця 2

Шкала рівнів токсичності ґрунтів [14]

Table 2

Soil toxicity level scale [14]

Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект),% / Levels of growth inhibition (phytotoxic effect),%.	**Рівень токсичності / Toxicity level**
0–20	Відсутність або слабкий рівень (I) / Absence or low level (I)
20,1–40	Середній рівень (II) / Medium level (II)
40,1 – 60	Вище середнього рівня (III) /Above medium level (III)
60,1–80	Високий рівень (IV) / High level (IV)
80,1–100	Максимальний рівень (V) / Maximum level (V)

Результати досліджень

Чорнозем глибокий малогумусний – це підтип чорноземів, що формується переважно в умовах недостатнього зволоження, вміст гумусу (3– 4%), pH зазвичай нейтральний або слаболужний: 6,8–7,2. Зниження показників pH ґрунтового розчину свідчить про погіршення фізико – хімічних властивостей [16, 17, 22].

Для виконання поставленої задачі відібрано насіння капусти білоголової, перцю солодкого і редису посівного та визначений фітотоксичний ефект ґрунтів, зібраних поблизу сміттєзвалища, сільськогосподарського поля з інтенсивною агрохімією, узбіччя автомобільної дороги (табл. 3–5).

Ґрунт біля сміттєзвалища виявив високий фітотоксичний ефект для всіх культур (табл. 3): ФЕ для капусти: 61,5–65,5 %, для перцю: 61,7–69,6 % (особливо сильне пригнічення росту кореня), для редису ФЕ понад 61,4–63,3 % за довжиною кореня та паростка, це свідчить про забруднення важкими металами, органікою, мікропластиком. Інтегральний ФЕ ґрунтів ПД1 – вище середнього рівня (III).

Ґрунт із сільськогосподарського поля (табл. 4) показав, в основному, середній рівень фітотоксичності: 29,9–35,9%. Найбільшу чутливість виявлено у коріння та паростків перцю солодкого, фітотоксичний

Таблиця 3

Результати біотестування ґрунтів Стадницького полігону твердих побутових відходів

Table 3

Results of biotesting of soils of the Stadnytskyi solid household waste landfill

Назва виду (ПД1) / Species name (TS1)	Фітотоксичний ефект (ФЕ) / Phytotoxic effect (PE), %; Δ ± 1,76%				
	Проростання/ Germination	Довжина кореня / Root length	Довжина паростка / Sprout length	Маса паростка / Shoot mass	Інтегральний ФЕ / Integral PE
	Рівень токсичності/ Level of toxicity				
Капуста білоголова (*Brassica oleracea* L.)	47,4	61,5	65,5	53,1	56,9
	III	IV	IV	III	III
Перець солодкий (*Capsicum annuum* L.)	44,4	69,6	61,7	60,7	59,1
	III	IV	IV	IV	III
Редис посівний (*Raphanus sativus* L.)	43,9	61,4	63,3	51,4	55,0
	III	IV	IV	III	III

Таблиця 4

Результати біотестування ґрунтів сільськогосподарського поля з інтенсивною агрохімією

Table 4

Results of biotesting of soils of an agricultural field with intensive agrochemistry

Назва виду (ПД1) / Species name (TS2)	Фітотоксичний ефект (ФЕ) / Phytotoxic effect (PE), %; Δ ± 1,76%				
	Проростання/ Germination	Довжина кореня / Root length	Довжина паростка/ Sprout length	Маса паростка/ Shoot mass	Інтегральний ФЕ / Integral PE
	Рівень токсичності/ Level of toxicity				
Капуста білоголова (*Brassica oleracea* L.)	21,0	38,4	39,6	31,3	32,6
	II	II	II	II	II
Перець солодкий (*Capsicum annuum* L.)	22,2	42,3	46,8	32,2	35,9
	II	III	III	II	II
Редис посівний (*Raphanus sativus* L.)	18,4	35,7	36,7	28,6	29,9
	II	II	II	II	II

Таблиця 5

Результати біотестування ґрунтів узбіччя автомобільної дороги

Table 5

Results of biotesting of soils of a roadside of a highway

Назва виду (ПД1) / Species name (TS3)	Фітотоксичний ефект (ФЕ) / Phytotoxic effect (PE), %; Δ ± 1,76%				
	Проростання/ Germination	Довжина кореня / Root length	Довжина паростка/ Sprout length	Маса паростка/ Shoot mass	Інтегральний ФЕ / Integral PE
	Рівень токсичності/ Level of toxicity				
Капуста білоголова (*Brassica oleracea* L.)	36,8	50,8	53,4	48,8	47,5
	II	III	III	III	III
Перець солодкий (*Capsicum annuum* L.)	55,6	51,9	53,2	50,0	52,7
	III	III	III	III	III
Редис посівний (*Raphanus sativus* L.)	33,7	50,0	51,7	42,9	44,6
	II	III	III	III	III

ефект вище середнього. Найменш пригнічено проростання редису посівного – 81,6%, але подальше зростання паростка й кореня сповільнено, що вказує на залишки пестицидів, гербіцидів, надмірне удобрення або мінеральне виснаження ґрунту. Інтегральний ФЕ ПД2 – середній (II).

Ґрунт біля узбіччя дороги (табл. 5) має фітотоксичний ефект вище середнього (III). Імовірна причина – накопичення солей важких металів та паливно-мастильних речовин від автотранспорту. Найбільш стійким виявився редис з динамікою проростання 66,3%. Інтегральний ФЕ ґрунтів ПД3 – вище середнього (III).

Контрольна проба підтвердила відсутність фітотоксичної дії: проростання на рівні 90,0–98,0%, морфометричні показники відповідають видовим особливостям рослин. Такий ґрунт можна вважати безпечним для вирощування с/г культур.

Візуальні зміни у формі паростків наявні на всіх забруднених ділянках (табл. 6). Найбільшу чутливість до забруднення проявили коріння та паростки пророщеного насіння перцю солодкого, тому можна рекомендувати для визначення стану ґрунту території.

Розраховані середні значення фітотоксичного ефекту показали забрудненість, в основному, вище середнього рівня, тому землі поблизу сміттєзвалища не потрібно використовувати для вирощування харчових продуктів до проведення повної рекультивації та хімічного аналізу. Вздовж доріг висаджувати лише нехарчові культури (декоративні, технічні), застосовувати зелені насадження між дорогою та земельними ділянками під городництвом, контролювати вміст

Таблиця 6

Візуальні зміни у формі проростків

Table 6

Visual changes in the shape of seedlings

Назва виду/ Type of plant	Контрольна ділянка/ Control plot	Сміттєзвалище/ Landfill	С/Г поле/ Agricultural field	Узбіччя дороги/ Roadside
Капуста білоголова (Brassica oleracea L.)	Високий відсоток проростання, рівне зелене листя, довгий корінь/ High germination rate, uniformly green leaves, long root	Затримка проростання, корінь укорочений, побіління країв листків / Delayed germination, shortened root, leaf edge whitening	Проростання уповільнене, листя блідо-зелене, корінь деформований / Slowed germination, pale green leaves, deformed root	Затримка росту, листя скручене, поява темних плям / Growth delay, curled leaves, appearance of dark spots
Перець солодкий (Capsicum annuum L.)	Достатньо високий відсоток проростання, міцні паростки/ Fairly high germination rate, strong seedlings	Низький відсоток проростання, потоншення кореня, жовтувате листя / Low germination rate, root thinning, yellowish leaves	Помірна затримка росту, скручування листків/ Moderate growth delay, leaf curling	Значне пригнічення росту, майже повна відсутність вторинних коренів / Significant growth suppression, almost complete absence of secondary roots
Редис посівний (Raphanus sativus L.)	Швидке проростання, зелений колір листів/ Rapid germination, green leaf color	Низький відсоток проростання, карликові проростки, деформація кореня/ Low germination rate, dwarf seedlings, root deformation	Нерівномірний ріст, зменшення товщини стебла, листя з білими плямами / Uneven growth, reduced stem thickness, leaves with white spots	Затримка росту, листя закручене / Growth delay, twisted leaves

важких металів Cd, Pb, Zn. Сільськогосподарські поля потребують аналізу залишкової кількості пестицидів, періодичне оновлення сівозмін, використання сидератів,

застосування біологічних засобів захисту рослин. Отримані результати можна використовувати для моніторингу ґрунтів у межах громади, у школах в якості екологічної освіти як спосіб залучення учнів до екологічних досліджень.

Висновки

Здійснено оцінку фітотоксичності ґрунтів, відібраних з чотирьох ділянок з різними видами антропогенного забруднення: контрольної (присадибної), поблизу сміттєзвалища, сільськогосподарського поля, узбіччя автомобільної дороги. Випробування проводилися з використанням насіння капусти білоголової (*Brassica oleracea* L.), перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.), редису посівного (*Raphanus sativus* L.), що дало змогу простежити зміни біометричних показників рослин у відповідь на різні види забруднення.

Усі дослідні зразки продемонстрували певну ступінь пригнічення росту, вираженого у зменшенні довжини коренів і паростків, їх маси та зниженні відсотка проростання насіння. Найвищу фітотоксичність за всіма показниками зафіксовано для ґрунту відібраного поблизу сміттєзвалища (ФЕ – 69,6%), що свідчить про сильне пригнічення розвитку рослин. Такі результати можуть бути зумовлені наявністю важких металів, органічних забруднювачів та токсичних сполук, що характерно для сміттєвих полігонів.

Помірне пригнічення росту рослин спостерігається у зразках з сільськогосподарського поля. Незважаючи на відносно високу кількість пророслого насіння (79,0–81,6%), подальше зростання проростків та їхня маса поступалися контрольним зразкам, що може свідчити про забруднення пестицидами, гербіцидами або про надмірне внесення мінеральних добрив.

Ґрунт біля узбіччя автомобільної дороги з фітотоксичним ефектом вище середнього. Ймовірною причиною пригнічення є накопичення важких металів, які потрапляють з вихлопними газами.

Контрольний зразок, відібраний на присадибній ділянці, продемонстрував стабільні біологічні показники, високе проростання насіння (90,0–98,0%) та розвинену морфологію паростків, що свідчить про сприятливі умови для росту та відсутність токсичних речовин.

За показником інтегрального ФЕ ґрунти пробних ділянок щодо забруднення складають низхідний ряд: Стадницький полігон твердих побутових відходів → узбіччя автомобільної дороги → сільськогосподарське поле з інтенсивною агрохімією.

Потрібно зазначити, що на всіх забруднених ділянках у шарі 0–20 см сформувалося кисле ґрунтове середовище pH 4,5–5,4. При таких показниках більшість поживних елементів стають важкодоступними для рослин. Найбільшу чутливість до забруднення проявило насіння перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.).

Таким чином, результати дослідження підтвердили, що біотестування є ефективним методом первинного екологічного моніторингу. Ґрунти поблизу сміттєзвалища та автомобільних доріг потребують рекультивації, обмеження у сільськогосподарському використанні або впровадження буферних захисних зон. Ґрунти сільськогосподарського поля – екологічно нестабільні та потребують перегляду агрохімічної практики. Метод може бути рекомендований для систематичного застосування як у наукових цілях так і для потреб громади та закладів освіти.

Конфлікт інтересів

Дослідження виконано за завданням ІНДР №0124U005186.

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

Список використаної літератури

1. Дослідження Агентства з охорони навколишнього середовища США. EPA. URL: https://www.epa.gov/research/research-topics (дата звернення: 25.04.2025).
2. Кукурудзяк К.В., Бригас О.П., Тертична О.В. Біоіндикація родючості ґрунтів Центрального Лісостепу. *Агроекологічний журнал.* 2016. №4. С. 44–50. doi.org/10.33730/2077-4893.4.2016.271224

3. Симочко Л.Ю., Симочко В.В., Дем'янюк О.С. Біоіндикація і біотестування грунтів – сучасні методичні підходи. *Науковий вісник Ужгородського університету.* Серія: Біологія. 2017. Вип.42. С. 77–8. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/20524.
4. Тверда О.Я., Косяк І.В. Обґрунтування вибору рослинних тест-систем для оцінки токсичності ґрунтів прилеглих територій гранітних кар'єрів. Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Гірництво. 2017. №33. С. 79–85. doi.org/10.20535/2079-5688.2017.33.101742
5. Притула Н.М. Біоіндикація. Запоріжжя: ЗНУ, 2020. 141 с. URL: https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/3296 (дата звернення: 16.04.2025).
6. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С. Біоіндикація ґрунту несанкціонованих сміттєзвалищ у Карпатському регіоні. *Агроекологічний журнал.* 2020. №1. С. 55–60.URL: https://journalagroeco.org.ua/article/view/234453 (дата звернення: 16.04.2025).
7. Боднрюк Р.М., Шкоба Ж.В., Савула М.М. Біоіндикація примагістрального ґрунту рослинними тест-системами. Актуальні проблеми біологічних та агроекологічних досліджень у Карпатському регіоні: матеріали VII міжнар. наук. конф. молодих учених та студентів, 26–27 жовтня 2023 р. Ужгород: Уж-НГУ, 2023. С. 75–76. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/57093 (дата звернення: 17.04.2025).
8. Бессонова В.П. Фітоіндикація та фітомоніторинг. Навчальний посібник. Дніпровський державний аграрно-економічний університет. Дніпро: Герда, 2024. 206 с. URL: https://surl.li/xihilo (дата звернення: 18.04.2025).
9. Dahiya, U.R., Das, J., Bano, S. (2022). Biological Indicators of Soil Health and Biomonitoring. In: Malik, J.A. (eds) *Advances in Bioremediation and Phytoremediation for Sustainable Soil Management.* Springer, Cham. pp 327–347. doi.org/10.1007/978-3-030-89984-4_21
10. Dervash, M.A., Yousuf, A., Bhat, M.A., Ozturk, M. (2024). Bioindicators: The Eco-sensors for Detecting Soil Pollution. In: *Soil Organisms. SpringerBriefs in Microbiology.* Springer, Cham. pp 47–62. doi.org/10.1007/978-3-031-66293-5_5
11. Сараненко І.І., Шадура К.О. Вплив вихлопних газів автотранспорту на генеративні органи представників роду *Acer* L. *Екологічні науки.* К.: ДЕА, 2021. №6 (39).С. 122–126. doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.20
12. ДСТУ ISO 18512:2014. Якість ґрунту. Настанови щодо довго- та короткострокового зберігання зразків ґрунту (ISO 18512:2007, IDT). Дата початку дії: 01.07.2015. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=110863 (дата звернення: 21.04.2025).
13. ДСТУ ISO 10381-6:2015. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 6. Настанови з відбирання, оброблення та зберігання ґрунту в аеробних умовах для лабораторного оцінювання мікробіологічних процесів, біомаси та різноманіття (ISO 10381-6:2009, IDT). Дата початку дії: 01.04.2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73209 (дата звернення: 23.04.2025).
14. EN ISO 18763:2020 (Main) Soil quality - Determination of the toxic effects of pollutants on germination and early growth of higher plants (ISO 18763:2016. *Standards.iteh.ai.* URL: https://surl.lu/eqorlj (дата звернення: 24.04.2025).
15. ISO 16198:2015 Soil quality — Plant-based test to assess the environmental bioavailability of trace elements to plants. *Iso.org.* URL: https://www.iso.org/obp/ui/ru/#iso:std:iso:16198:ed-1:v1:en (дата звернення: 24.04.2025).
16. Притула Н.М. Біоіндикація: методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Екологія» освітньо-професійної програми «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Запоріжжя: ЗНУ, 2019. 71 с.
17. Біоіндикація та біотестування: методичні вказівки до проведення контроль-колоквіуму для студентів з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 101 «Екологія» / уклад. О.М. Крайнюков, І.А. Кривицька. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. 24 с. URL: https://ekhnuir.karazin.ua/server/api/core/bitstreams/65716ed7-ee09-4846-ac26-43e5e80c6ffb/content (дата звернення: 23.04.2025).
18. Критерій Стьюдента в Microsoft Excel. *DAAD.org.ua.* URL: https://daad.org.ua/8181-rozrakhunok-kriteriyu-styudenta-v-excel.html (дата звернення: 23.04.2025).
19. Розрахунок коефіцієнта варіації в Microsoft Excel. *DAAD.org.ua*. URL: https://daad.org.ua/8112-yak-rozrakhuvati-koefitsiient-variatsiyi-v-excel.html (дата звернення: 23.04.2025).
20. Seyhan M., Yuzbasioglu E., Dalyan E., Akpinar I., Unal M. Genotoxicity and antioxidant enzyme activities induced by the captan fungicide in the root of bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. *grossum* L. cv. Kandil). *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 20(2): 97-103, 2019. URL: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/775480?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 23.04.2025).
21. Біотестування токсичності ґрунтів НПП «Кам'янська Січ» з використанням рослинних тест-систем. *Екологія. Право. Людина*. 2024. URL: https://surl.lu/tssoor (дата звернення: 24.04.2025).

22. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з курсу «Ґрунтознавство»: для здобувачів вищої освіти спеціальності 205 «Лісове господарство» / укл. М. Салюк. Ужгород: ДВНЗ "УжНу", 2022. 60 с. URL: https://surl.lu/balfvz (дата звернення: 25.04.2025)

Стаття надійшла до редакції 22.04.2025
Стаття рекомендована до друку 29.05.2025

I. I. SARANENKO, PhD (Biology), Associate Prof.
Associate Professor of the Department of Geography and Ecology
e-mail: saranenkoinna@gmail.com ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-6152-7290
Kherson State University,
14, Shevchenka Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

SOIL PHYTOTOXICITY ASSESSMENT WITH DIFFERENT TYPES OF ANTHROPOGENIC POLLUTION

Purpose. Determination of soil phytotoxicity in various sites through bioassay using seeds of garden cabbage (*Brassica oleracea* L.), common bell pepper (*Capsicum annuum* L.), and garden radish (*Raphanus sativus* L.).

Methods. Analytical, field research, biotesting, statistical.

Results. It was found that the test site near the landfill is heavily polluted: the phytotoxic effect (PE) reaches 69,6%, indicating significant growth suppression, with soil solution pH of 4,9. The soil along the roadside is polluted above the average level, showing a maximum PE of 53,4% for sweet pepper seed germination, with a pH of 4,9. The sample from the agricultural field showed a moderate phytotoxic effect, with a pH of 5,4. The control site showed a high germination rate without signs of phytotoxicity, with a pH of 4,9. In all contaminated areas, an acidic soil environment with pH 4,5–5,4 was formed in the 0–20 cm layer. At such values, most nutrients become poorly available to plants. Characteristic morphological signs of toxic stress are observed: leaf curling, edge whitening, and root deformation. The greatest sensitivity to contamination was shown by sweet pepper seeds (*Capsicum annuum* L.).

Conclusions: It were indicated that technogenically loaded soils have a negative impact on seed germination and further development. Biotesting proved to be an effective method of preliminary bioindicative monitoring of soil conditions and can be recommended for use in communities and educational institutions to identify hidden environmental threats.

KEYWORDS: *biotesting, cabbage, capsicum, radish, morphological parameters of sprouts, pH of soil solution, phytotoxic effect*

Conflict of interest

The study was carried out under the research work No. 0124U005186.

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

References

1. United States Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). *Research topics*. Retrieved April 25, 2025, from https://www.epa.gov/research/research-topics
2. Kukurdziak, K. V., Bryhas, O. P., & Tertychna, O. V. (2016). Bioindication of soil fertility in the Central Forest-Steppe. *Agroecological Journal*, (4), 44–50. https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2016.271224 (in Ukrainian).
3. Symochko, L. Yu., Symochko, V. V., & Dem'ianiuk, O. S. (2017). Bioindication and biotesting of soils – modern methodological approaches. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Biology*, (42), 77–78. Retrieved from https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/20524 (in Ukrainian).
4. Tverda, O. Ya., & Kosiak, I. V. (2017). Justification for the selection of plant test systems to assess the toxicity of soils of granite quarry surroundings. *Bulletin of NTUU "KPI". Series: Mining*, (33), 79–85. https://doi.org/10.20535/2079-5688.2017.33.101742 (in Ukrainian).
5. Prytula, N. M. (2020). *Bioindication: A textbook*. Zaporizhzhia: ZNU. Retrieved from https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/3296 (in Ukrainian).

6. Symochko, L. Yu., & Dem'ianiuk, O. S. (2020). Bioindication of soil of unauthorized landfills in the Carpathian region. *Agroecological Journal*, (1), 55–60. Retrieved from https://journalagroeco.org.ua/article/view/234453 (in Ukrainian).
7. Bodnriuk, R. M., Shkoba, Zh. V., & Savula, M. M. (2023). Bioindication of roadside soil by plant test systems. In *Current Issues of Biological and Agroecological Research in the Carpathian Region: Proceedings of the 7th International Scientific Conference of Young Scientists and Students, October 26–27, 2023* (pp. 75–76). Uzhhorod: UzhNU. Retrieved from https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/57093 (in Ukrainian).
8. Bessonova, V. P. (2024). *Phytoindication and phytomonitoring: A textbook*. Dnipro: Herda. Retrieved from https://surl.li/xihilo (in Ukrainian).
9. Dahiya, U. R., Das, J., & Bano, S. (2022). Biological indicators of soil health and biomonitoring. In J. A. Malik (Ed.), *Advances in bioremediation and phytoremediation for sustainable soil management* (pp. 327–347). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89984-4_21
10. Dervash, M. A., Yousuf, A., Bhat, M. A., & Ozturk, M. (2024). Bioindicators: The eco-sensors for detecting soil pollution. In *Soil Organisms* (pp. 47–62). SpringerBriefs in Microbiology. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66293-5_5
11. Saranenko, I. I., & Shadura, K. O. (2021). The effect of vehicle exhaust gases on the generative organs of Acer L. species. *Ecological Sciences*, (6)39, 122–126. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.20 (in Ukrainian).
12. DSTU ISO 18512:2014. (2015). *Soil quality. Guidance on long and short term storage of soil samples* (ISO 18512:2007, IDT). Retrieved April 21, 2025, from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=110863 (in Ukrainian).
13. DSTU ISO 10381-6:2015. (2016). *Soil quality. Sampling. Part 6. Guidance on the collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass and diversity* (ISO 10381-6:2009, IDT). Retrieved April 23, 2025, from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73209 (in Ukrainian).
14. EN ISO 18763:2020 (Main) Soil quality – Determination of the toxic effects of pollutants on germination and early growth of higher plants (ISO 18763:2016. *Standards.iteh.ai*. Retrieved from https://surl.lu/eqorlj
15. ISO 16198:2015 Soil quality – Plant-based test to assess the environmental bioavailability of trace elements to plants. *Iso.org*. Retrieved from https://www.iso.org/obp/ui/ru/#iso:std:iso:16198:ed-1:v1:en
16. Prytula, N. M. (2019). Bioindication. Zaporizhzhia: ZNU. (in Ukrainian).
17. Krainiukov, O. M., & Kryvytska, I. A. (2023). Bioindication and biotesting. Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from https://surl.li/jxpojl (in Ukrainian).
18. DAAD.org.ua. (2023). Student's t-test in Microsoft Excel. Retrieved from https://daad.org.ua/8181-roz-rakhunok-kriteriyu-styudenta-v-excel.html (in Ukrainian).
19. DAAD.org.ua. (2023). Calculation of the coefficient of variation in Microsoft Excel. Retrieved from https://daad.org.ua/8112-yak-rozrakhuvati-koefitsiient-variatsiyi-v-excel.html (in Ukrainian).
20. Seyhan, M., Yuzbasioglu, E., Dalyan, E., Akpinar, I., & Unal, M. (2019). Genotoxicity and antioxidant enzyme activities induced by the captan fungicide in the root of bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. grossum L. cv. Kandil). *Trakya University Journal of Natural Sciences*, *20*(2), 97–103. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/775480?utm_source=chatgpt.com
21. Ecology. Law. Human. (2024). Biotesting of soil toxicity in Kamianska Sich National Nature Park using plant test systems. Retrieved from https://surl.lu/tssoor (in Ukrainian).
22. Saliuk, M. (Ed.). (2022). Methodical recommendations for practical works in Soil Science course for higher education students majoring in 205 Forestry. Uzhhorod: UzhNU. Retrieved from https://surl.lu/balfvz (in Ukrainian).

The article was received by the editors 22.04.2025
The article is recommended for printing 29.05.2025

ХРОНІКА

DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-14
UDC (УДК): 378.014.24+001.83]:005.745

A. A. HRECHKO[1]
Lecturer, PhD Student of the Department of Environmental Monitoring
and Protected Areas Management
e-mail: a.a.hrechko@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9987-2586
S. V. BURCHENKO[1], PhD (Earth Sciences)
Associate Professor of the Department of Environmental Monitoring
and Protected Areas Management
e-mail: s.burchenko@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5366-5397
N. I. CHERKASHYNA[1]
Senior Lecturer, Department of Foreign Languages for Professional Purposes,
e-mail: n.cherka@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4066-2530
[1]*V. N. Karazin Kharkiv National University,*
4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ROUNDTABLES AS AN INITIAL STAGE IN THE IMPLEMENTATION OF THE INTERNATIONAL PROJECTS ERASMUS+ SUNRISE AND DOMANI

In modern academic environment, international cooperation plays a key role in the development of education, science and innovation. Participation in international programmes, such as Erasmus+, opens up great opportunities for establishing inter-university links, sharing experiences, developing scientific competencies and improving educational programmes. These initiatives include the SUNRISE project - Supporting the Next Generation of Ukrainian Researchers: a project to increase university capacity and improve doctoral training, and the project - DOMANI - Developing Microcredit Ecosystems in Ukraine and Mongolia for a Competitive and Sustainable Green Economy. which are being implemented under the Erasmus+ programme with the participation of leading European and Ukrainian universities.

KEYWORDS: *Erasmus+, SUNRISE project, DOMANI project, Round table, microcredit courses, young scientists*

Як цитувати: Hrechko A. A., Burchenko S. V., Cherkashyna N. I. Roundtables as an initial stage in the implementation of the international projects Erasmus+ SUNRISE and DOMANI. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2025. Вип. 43. С. 178 - 188. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-14

In cites: Hrechko, A. A., Burchenko, S. V., & Cherkashyna, N. I. (2025). Roundtables as an initial stage in the implementation of the international projects Erasmus+ SUNRISE and DOMANI. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 178 - 188. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-14

Introduction

International educational and scientific projects play an important role in modernization of the higher education system, t development of research infrastructure, strengthening of academic mobility and the integration of national universities into the European and global educational space. Participation in such projects creates conditions for the exchange of best practices, adaptation of innovative teaching methods, improvement of the quality of educational programs and implementation of an interdisciplinary approach in teaching and research.

One of the key functions of international projects is to increase the institutional potential of higher education institutions by developing new courses, updating curricula, improving assessment methods, and creating conditions for sustainable professional development of scientific

© Hrechko, A. A., Burchenko, S. V., & Cherkashyna, N. I., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

and pedagogical staff. Through the implementation of joint projects, universities gain access to the latest experience, modern digital tools, and resources for research activities, which is especially important in the context of post-crisis recovery and the challenges caused by military actions in Ukraine.

In addition, international projects act as a catalyst for changes in the culture of academic cooperation, contributing to the construction of inter-university and transnational networks, which increases the competitiveness of scientists in the international labor market and contributes to the formation of an academic environment open to innovation, partnership, and sustainable development.

Involvement of third-level higher education students (postgraduate students), young scientists who have recently defended their thesis, as well as professors and teaching staff in such projects is of particular relevance. For postgraduate students, participation in international projects is not only a source of new knowledge, but also a powerful tool for forming a scientific culture, expanding professional horizons and active inclusion in the global research community. Young doctors of philosophy, who are at the beginning of their academic careers, have the opportunity to strengthen scientific ties, present the results of their own research at the international level and get involved in interdisciplinary initiatives.

For professors, participation in such projects is no less important - it contributes to the international integration of Ukrainian universities, updating educational programs, developing scientific diplomacy and implementing joint research projects. At the same time, international partnership creates conditions for mentoring, within which experienced scientists can support the younger generation of researchers.

In 2025, employees and applicants for the third educational and scientific level of the Karazin Institude of Environmental Sciences began the implementation of two Erasmus+ projects:

SUNRISE - Supporting the next generation of Ukrainian scientists: a project to increase the potential of universities and improve the training of doctoral students.

DOMANI - Development of micro-credit ecosystems in Ukraine and Mongolia for a competitive and sustainable green economy.

To discuss the prospects for the implementation of projects within the framework of the Karazin Institude of Environmental Sciencesconferences, we held the Round tables:

- “Erasmus + SUNRISE Project - as a support for the next generation of Ukrainian scientists”;
- Erasmus + DOMANI “Informal education in the field of environmental monitoring and conservation”.

Moreover, the teaching staff and participants of the INTENSE project joined the round table “Development of the INTENSE Doctoral School: Experience, Challenges, and Perspectives in Ukraine within the SUNRISE Project”, implemented by I. I. Mechnikov Odessa National University.

Such initiatives demonstrate an effective model of international scientific partnership aimed at forming a sustainable system of training highly qualified personnel in the field of ecology and sustainable development.

The purpose is to analyze the role of the Round Tables at the start of the implementation of international projects at Karazin Institude of Environmental Sciences.

Results and Discussion

1. Round table "Erasmus + SUNRISE projects – as a support for the next generation of Ukrainian scientists". On March 14, 2025, Karazin Institute of Environmental Sciences hosted a roundtable discussion “Erasmus + SUNRISE Projects – as Support for the Next Generation of Ukrainian Scientists”. The Erasmus + SUNRISE project is a continuation of the development of the INTENSE international doctoral school.

Representatives of the International Doctoral School provided their presentations of the topics and technical support for their implementation, which may be of interest to postgraduate students in their own scientific research:

❖ ***V. N. Karazin Kharkiv National University Doctoral School:***

- DrS (Geography), professor Nadiya MAKSYMENKO

- DrS (Geography), professor Vilina PERESADKO
- DrS (Geography), professor Alla NEKOS
- DrS (Agriculture), professor Andriy ACHASOV
- DrS (Geography), professor Oleksii KRAINUKOV
- DrS (Agriculture), professor Iryna KOVAL

❖ ***Odesa I. I. Mechnikov National University Doctoral School:***

- DrS (Technical Sc.), professor Angelina CHUGAI
- DrS (Geography), professor Valeriya OVCHARUK
- DrS (Geography), professor Zhannetta SHAKIRZANOVA
- PhD (Geography), associate professor Inna KHOMENKO

❖ ***Institute of Ecology of The Carpathians NAS of Ukraine Doctoral School***

- PhD (Biology), associate professor, senior scientist Iryna SHPAKIVSKA
- PhD (Biology), associate professor, senior scientist Oksana MARYSKEVYCH
- PhD (Biology), leading researcher Andriy-Taras BASHTA

The partners of the doctoral school also spoke:

● DrS (Geography), professor, Olga SHEVCHENKO (Taras Shevchenko National University of Kyiv)

● DrS (Geography), professor, Sergiy SONKO (Uman National University of Horticulture)

Postgraduate students of V. N. Karazin Kharkiv National University, Institute of Ecology of The Carpathians NAS of Ukraine, and Odesa I. I. Mechnikov National University presented the areas of their research and scientific interests:

● Oleg Dmytrykov, Alina Hrechko, Yuliia Serzhantova, Denys Barabash, Andriy Borovenskiy, Anna Kot, Ievgen Tertytskyi, Vadym Gololobov, Sviatoslav Dmitriiev, Oleksandr Bubyr, Maryna Shchokina from V. N. Karazin Kharkiv National University;

● Denys Sivaiev, Anastasiia Blaha, Mykyta Rozvod, Maksym Nedostrelov, Mykhailo Kovalenko from I. I. Mechnikov Odessa National University;

● Dmytro Leleka, Andrii Pavliuk, Andrii Marusyk from Institute of Ecology of The Carpathians NAS of Ukraine.

International partners presented opportunities for postgraduate research:

- ANA SOPINA – PhD, Senior Assistant, Faculty of Architecture, University of Zagreb, Croatia
- TAMARA ZANINOVIĆ – PhD, Assistant Professor, Faculty of Architecture, University of Zagreb, Croatia.

The event was held as part of the All-Ukrainian student and PhD student English-speaking conference (with international participation) “Ecology is a priority” with international participation. The moderators were: Anton SHKARUBA, PhD in Geography, Senior Researcher, Estonian University of Life Sciences (Tartu, Estonia), Ganna TITENKO PhD in Geography, director of the Institute of Environmental Sciences, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine (Fig.1a) and Nadiia CHERKASHYNA Senior Lecturer of English, Department of Foreign Languages for Professional Purposes, School of Foreign Languages, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine [1]. All participants of the round table received certificates of participation (Fig. 1b).

Round table on “Development of the INTENSE Doctoral School: Experience, Challenges and Prospects in Ukraine within the SUNRISE Project”. On 17 April 2025, within the framework of the Second International Conference ‘Climate Services: Science and Education’, a round table on ’Development of the INTENSE Doctoral School: Experience, Challenges and Prospects in Ukraine within the SUNRISE Project’.

The event was moderated by Valeriia Ovcharuk, SUNRISE Project Coordinator at Odesa National University.

The discussion focused on sharing experiences and identifying key areas for the development of doctoral education in the field of environmental and climate policy, management and environmental technologies.

Professor Nadiya Maksymenko (V. N. Karazin Kharkiv National University), Coordinator of the INTENSE National Doctoral School, presented the main achievements of the school, shared her own experience of working with doctoral students and outlined future prospects within the framework of the new SUNRISE project.

The participants shared their personal experiences of participating in the INTENSE project - summer schools, trainings, lectures by

а) б)

Fig. 1 – Roundtable Programme of the SUNRISE (a) and Certificate of participation (b)

European professors, and preparation of dissertation research as part of the project:

- Svitlana Burchenko and Alina Hrechko (V. N. Karazin Kharkiv National University),
- Anna Ilyina (I.I. Mechnikov Odesa National University),
- Vladyslav Mykhailenko (Institute of Market Problems and Economic and Environmental Studies of the National Academy of Sciences of Ukraine),
- Maksym Martyniuk (Institute of Marine Biology of the National Academy of Sciences of Ukraine).

During her speech, Svitlana Burchenko shared her own experience of participating in the INTENSE project, within which she took part in two summer schools: 'Water Innovations: Policy, Management and Research' at the Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia, in 2019, and "Green and Blue Infrastructure in the Cities of the Former Soviet Union - Learning from the Heritage and Experience of the Visegrad Countries" at the Carpathian National Nature Park, Yaremche, Ukraine, and had an individual internship at the Institute of Carpathian Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2021, Lviv, Ukraine.

Alina Hrechko spoke about her experience in the INTENSE project. Together with Svitlana Burchenko, she studied at the summer school 'Green and Blue Infrastructure in the Cities of the Former Soviet Union - Learning from the Heritage and Experience of the Visegrad Countries' at the Carpathian National Nature Park, Yaremche, Ukraine, and began research under the guidance of one of the project partners, Professor Anton Shkaruba (Estonia). In her speech, she noted that it was during her studies at the summer school that she decided on the topic of her dissertation research. And the dual supervision allowed her to use the best international practices of the concept of green and blue infrastructure, to use modern research methods, which ultimately contributed to the timely completion of her dissertation research and defence for the qualification of Doctor of Philosophy.

Valeriia Ovcharuk also shared her experience of implementing the INTENSE Doctoral School at the Odesa State Environmental University, where the international INTENSE project was initiated and successfully implemented.

Andrii Achasov and Alla Nekos (V. N. Karazin Kharkiv National University) discussed how the INTENSE project materials - in particular, the developed courses - are used in the current doctoral programme and suggested that the ONU partners consider integrating them as elective courses.

At the end of the roundtable, the participants agreed on the importance of informing doctoral students of partner institutions about the possibilities of internal academic mobility and supporting its implementation [2]. Participants of the round table received certificates of participation (Fig. 2).

After the round table, the participants continued active work within the framework of the Living Lab Approach for Real-Word Impact in Urban areas training under the ERASMUS + SUNRISE project "Supporting Ukraine's next generation of scholars: a Project for Raising University capacity and Improving doctoral Student Education",conducted by partners from the Estonian University of Life Sciences Anton Shkaruba and Ruthi Veibiakkim (Fig. 3).

Fig. 2 – Certificate of participation in the SUNRISE Roundtable

Fig. 3 – Invitation to Lab Approach for Real-Word Impact in Urban areas

Karazin University team, presented by Prof. Maksymenko N.V., Prof. Achasov A.B., Prof. Nekos A.N., Prof. Peresadko V.A., Assoc. Prof. Burchenko S.V., Assoc. Prof. Gololobova O.O., Assoc. Prof. Kleshch A.A., Senior Lecturer Cherkashyna N.I. and Lecturer Grechko A.A., took an active part in the training as well. In the training program, the Estonian partners delivered a lecture after the introduction of all the participants. Later, there was a group work, in which the participants had to choose a goal and a problem, identify stakeholders who would be responsible for solving this problem, choose methods to solve it, and discuss a common vision.

The work in groups was supported by the Estonian colleagues who coordinated each group, which allowed for quick and clear orientation and reaching a common solution. After the group work, all group participants presented the work of their teams. The discussion of the results sparked a lively discussion. All participants received Certificates of participation (Fig. 4).

Fig. 4 – Certificate of participation in the Living Lab training for the SUNRISE project

Round table «Non-formal education in the field of Environmental Monitoring and Protected Areas Management» according to the project DOMANI.

On April 18, 2025, on the basis of the IV International Internet Conference "Current Issues of Formal and Informal Education in Environmental Monitoring and Protected Areas Management", a round table "Non-formal education in the field of Environmental Monitoring and Protected Areas Management" was held under the DOMANI project. International project partners Anton Shkaruba, Senior Research Fellow at the Estonian University of Life Sciences and Kristina Marran, Head of Estonian University of Life Sciences Open University, and project participants from V. N. Karazin Kharkiv National University, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Odessa Polytechnic National University and Ukrainian Joint Meteorological and Hydrological Society attended the event. Ganna TITENKO, Acting Director of the Karazin Institute of Environmental Science, opened the event with a welcoming speech. The first speaker was Kristina MARRAN, Head of Estonian University of Life Sciences Open University, project coordinator (Fig. 5). During her speech, Kristina outlined the specifics of the project implementation and explained how microcredit courses were organized in Estonia. Kristina Marran's presentation covers:

- the project structure and its stages: preparation (survey, policies, strategies), programme development, pilot implementation, evaluation, finalisation;
- definition of micro-diplomas as short-term study programmes (from 5 to 30 ECTS) focused on professional development, retraining or acquisition of new skills within the concept of lifelong learning;
- an example of successful implementation of micro-diplomas in Estonia, in particular the experience of the Estonian University of Natural Sciences, which coordinates the project;
- organisational and legal aspects related to the regulation of micro-diplomas in Estonia and the possibilit of adapting these approaches to Ukraine and Mongolia;
- potential benefits for Ukraine, including: support for the 'green transformation', promoting economic recovery, increasing access to higher education, ensuring compli-ance with EU standards, in particular in the field of waste management.

The presentation also introduces the DOMANI project consortium, which includes universities, education quality agencies, NGOs, and ministries from Estonia, Italy, Hungary, Ukraine, and Mongolia. An important emphasis is on ensuring the sustainability of the results: the developed micro-diplomas will remain available after the project is completed, and recommendations on the regulatory framework

Fig. 5 – Roundtable Programme of the DOMANI

for micro-qualifications will be provided to the authorities of Ukraine and Mongolia.

During the implementation of the DOMANI project on creation of the microcredit programs, project participants are divided into six sections:

- Biodiversity conservation and management of biological resources;
- Pollution prevention, control and remediation;
- Green planning, management tools and instruments;
- Financial and economic instruments for green development;
- Observation, information and communication for green development;
- Improving the use and protection of water resources.

As part of the discussion in the sections, the project participants spoke about the topics they had chosen to create microcredit programs within the sections.

The first section "Biodiversity conservation and management of biological resources" was presented by V. N. Karazin Kharkiv National University and Taras Shevchenko National University of Kyiv. Prof. Nadiya Maksymenko began her speech by presenting the course "Management and planning of protected areas and their networks in post-war reconstruction", dedicated to modern approaches to the management and strategic planning of protected areas in the context of post-war reconstruction. It is extremely relevant for Ukraine in connection with armed aggression and large-scale environmental damage caused to natural ecosystems. A significant part of the objects of the nature reserve fund has suffered direct or indirect destruction, changes in the landscape structure, loss of biodiversity and violation of protection regimes. The restoration of these territories requires scientifically based, systematic and integrated solutions. Associate Professor Liudmyla BILOUS presented the course "Transboundary cooperation on biodiversity protection and restoration", which is dedicated to the study of mechanisms of international interaction in the field of biodiversity protection and restoration of degraded natural ecosystems that go beyond the borders of individual states. In the current context of global environmental challenges – climate change, species loss, habitat fragmentation — transboundary cooperation is key to the effective preservation of our common natural heritage. The presentation of the section

was completed by a postgraduate student Alina Grechko with a course developed jointly with Prof. Nadiya Maksymenko “Biodiversity of urban landscapes”.The chosen topic of the course is related to the processes of urbanization and sustainable urban planning of the territory. Urbanization is one of the main factors of biodiversity loss. The study of changes in the structure of the biota of urban areas allows us to develop nature-oriented solutions for preservation of ecosystems and improving the quality of life of residents.

The section “Pollution prevention, control and remediation” was opened by participants from V. N. Karazin Kharkiv National University. Prof. Iryna Koval and Assoc. Prof. Olena Hololobova presented the course “State policy on the use and conservation of soil and forest resources in the wartime and postwar periods”, noting that it focuses on a critical analysis of state policy and practices of soil and forest resource management in the context of military conflict and in the period of post-war recovery. It covers issues of legal regulation, sustainable land use strategy, institutional forest management, environmental monitoring, as well as mechanisms for restoring degraded areas. Prof. Oleksiy Krayniukov and Assoc. Prof. Ivetta Kryvytska continued their speech with the course “Biological methods for assessing the quality of environmental components”, which studies bioindication and biotesting methods to assess the state of the natural environment – water, soils, air and biota – from the perspective of their reaction to anthropogenic and technogenic loads. This approach allows us not only to detect the pollution, but also to assess its impact on living organisms and ecosystems as a whole. The presentation of the section was completed by representatives of Taras Shevchenko National University of Kyiv Prof. Serhiy Snizhko, Prof. Olha Shevchenko and Assoc. Prof. Serhiy Lelyushok with the course “Monitoring of air quality”. As part of their speech, they outlined the importance of atmospheric air monitoring, focusing on the fact that air pollution is one of the main environmental and medical and social problems, especially in industrial, urbanized and war-affected regions.

Direction 3 “Green planning, management tools and instruments” was opened by the professors Serhiy Snizhko, Olha Shevchenko, Serhiy Zapototsky from T.H.Shevchenko National University of Kyiv with the course “Adaptation to climate change in territorial communities”, which is related to the study of the impact of climate change on local communities and the development of strategies to mitigate their consequences. The course aims at familiarizing with methods for assessing climate risks, as well as the development and implementation of adaptation measures, which may include infrastructure improvements, land use changes, environmental initiatives and increasing the preparedness of communities to extreme weather conditions. The speech of representatives of Karazin University by section began with the speech of Assoc. Prof. Svitlana Burchenko and Prof. Nadiya Maksymenko “Management of environmental activities and environmental documentation of enterprises”which covers the basics of environmental activity management at enterprises, in particular, the development and implementation of environmental strategies and documentation. The course is the study of the regulatory framework and methods for ensuring the sustainable development of enterprises. Associate Professor Hanna Titenko presented the course “EIA for customers, contractors and the public” and outlined its specifics: a focus on environmental impact assessment (EIA) processes and their significance for various stakeholders, such as customers, contractors and the public. The course proposes to study EIA methods, environmental risk analysis and communication strategies to ensure transparency and participation of all parties in environmental management processes. The presentations of the section by Odessa Polytechnic National University and Ukrainian Joint Meteorological and Hydrological Society were completed by Kateryna Husieva, Mykhailo Lobachev and Oleh Shablii. The course "Engineering Tools for Adaptive and Inclusive Green Infrastructure" covers engineering methods and tools for the design and implementation of adaptive and inclusive green infrastructure. The course aims to study approaches to integrating natural elements into the urban environment, developing solutions that promote resilience to climate change, and ensuring equal access to natural resources for different social groups.

Direction 4 “Financial and economic instruments for green development” was presented by a postgraduate student Anna Kot with the course “Financial instruments of "green" banking”. The course focuses on financial instruments that contribute to supporting sustainable development and environmentally friendly initiatives in the banking sector, as well as study of green financing mechanisms, such as

green bonds, loans for environmental projects and other instruments that help finance projects with minimal environmental impact.

Direction 5 “Observation, information and communication for green development” was presented by Taras Shevchenko National University of Kyiv, Odesa Polytechnic National University, Ukrainian Joint Meteorological and Hydrological Society V. N. Karazin Kharkiv National University. The first was the presentation of Taras Shevchenko National University of Kyiv, presented by Assoc. Prof. Nataliia Korohoda, Assoc. Prof. Tetiana Kupach and Assistant Yevhen Tsyhanok. The course "GIS for Environmental Protection" is aimed at familiarizing students with the theoretical foundations and practical skills of applying geographic information systems (GIS) in the field of environmental protection. The course covers methods of spatial analysis, visualization of environmental data, modeling of risks and changes in the environment, as well as digital mapping of territories affected by anthropogenic and natural factors. Associate Professor of Karazin University Anastasia Kleshch presented two courses at once: “Remote environmental monitoring” and “Web technologies and information support in the field of conservation”. The first course offers to study remote sensing methods of the Earth (RES) and their application to assess the state of the environment. Students get acquainted with modern satellite observation systems, types of remote sensing data, image processingmethods, as well as the analysis of ecosystem dynamics, landscape changes, pollution, soil degradation, deforestation, etc. Web Technologies and Information Support in the Field of Conservation - focuses on the use of digital web technologies for collecting, analyzing, visualizing and disseminating information in the environmental sphere. Special attention is paid to the creation of online maps, environmental portals, databases, web-GIS services and platforms for public monitoring. Odesa Polytechnic National University and Ukrainian Joint Meteorological and Hydrological Society Kateryna Husieva, Mykhailo Lobachev, and Oleh Shablii presented the course “Environmental Journalism, Narrative Strategies, and Gamified Media in Post-War Reconstruction”, which explores the role of media and communications in covering environmental issues arising in the process of post-war reconstruction. Students explore how journalism, storytelling, digital platforms, and gamified media approaches can influence the public opinion, mobilize communities and promote sustainable recovery of affected areas.

Direction 6 "Improving the use and protection of water resources" was dedicated to the courses “Integrated Assessment and management of water resources: Strategy, Methods and Tools” and “Water resources of Ukraine under conditions of climate change and anthropogenic transformations”. The first course was presented by Assoc. Prof. Vitaly Bezsonny and Prof. Alla Nekos (Karazin University), it is dedicated to strategic planning and methods of water resources management taking into account modern environmental challenges. Students study the tools of integrated water management, water balance models

Fig. 6 – Certificate of participation

and methods of water security assessment. Prof. Valentyn Khilchevskyi, Prof. Vasyl Grebin and Assoc. Prof. Serhii Leliushok (Taras Shevchenko National University of Kyiv) presented the course "Water resources of Ukraine under conditions of climate change and anthropogenic transformations", which analyzes the impact of climate change and human activities on the quantity and quality of water resources of Ukraine. Special attention is paid to regional trends in hydrological changes, adaptation approaches, and sustainable water use policies [3-4]. All participants of the round table received certificates of participation (Fig. 6).

Summing up, it is worth noting the successful start of the implementation of the projects. Detailed information about the Round Tables can be found on the website of the National Institute of Ecology https://ecology.karazin.ua/mizhnarodna-dijalnist/ and the Department of Environmental Monitoring and Conservation http://ecomonitoring.karazin.ua/

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

References

1. Round table on the SUNRISE project on the development of the Doctoral School - Educational and Research Institute of Ecology of V. N. Karazin Kharkiv National University (b. d.). Educational and Research Institute of Ecology of V. N. Karazin Kharkiv National University. https://ecology.karazin.ua/news/kruglij-stil-za-proiektom-sunrise-shhodo-rozvitku-doktorskoi-shkoli/
2. A SUNRISE Round-table discussion. (b. d.). C2025. https://cs2025.onu.edu.ua/a-sunrise-round-table-discussion/
3. DOMANI - Developing micro-credit ecosystems in Ukraine and Mongolia for competitive and sustainable green economies. (b.d.). DOMANI. https://venerable-capybara-0e1a09.netlify.app/
4. Round table on the ERASMUS + DOMANI project at Karazin University - Educational and Research Institute of Ecology of V. N. Karazin Kharkiv National University (b. d.). Educational and Research Institute of Ecology of V. N. Karazin Kharkiv National University. https://ecology.karazin.ua/news/kruglij-stil-po-proiektu-erasmus-domani-v-karazinskomu-universiteti/

The article was received by the editors 26.04.2025
The article is recommended for printing 28.05.2025

А. А. ГРЕЧКО[1],
викладачка, аспірантка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-mail: a.a.hrechko@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9987-2586
С. В. БУРЧЕНКО[1], PhD (Наук про Землю),
доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e-mail: s.burchenko@karazin.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5366-5397
Н. І. ЧЕРКАШИНА[1],
старший викладач факультету іноземних мов,
e-mail: n.cherka@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4066-2530
[1]*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

ПРОВЕДЕННЯ КРУГЛИХ СТОЛІВ ЯК ПОЧАТКОВИЙ ЕТАП РЕАЛІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ПРОЄКТІВ ЕРАСМУС+ SUNRISE ТА DOMANI

У сучасному академічному середовищі міжнародна співпраця відіграє ключову роль у розвитку освіти, науки та інновацій. Участь у міжнародних програмах, таких як Erasmus+, відкриває широкі можливості для налагодження міжуніверситетських зв'язків, обміну досвідом, розвитку наукових компетентностей та вдосконалення освітніх програм. Одними з таких ініціатив є проєкти SUNRISE - Підтримка наступного покоління українських науковців: проект з підвищення потенціалу університетів та покращення підготовки докторантів та DOMANI - Розвиток мікро-кредитних екосистем в Україні та Монголії для конкурентоспроможної та стійкої зеленої економіки, що реалізуються в межах програми *Erasmus+* за участі провідних європейських та українських університетів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА; *Ерасмус+, проєкт SUNRISE, проєкт DOMANI, Круглий стіл, мікрокредитні курси, молоді науковці*

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

Список використаної літератури

1. Круглий стіл за проєктом SUNRISE щодо розвитку Докторської школи - Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. *Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна*. URL: https://ecology.karazin.ua/news/kruglij-stil-za-proiektom-sunrise-shhodo-rozvitku-doktorskoi-shkoli/ (дата звернення: 25.04.2025).
2. A SUNRISE Round-table discussion. *C2025*. URL: https://cs2025.onu.edu.ua/a-sunrise-round-table-discussion/ (date of access: 25.04.2025).
3. Круглий стіл по проєкту ERASMUS + DOMANI в Каразінському університеті - Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. *Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна*. URL: https://ecology.karazin.ua/news/kruglij-stil-po-proiektu-erasmus-domani-v-karazinskomu-universiteti/ (дата звернення: 25.04.2025).
4. DOMANI - Розвиток мікро-кредитних екосистем в Україні та Монголії для конкурентоспроможної та стійкої зеленої економіки. *DOMANI*. URL: https://venerable-capybara-0e1a09.netlify.app/ (дата звернення: 25.04.2025).

Co-funded by the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or Erasmus+. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

SUNRISE

DOMANI
MICROCREDENTIALS FOR UKRAINE AND MONGOLIA

Стаття надійшла до редакції 26.04.2025 Стаття рекомендована до друку 28.05.2025

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 укрвїнською.

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, 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 43

Українською та англійською мовами

Макетування та комп'ютерне верстання
Баскакова Л. В.

.

Підписано до друку 30.06.25
Формат 60х84/8
Ум. друк. арк. 15,39, Обл.-вид. арк. 19,24.
Наклад 50 пр. Зам. № 3/25

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