

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

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

*До 220-ї річниці заснування
Каразінського університету*

ЛЮДИНА ТА ДОВКІЛЛЯ

ПРОБЛЕМИ НЕОЕКОЛОГІЇ

=====

*To the 220th Anniversary
of Karazin University's Founding*

MAN AND ENVIRONMENT
ISSUES OF NEOECOLOGY

Випуск 42
ISSUES 42

Харків
Kharkiv
2024

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

Наукове фахове видання України Категорії «Б» в галузях наук:
10 Природничі науки за спеціальностями: 101 Екологія, 103 Науки про Землю;
20 Аграрні науки та продовольство за спеціальностями: 201 Агрономія, 205 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 екологічних 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 24 від 25.11.2024 р.)

Максименко Н. В., д-р геогр. наук, проф. (головний редактор);
Тітенко Г. В., канд. геогр. наук, доц., (заступник головного редактора);
Клещ 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 садівництва;
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, Прешівський 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;
Кривцов 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 садівництва;
Сафранов Т. А., д-р геол.-мин. наук, проф., Одеський державний екологічний університет;
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 садівництва;
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> www-ecology.univer.kharkov.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, 2024

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:
10 Natural sciences by specialties: 101 Ecology, 103 Earth sciences;
20 Agricultural sciences and food by specialties: 201 Agronomy, 205 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 ecological 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 24, dated November 25, 2024)

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 of Horticulture, 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 of Horticulture, Ukraine;
Safranov T. A., DSc (Geology and Mineralogy), Prof., Odessa State Environmental 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 of Horticulture, Ukraine;
Torma S., PhD, Soil Science and Conservation Research Institute, 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)
www-ecology.univer.kharkov.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, 2024

ЗМІСТ

ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Безсонний В. Л., Третьяков О. В., Некос А. Н., Чістов Є. В. Прогнозування показників кисневого режиму р. Дунай.....	6
Сонько С. П., Зеленчук І. Д. Вплив будівництва на ландшафти лісостепової зони України.....	24

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Тучковенко Ю. С., Овчарук В. А., Мартинюк М. О., Газетов Є. І., Зотова О. В., Хохлов В. М., Jiang D., Tyler A. N. Сучасні підходи до моніторингу екологічного стану вод озерних екосистем.....	35
Микицей М. Т. Концепт-основа пошуку та екодіагностики ризик-зон водозборів.....	51
Гололобова О. О., Максименко Н. В., Безсонний В. Л. Оцінка еколого-меліоративного стану ґрунту та потенційних ризиків при застосуванні різних видів поливу декоративних рослин.....	70
Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Чорногор Л. Л. Параметри та екологічні наслідки катастрофічних пожеж в Україні: моделювання, кількісні оцінки.....	83
Максименко Н. В., Бігунова М. Зелені інновації в міському ландшафті: можливості використання досвіду Словаччини.....	95

ЗАПОВІДНА СПРАВА

Горошкова Л. А., Корнійчук Ю. Д. Екологічні загрози і ризики для природоохоронних територій в умовах війни (на прикладі Молочного лиману).....	113
--	-----

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Некос А. Н., Хріпко О. І., Болотова О. О. Екологічна безпека ґрунтів в умовах інтенсивного сільськогосподарського землекористування	137
Зозуля І. О. Зміни у спеціалізації сільського господарства Черкаської області за 10 років.....	147

ХРОНІКА

Гречко А. А., Пономаренко П. Р., Тертицький Є. П., Гололобов В. В. Стажування молодих вчених в освітніх установах Швеції.....	161
Правила оформлення статей.....	168

CONTENTS

GEOGRAPHICAL RESEARCH

Bezsonnyi V. L., Tretyakov O. V., Nekos A. N., Chistov Ye. V. Prediction of oxygen regime indicators in Danube river.....	6
Sonko S. P., Zelenchuk, I. D. Impact of construction on landscapes of the forest-step zone of Ukraine.....	24

ENVIRONMENTAL RESEARCH

Tuchkovenko Yu. S., Ovcharuk V. A., Martyniuk M. O., Gazyetov Ye. I., Zotova O.V., Khokhlov V. M., Jiang D., Tyler A. N. Modern approaches to monitoring the ecological condition of lake ecosystem waters	35
Mykytsei M. T. Conceptual basis for the search and eco-diagnostics of risk zones in watersheds.....	51
Gololobova O. O., Maksymenko N. V., Bezsonnyi V. L. Assessment of the ecological and ameliorative condition of the soil and potential risks when using different types of irrigation of decorative plants.....	70
Chernogor L. F., Nekos A. N., Titenko G. V., Chornohor L. L. Parameters and environmental consequences of catastrophic fires in Ukraine: modeling, quantitative estimates.....	83
Maksymenko N. V., Bihuňová M. Green innovations in urban landscape: opportunities to use Slovakia's experience.....	95

PROTECTED AREAS MANAGEMENT

Horoshkova L. A., Korniiichuk Y. D. Environmental threats and risks to protected areas in the context of war (case study of Molochnyi Lyman).....	113
---	-----

AGRICULTURAL RESEARCH

Nekos A. N., Khripko O. I., Bolotova O. O. Environmental safety of soils in conditions of intensive agricultural land use.....	137
Zozulia I. O. Changes in the agriculture specialization Cherkasy region over 10 years.....	147

CHRONICLE

Hrechko A. A., Ponomarenko P. R., Tertytskyi Ie. P., Gololobov V. V. Internships for young scientists at educational institutions in Sweden.....	161
Formatting Rules.....	168

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-01>

УДК 556.53:504.4:519.24

В. Л. БЕЗСОННИЙ, канд. техн. наук, доц.,

доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти

e-mail: bezsonnyi@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

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

Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця,

пр. Науки, 9а, м. Харків, 61166, Україна

О. В. ТРЕТЬЯКОВ, д-р техн. наук, проф.,

професор кафедри цивільної та промислової безпеки імені Героя України О.С. Чуба

e-mail: mega_ovtr@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0457-9553>

"Державний університет "Київський авіаційний інститут",

пр. Любомира Гузара 1, м. Київ, 03058, Україна

А. Н. НЕКОС, д-р географ. наук, проф.,

завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти

e-mail: nekos@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

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

Є. В. ЧІСТОВ, магістрант навчально-наукового інституту екології.,

e-mail: yehor.chistov@student.karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4703-3825>

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

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

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ Р. ДУНАЙ

Мета. Визначення динаміки кисневого режиму річки Дунай та створення моделі прогнозування кисневого режиму Дунаю на основі аналізу біохімічного споживання кисню (БСК) та процесів реаерації, що враховують багатофакторний вплив екологічних, гідрологічних та антропогенних чинників.

Методи. Статистичні, застосовано математичну модель Стрітера-Фелпса.

Результати. На підставі аналізу багаторічних даних державного моніторингу водних ресурсів р. Дунай за показниками розчиненого кисню (РК) та біохімічного споживання кисню (БСК₅) за період 2004–2023 років визначено загальне покращення кисневого режиму: всі пости спостереження демонструють стабільне зростання рівня РК, особливо після 2020 року, що може свідчити про зменшення органічного забруднення. Сезонний аналіз показав, що в холодний період рівень РК зростає, тоді як у теплий період спостерігається його зниження через підвищення біологічної активності. Модель Стрітера-Фелпса підтвердила здатність прогнозувати динаміку РК і БСК₅ з прийнятною точністю, хоча в деякі роки спостерігались розбіжності через короткострокові коливання органічного навантаження.

Висновки. Підтверджено ефективність використання моделі Стрітера-Фелпса для прогнозування кисневих показників р. Дунай. Дані прогнозу можуть бути використані для оцінки екологічного стану річки, планування заходів із покращення якості води та управління водними ресурсами. Розроблені рекомендації дозволять мінімізувати ризики кисневого дефіциту та сприятимуть збереженню екологічної рівноваги басейну р. Дунай.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: кисневий режим, Дунай, біохімічне споживання кисню, реаерація, модель Стрітера-Фелпса, моніторинг води

Як цитувати: Безсонний В. Л., Третяков О. В., Некос А. Н., Чістов Є. В. Прогнозування показників кисневого режиму р. Дунай. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 6-23. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-01>

In cites: Bezsonnyi, V. L., Tretyakov, O. V., Nekos, A. N., & Chistov, Ye. V. (2024). Prediction of oxygen regime indicators in Danube river. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (42), 6-23. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-01> (in Ukrainian)

© Безсонний В. Л., Третяков О. В., Некос А. Н., Чістов Є. В., 2024



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Вступ

Річкові екосистеми є надзвичайно важливими елементами природного середовища, адже вони забезпечують біологічне різноманіття, є джерелом прісної води, а також відіграють важливу роль у процесах самоочищення води. Однією з найбільших та найважливіших річок Європи є річка Дунай, яка протікає через декілька країн та забезпечує водними ресурсами значну частину населення, а також є основою для численних економічних та екологічних процесів. Однак інтенсивний антропогенний вплив, зокрема через промислове, сільськогосподарське та побутове забруднення, створює значне навантаження на екосистему річки. Одним із ключових аспектів, що визначає якість водного середовища та здоров'я водних екосистем, є кисневий режим річки.

Кисневий режим річкових вод є показником, що відображає процеси окислення органічних речовин, біохімічне споживання кисню водними організмами, а також процеси реаерації, коли кисень надходить у воду з атмосфери. Концентрація розчиненого кисню у воді є життєво важливим фактором для підтримки екологічної рівноваги та життєдіяльності водних організмів, адже його нестача може призвести до деградації екосистеми та загибелі біоти. З огляду на це, моніторинг та прогнозування кисневого режиму річкових вод є надзвичайно важливим завданням для забезпечення екологічної стійкості річки та її раціонального використання.

Прогнозування кисневого режиму річкових екосистем є важливим напрямком гідроекологічних досліджень, оскільки концентрація розчиненого кисню у воді значною мірою визначає стан екосистеми та рівень її забруднення. Кисень у воді використовується на окислення органічних речовин, що надходять внаслідок антропогенної діяльності та природних процесів. Інтенсивність цих процесів залежить від ряду факторів, таких як температура води, наявність біогенних речовин, швидкість течії, а також вміст органічних речовин. Через це вивчення факторів, що впливають на кисневий режим, і розробка моделей для його прогнозування є предметом досліджень багатьох вчених.

Серед існуючих моделей прогнозування кисневого режиму особливе місце займає класична модель Стрітера-Фелпса,

розроблена у 1925 році. Ця модель базується на припущенні, що розпад органічних речовин, які потребують кисню для окислення, та процеси реаерації є основними факторами, які визначають зміну концентрації кисню у воді. Модель Стрітера-Фелпса є основою багатьох сучасних підходів до оцінки якості води, оскільки вона дозволяє прогнозувати, як змінюється концентрація розчиненого кисню на певних ділянках річки залежно від умов, що створюються на вхідному пункті.

Дунай, як друга за довжиною річка в Європі, має надзвичайно важливе екологічне та економічне значення. Її кисневий режим є ключовим індикатором екологічного стану, який впливає на біорізноманіття, якість води та загальний баланс екосистеми. Прогнозування показників кисневого режиму є складним завданням, що потребує інтеграції гідрологічних, кліматичних та антропогенних чинників. У сучасній науковій літературі значна увага приділяється використанню математичних моделей, методів машинного навчання та даних дистанційного зондування для аналізу та прогнозування змін у кисневому режимі.

Кисневий режим визначається взаємодією фізико-хімічних та біологічних процесів, що впливають на рівень розчиненого кисню у воді. Головними факторами є температура води, швидкість течії, концентрація органічних речовин, фотосинтетична активність водоростей і антропогенне забруднення [1].

Значний внесок у вивчення кисневого режиму зробили класичні роботи, присвячені моделюванню розчиненого кисню, зокрема рівняння Стрітера-Фелпса [2], яке враховує процеси споживання кисню під час окислення органічних речовин та його поповнення внаслідок реаерації.

Сучасні дослідження наголошують на важливості врахування змін клімату, зокрема підвищення температури, яке впливає на здатність води утримувати кисень [3]. Також звертається увага на підвищення евтрофікації, спричиненої надходженням фосфору та азоту зі стічних вод [4].

Прогнозування показників кисневого режиму базується на використанні моделей різного рівня складності. Традиційні математичні моделі (напр., QUAL2K) дозволяють моделювати просторово-часовий

розподіл кисню у воді, враховуючи фізико-хімічні параметри [5]. Однак їх застосування потребує значних обсягів даних та точного калібрування. Останнім часом набули популярності підходи, що використовують нейронні мережі, метод опорних векторів (SVM) та ансамблеві методи для прогнозування кисневого режиму на основі великих обсягів даних (Big Data) [6]. Такі методи дозволяють виявляти нелінійні залежності між змінними. Технології супутникового моніторингу надають великі масиви даних щодо температури поверхні води, концентрації хлорофілу та інших змінних, що використовуються у моделюванні [7]. Наприклад, модель MIKE 11 успішно застосовується для прогнозування якісних показників води, включно з кисневим режимом, враховуючи динаміку водного потоку [8].

Річка Дунай проходить через 10 країн і має складну екологічну структуру, що ускладнює прогнозування кисневого режиму. Згідно з дослідженнями, кисневий баланс у річці залежить від багатьох факторів. У літній період спостерігається зниження кисню через підвищення температури [9]. Промислові та сільськогосподарські стоки значно змінюють якісні характеристики води [10]. Регуляція водного потоку за допомогою дамб та каналів впливає на швидкість реаерації [11]. Сучасні моделі прогнозування для р. Дунай, такі як SWAT (Soil and Water Assessment Tool) та моделі, що інтегрують дані дистанційного зондування, показують високу ефективність у виявленні довгострокових тенденцій [12].

Річка Дунай, друга за довжиною в Європі, відіграє ключову роль у водних екосистемах та економіці багатьох країн. Моніторинг та прогнозування кисневого режиму цієї річки є критично важливими для забезпечення екологічної стабільності та якості водних ресурсів. Прогнозування кисневого режиму річки Дунай базується на комплексному аналізі гідрологічних, хімічних та біологічних параметрів. Сучасні дослідження використовують геоінформаційні технології для моделювання та прогнозування якості води. Зокрема, Васенко та ін. застосували метод Хольта для короткострокового прогнозування змін якості води, включаючи показники розчиненого кисню, у дельті Дунаю [13]. Антропогенне навантаження, зокрема скиди стічних вод та промислова діяльність, суттєво впливають на кисневий режим річки.

Спільні Дунайські Дослідження 4 (JDS4) виявили наявність понад 580 забруднюючих речовин у водах Дунаю, що може призводити до зниження рівня розчиненого кисню та погіршення екологічного стану [14]. Міжнародна комісія із захисту річки Дунай (ICPDR) координує зусилля з моніторингу та управління водними ресурсами басейну Дунаю. Реалізація Спільного Плану управління річковим басейном Дунаю спрямована на досягнення "доброго" екологічного стану вод, включаючи оптимізацію кисневого режиму [15]. Незважаючи на значні зусилля, прогнозування кисневого режиму річки Дунай стикається з викликами, пов'язаними з комплексністю екосистеми та впливом змін клімату. Подальші дослідження необхідні для вдосконалення моделей прогнозування та розробки ефективних заходів з управління якістю води.

Вплив гідрологічних процесів на кисневий режим річки Дунай є предметом численних досліджень. Варіації рівня води, швидкості течії та температури води безпосередньо впливають на кількість розчиненого кисню (РК) [16]. У роботі [17] показано, що сезонні зміни стоку та термічний режим річки спричиняють циклічні коливання РК, зокрема у літні місяці, коли високі температури та низька швидкість течії зменшують його рівень. Крім того, глобальні зміни клімату сприяють підвищенню частоти екстремальних явищ, таких як повені та посухи.

Водна біота, зокрема фітопланктон та макрофіти, відіграє ключову роль у регуляції кисневого режиму річок. Фотосинтетична діяльність водних рослин сприяє збагаченню води киснем, тоді як процеси дихання та розкладання органічної речовини можуть призводити до його дефіциту. Наприклад, у дослідженні [18] показано, що в літній період у дельті Дунаю спостерігаються значні добові коливання РК через активну фотосинтетичну діяльність фітопланктону вдень та посилене дихання вночі. Збільшення евтрофікації є ще одним важливим чинником. Внаслідок антропогенного впливу, такого як скиди сільськогосподарських стоків, річка отримує надлишкові поживні речовини, що спричиняє "цвітіння води". Це явище супроводжується збільшенням кількості органічної речовини, яка під час розкладання призводить до зниження рівня кисню у воді.

У роботі [19] пропонується новий метод оцінки екологічного стану річок, в тому числі і за кисневими показниками,

заснований на концепції ентропії, яка використовується для кількісної оцінки ступеня невизначеності або хаосу в екосистемі. Висока ентропія може свідчити про деградацію екосистеми, тоді як низька — про стабільність та впорядкованість. Автори розробили алгоритм, який дозволяє визначити ентропію системи та, відповідно, її екологічний стан.

Автори [20] досліджують методи оцінки екологічного стану водних об'єктів, базуючись на використанні кисневих показників. Основною метою є обґрунтування доцільності застосування біохімічного споживання кисню і розчиненого кисню як інтегральних індикаторів екологічного стану поверхневих вод.

Огляд літератури свідчить, що дослідження кисневого режиму річки Дунай є багатогранною і надзвичайно важливою сферою, яка потребує міждисциплінарного підходу. Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю розробки ефективних методів прогнозування кисневого режиму річки Дунай з метою оцінити можливі зміни

у якості води та спрогнозувати реакцію водної екосистеми на різні фактори впливу. Прогнозування кисневого режиму є також важливим для запобігання можливим екологічним кризам, зокрема через потенційні періоди дефіциту кисню, які можуть виникати внаслідок надходження органічних забруднень або зміни кліматичних умов. Таким чином, ця робота спрямована на вирішення актуальної наукової та практичної проблеми, пов'язаної з прогнозуванням кисневого режиму річки Дунай. Результати дослідження можуть бути використані екологічними та водогосподарськими установами для покращення моніторингу стану водних ресурсів та управління ними.

Мета дослідження – визначення динаміки кисневого режиму річки Дунай та створення моделі прогнозування кисневого режиму річки Дунай на основі аналізу біохімічного споживання кисню (БСК) та процесів реаерації води, що враховують багатофакторний вплив екологічних, гідрологічних та антропогенних чинників.

Об'єкти та методи дослідження

Вихідними даними для дослідження є частина набору даних державного моніторингу поверхневих вод, що містить первинну інформацію (дані спостережень) державного моніторингу поверхневих вод для р. Дунай в межах України. Держводагентство проводить державний моніторинг вод відповідно до Порядку здійснення державного моніторингу вод, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 № 758, яким визначено перелік пунктів моніторингу, відповідальних виконавців, показники та періодичність вимірювань.

Для дослідження використано дані багаторічних спостережень чотирьох моніторингових постів (рис. 1):

1) Post_ID 27269, р. Дунай, 163 км, м. Рені, кордон з Румунією, координати 45.467233; 28.229450

2) Post_ID 27270, р. Дунай, 94 км, м. Ізмаїл, питний водозабір міста, координати 45.338508; 28.814842

3) Post_ID 27271, р. Дунай, 48 км, м. Кілія, питний в/з, координати 45.435156; 29.264058

4) Post_ID 27272, р. Дунай, 20 км, м. Вилкове, питний в/з, координати 45.401556; 29.571814

Дані представлені в розрізі постів моніторингу й дат відбору проб. Для оцінки тенденцій зміни кисневих показників, а саме БСК₅ та розчиненого кисню (РК) стану аналізувалися дані багаторічних спостережень з 2004 по 2023 рр. В таблиці 1 представлені вихідні дані, отримані шляхом усереднення за роками інформації з набору даних, що оприлюднюються Державним агентством водних ресурсів України.

Для прогнозування динаміки кисневих показників застосовано модель Стрітера-Фелпса, яка є класичною гідрохімічною моделлю, що описує процеси самоочищення водних об'єктів (річок, озер) внаслідок розпаду органічних речовин і насичення води киснем. Вона використовується для оцінки якості води та впливу забруднень на водойми. Основні процеси, які описує ця модель, включають:

– Розпад органічних речовин (біохімічне споживання кисню) – в річку потрапляють органічні речовини (відходи), які використовуються мікроорганізмами для їхнього метаболізму. У процесі цього метаболізму мікроорганізми споживають кисень; БСК визначає кількість кисню, необхідного для повного окислення

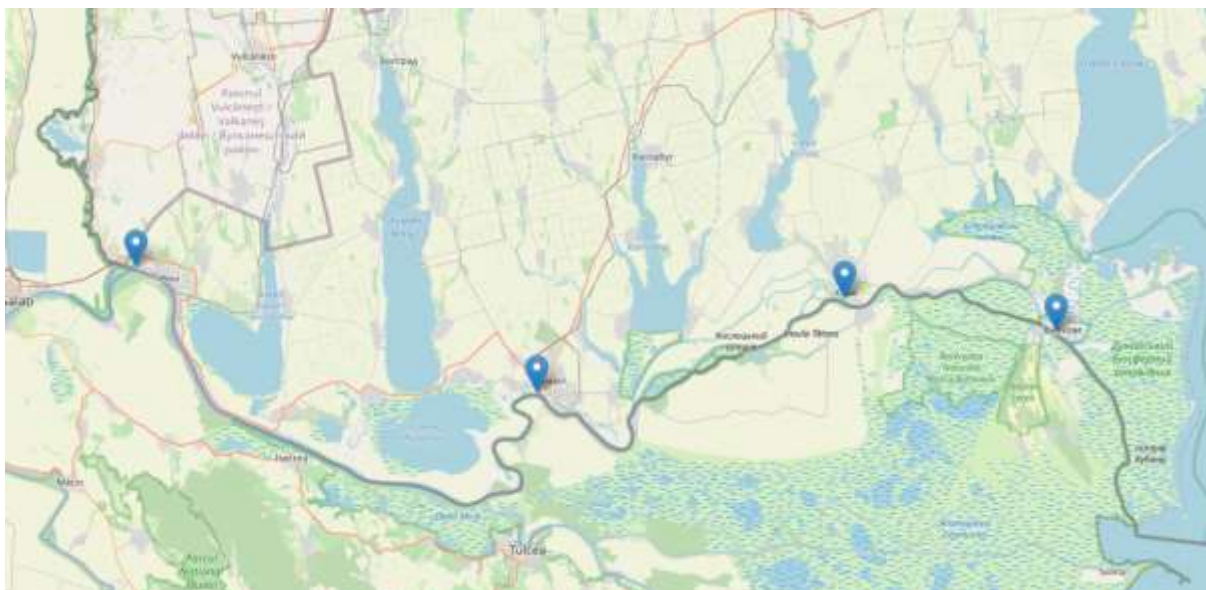


Рис. 1 – Схема розташування постів контролю якості води. (Карта: QGIS, OpenStreetMap)

Fig. 1 – Location of water quality monitoring stations. (Map: QGIS, OpenStreetMap)

Таблиця 1

Середньорічні значення БСК₅ та розчиненого кисню за пунктами моніторингу

Table 1

Annual average values of BOD₅ and dissolved oxygen by monitoring points

Пост моніторингу	п.1 Рені		п.2 Ізмаїл		п.3 Кілія		п. 4 Вилкове	
Роки	БСК ₅	РК	БСК ₅	РК	БСК ₅	РК	БСК ₅	РК
2004	2,38	8,53	2,23	8,08	4,90	7,30	4,18	8,45
2005	3,00	6,69	1,83	7,01	3,80	7,55	1,70	7,80
2006	3,66	8,19	2,17	7,12	4,60	7,50	2,34	8,34
2007	2,63	7,11	2,86	7,27	3,09	6,47	2,47	7,00
2008	2,64	7,20	2,46	8,58	3,35	7,33	2,90	7,30
2009	3,23	8,60	3,31	8,09	4,55	7,30	3,34	8,41
2010	3,20	7,47	2,60	7,44	1,85	6,50	3,02	7,47
2011	2,96	8,73	3,90	8,34	2,60	8,35	2,39	8,34
2012	2,14	8,44	3,00	8,31	2,20	7,97	2,23	8,20
2013	3,15	8,39	2,70	7,82	1,93	8,53	1,37	8,24
2014	0,82	6,50	1,50	7,48	2,33	7,62	0,95	7,75
2015	1,40	8,44	2,43	8,34	1,23	8,73	1,09	8,16
2016	2,07	8,54	3,20	8,34	2,40	8,50	1,56	8,59
2017	2,66	8,36	3,09	8,57	1,25	8,05	1,73	9,10
2018	2,73	8,09	3,86	8,20	1,62	8,18	1,61	7,24
2019	3,05	7,47	2,60	7,67	2,07	7,90	1,55	7,67
2020	2,49	9,59	2,22	9,76	2,60	8,51	2,33	8,50
2021	1,79	9,57	2,48	9,88	2,26	9,54	2,31	9,69
2022	2,53	9,96	2,41	10,05	2,40	10,16	2,43	10,26
2023	2,78	9,43	2,46	10,15	2,64	9,44	2,60	9,56
Середнє	2,56	8,27	2,66	8,33	2,68	8,07	2,20	8,30

органічних речовин, що містяться у воді. БСК зменшується з часом у міру розкладання органіки.

- Насичення води розчиненим киснем (РК) – одночасно з процесом розпаду органіки відбувається процес відновлення кисню у воді. Кисень дифундує з атмосфери у воду, компенсуючи його втрати через метаболізм мікроорганізмів; швидкість цього процесу залежить від характеристик водного об'єкта (температури, турбулентності) і концентрації розчиненого кисню.

Математично модель описує ці два процеси за допомогою системи диференціальних рівнянь. Основні рівняння моделі мають вигляд:

1. Зміна БСК з часом:

$$\frac{dL}{dt} = -k_d * L$$

де: L — концентрація БСК у воді;

k_d — коефіцієнт розпаду органіки.

2. Зміна розчиненого кисню з часом:

$$\frac{dD}{dt} = k_d * L - k_a * D$$

де: D — дефіцит кисню (різниця між насиченою концентрацією кисню та фактичною);

k_a — коефіцієнт насичення киснем (реаерації).

У результаті цих процесів концентрація розчиненого кисню у воді спочатку знижується через розпад органіки, а потім поступово відновлюється завдяки дифузії кисню з атмосфери. Модель дозволяє розрахувати, як змінюється концентрація кисню та органічних речовин на певній відстані вниз за течією від джерела забруднення, що є корисним для оцінки екологічного стану річок. Основна суть моделі Стрітера-Фелпса — це баланс між розпадом органічних речовин, які споживають кисень, та відновленням кисню у воді через його дифузії з атмосфери, що дозволяє оцінювати, як змінюється якість води у процесі природного самоочищення. Для розрахунку за моделлю Стрітера-Фелпса потрібно вирішити диференціальні рівняння, що описують зміни біохімічного споживання кисню (БСК) та дефіциту кисню (D) вздовж річки.

Основні змінні та параметри:

1) L_0 — початкова концентрація органічних речовин (БПК) у пункті скиду, мг/л.

2) D_0 — початковий дефіцит кисню у пункті скиду, мг/л.

3) k_d — коефіцієнт розпаду органічних речовин, 1/день.

4) k_a — коефіцієнт реаерації (насичення киснем), 1/день.

5) t — час, що відповідає певній відстані вниз за течією, дні.

6) v — швидкість течії води, км/день.

7) C_s — концентрація розчиненого кисню в насиченому стані, мг/л (зазвичай близько 8-10 мг/л залежно від температури).

Модель Стрітера-Фелпса використовує два основні рівняння:

1. Розпад органічних речовин (БСК):

$$L(t) = L_0 * e^{-k_d * t}$$

де $L(t)$ — концентрація органічних речовин (БСК) через час (t).

2. Дефіцит кисню:

$$D(t) = \frac{(k_d * L_0)}{(k_a - k_d)} * (e^{-k_d * t} - e^{-k_a * t}) + D_0 * e^{-k_a * t}$$

де: $D(t)$ — дефіцит кисню через час (t).

Перший член відображає внесок розпаду органіки у дефіцит кисню, а другий — зменшення початкового дефіциту через реаерацію.

Оскільки в розрахунках часто цікава відстань, на якій змінюється дефіцит кисню, зв'язок між часом (t) і відстанню (x) встановлюється через швидкість течії:

$$t = x/v$$

де: x — відстань від точки скиду, км;

v — швидкість течії води, км/день.

Концентрацію розчиненого кисню $C(t)$ можна знайти через дефіцит кисню $D(t)$:

$$C(t) = C_s - D(t)$$

де: $C(t)$ — концентрація розчиненого кисню через час (t).

C_s — концентрація кисню в насиченому стані.

Результати та обговорення

Річка Дунай є другою за довжиною річкою Європи після Волги, простягаючись на 2857 км від витоків у Німеччині до гирла в Чорному морі. Бере початок у Шварцвальді

(Чорний ліс), де утворюється від злиття річок Бригах і Брег. Протікаючи через 10 країн, включаючи Німеччину, Австрію, Словаччину, Угорщину, Хорватію, Сербію, Румунію,

Болгарію, Молдову та Україну, річка охоплює численні природні та антропогенні ландшафти. Загальна площа басейну становить близько 817 000 км². Дунай відіграє ключову роль як важлива транспортна артерія, джерело водопостачання, зона рибальства, а також як регіон з унікальною біорізноманітністю. Басейн річки включає різноманітні екосистеми – від лісових та степових масивів до заболочених і заплавлених територій, які забезпечують проживання численних видів флори та фауни, багато з яких є рідкісними або зникаючими. Гідрологічний режим Дунаю характеризується значною сезонною мінливістю, з весняними повеннями, що обумовлені таненням снігу в Альпах, Карпатах та інших гірських регіонах. Влітку рівень води у Дунаї підтримується переважно за рахунок дощових опадів, тоді як восени і взимку рівень води знижується, що впливає на концентрацію розчиненого кисню, особливо у низов'ях. Поблизу гирла Дунаю розташований великий дельтовий регіон, який є важливою екологічною зоною. Дельта займає площу близько 4 152 км² і характеризується високою продуктивністю, багатим біорізноманіттям і значною екологічною цінністю. Завдяки природним процесам очищення, дельта допомагає зберігати якість води в Чорному морі, проте піддається загрозам через антропогенний вплив.

Клімат басейну р. Дунай варіюється від помірно морського на заході до континентального на сході. Ця різноманітність впливає на режим опадів, температуру та гідрологічний баланс річки. Західна частина басейну зазвичай має вологий клімат з частими дощами, тоді як східна частина (зокрема нижня течія) відзначається меншою кількістю опадів і помірними температурними коливаннями. Сезонна зміна кліматичних умов спричиняє коливання рівня води та концентрації розчиненого кисню, що є одним з основних показників екологічного стану річки.

Річка Дунай, через високий рівень антропогенного впливу, піддається різноманітним екологічним загрозам, зокрема забрудненню промисловими, сільськогосподарськими та побутовими відходами. Промислові стоки, які містять токсичні метали, нафтопродукти та інші шкідливі речовини, що негативно впливають на біорізноманіття і здоров'я водних екосистем. Використання добрив та пестицидів призводить до евтрофікації, що сприяє розвитку водоростей і зниженню рівня кисню, особливо в застійних ділянках річки. Каналізаційні стоки – навіть після очищення, залишкові домішки потрапляють у

річку, погіршуючи її якість. Через високий рівень забруднення в нижній течії Дунаю спостерігаються проблеми з якістю води, що негативно позначається на кисневому режимі та потребує впровадження моніторингових та регуляторних заходів. Басейн річки Дунай є середовищем існування для численних видів риб, водоплавних птахів, земноводних та багатьох інших видів. Серед унікальних видів – осетрові, які потребують специфічних умов кисневого режиму та якості води. Значну роль у збереженні природного стану басейну відіграють природоохоронні території, такі як Дунайський біосферний заповідник в Україні та інші резервати, розташовані вздовж течії. Проте, вплив антропогенних факторів, змін клімату та регулювання русла річки негативно впливають на збереження біорізноманіття.

Аналіз динаміки показників біологічного споживання кисню (БСК₅) та розчиненого кисню (РК) у воді річки Дунай за період з 2004 до 2023 року демонструє загальну тенденцію до покращення якості води. Результати вимірювань, проведені у чотирьох точках відбору проб — Рені, Ізмаїл, Кілія та Вилкове, показують стабільність та позитивну динаміку у рівнях кисню та БСК₅, що свідчить про зменшення органічного забруднення води.

Рівень кисню (РК) у всіх точках спостереження демонструє загальну тенденцію до зростання. Особливо виражене підвищення спостерігається з 2020 року, після якого рівень кисню залишається стабільно високим або навіть продовжує зростати. Наприклад, у точках Ізмаїл і Вилкове кисневі показники досягли пікових значень у 2022-2023 роках, перевищуючи позначку 10 мг/л, що може вказувати на покращення якості води або зменшення органічного забруднення в цих районах.

З іншого боку, показник БСК₅ залишається відносно стабільним протягом усього періоду спостереження, з незначною тенденцією до зниження. БСК₅ — це показник, що відображає кількість кисню, необхідну для біохімічного окислення органічних речовин у воді. Таким чином, зниження рівня БСК₅ свідчить про зменшення кількості органічних забруднень у воді, оскільки менше кисню споживається на процеси розкладання.

Детальний аналіз кожного пункту відбору проб дозволяє помітити специфічні особливості динаміки показників у різних частинах річки Дунай. У пункті Рені, що знаходиться на кордоні з Румунією, рівень кисню

залишався стабільно високим протягом усього періоду, з деяким підвищенням після 2020 року. Показники БСК₅ тут стабілізувалися на низькому рівні, що може свідчити про мінімальне органічне забруднення в цьому регіоні (рис. 2).

У пункті Ізмаїл (рис.3), де розташований питний водозабір міста, рівень кисню також зріс після 2020 року і досяг пікових значень у 2022-2023 роках. Показник БСК₅ демонструє незначні коливання, залишаю-

чись на відносно низькому рівні, що також вказує на низький рівень органічного забруднення у цій ділянці річки. У пункті Кілія (рис.4), що розташована на 48 км від гирла, рівень кисню протягом усього періоду залишався стабільним, однак після 2020 року спостерігається зростання. Значення БСК₅ тут було високим на початку періоду, проте з часом знизилося і стабілізувалося, що свідчить про зменшення органічного забруднення.

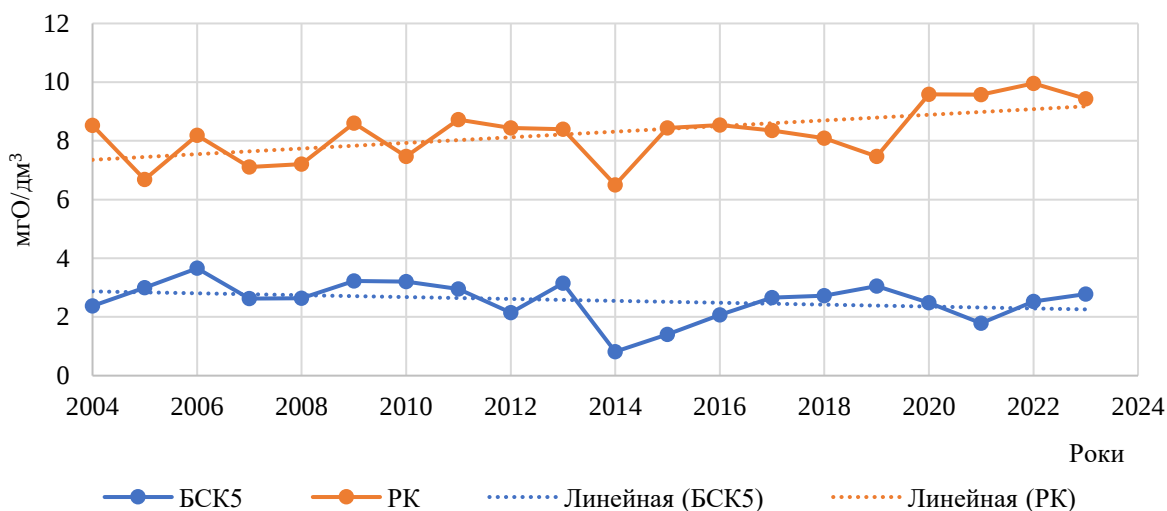


Рис. 2 – Динаміка та лінії тренду показників БСК₅ і розчиненого кисню для п.1 Рені

Fig. 2 – Dynamics and trend lines of BOD5 and dissolved oxygen for p. 1 Reni

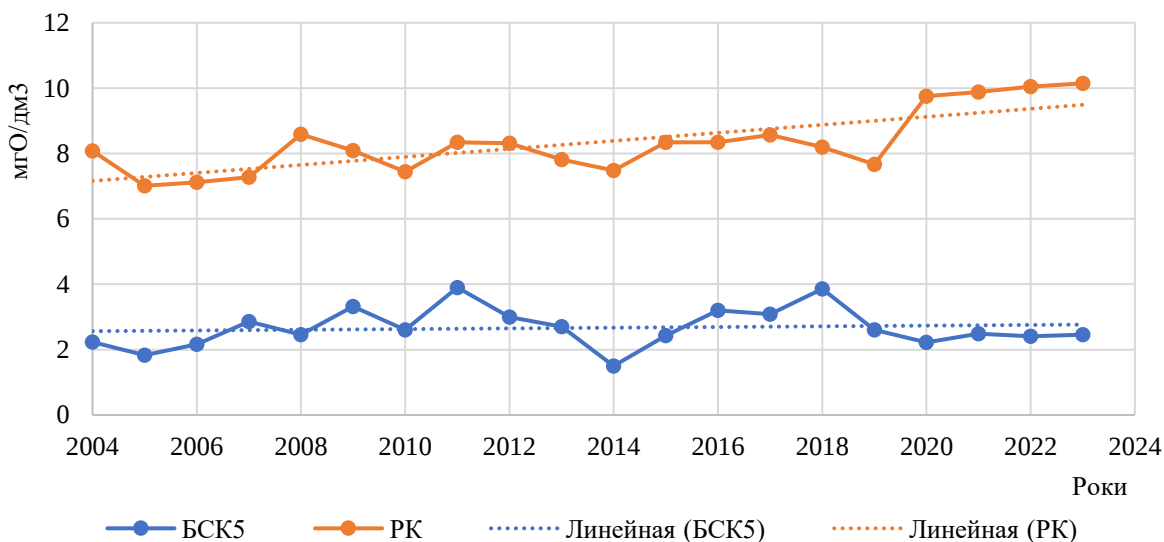


Рис. 3 – Динаміка та лінії тренду показників БСК₅ і розчиненого кисню для п.2 Ізмаїл

Fig. 3 – Dynamics and trend lines of BOD5 and dissolved oxygen indicators for p. 2 Izmail

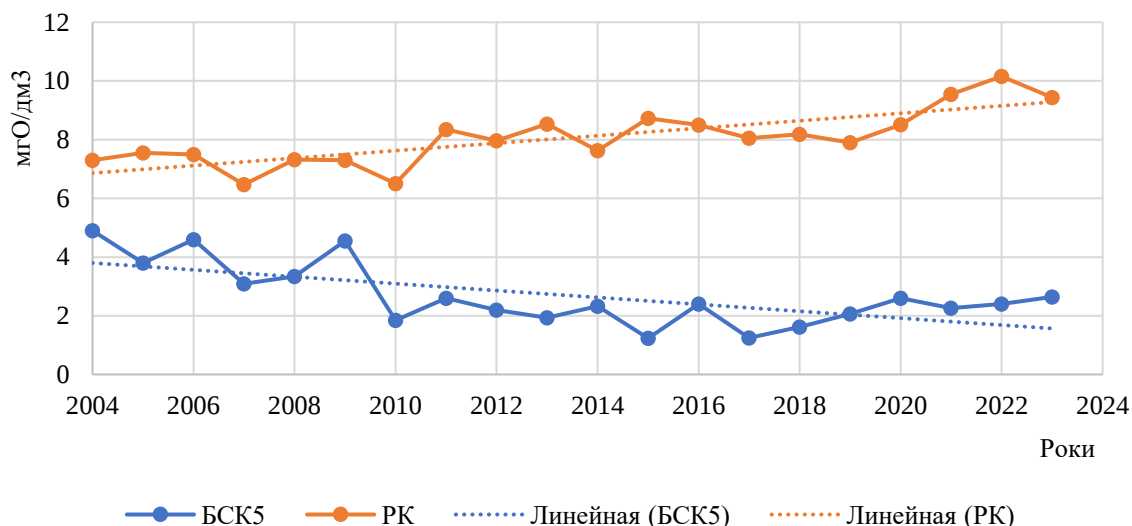


Рис. 4 – Динаміка та лінії тренду показників БСК₅ і розчиненого кисню для п.3 Кілія

Fig. 4 – Dynamics and trend lines of BOD₅ and dissolved oxygen indicators for p. 3 Kiliya

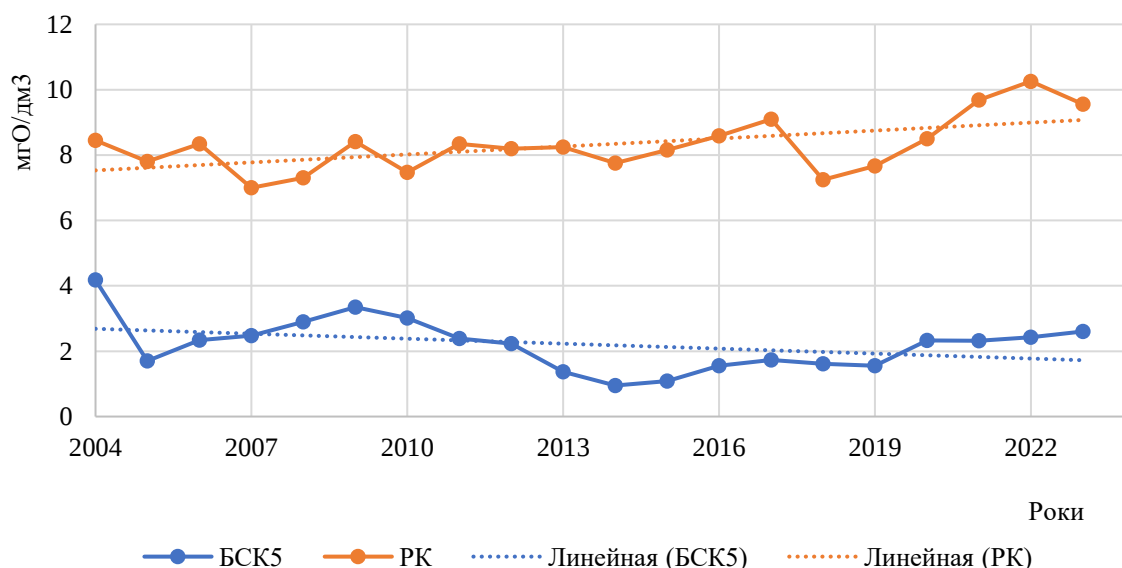


Рис. 5 – Динаміка та лінії тренду показників БСК₅ і розчиненого кисню для п. 4 Вилкове

Fig. 5 – Dynamics and trend lines of BOD₅ and dissolved oxygen indicators for p. 4 Vylkove

Пункт Вилкове (рис.5), що знаходиться на 20 км від гирла річки, також демонструє значне зростання рівня кисню з 2020 року, досягаючи пікових значень у 2022 році. Показники БСК₅ тут залишаються на низькому рівні, що свідчить про низький рівень органічного забруднення у цій частині річки Дунай.

Таким чином, динаміка показників БСК₅ та кисню у воді річки Дунай за період з 2004 до 2023 року свідчить про поступове покращення якості води. Підвищення концентрації кисню та стабілізація БСК₅ на

низькому рівні можуть вказувати на зменшення органічного забруднення, що позитивно впливає на екосистему річки та її здатність до самоочищення.

Зміни температури впливають на концентрацію кисню та рівень БСК₅. У холодний сезон (зимово-весняний період) нижча температура сприяє вищій розчинності кисню у воді та знижує біологічну активність мікроорганізмів, що зменшує споживання кисню для розкладання органічних речовин. У теплий сезон (літній період) вища температура стимулює біологічні процеси,

збільшує потребу в кисні та знижує його розчинність, що підвищує показник БСК₅ і знижує рівень кисню.

Тому проведений аналіз спостережень за теплим (квітень-жовтень) та холодним (листопад – березень) сезонами. Аналіз сезонних змін показників БСК₅ та РК у воді річки Дунай на основі даних для холодного і теплого сезонів демонструє помітні тенденції, що дозволяють зробити висновки про динаміку якості води в різні пори року.

У холодний сезон (зимовий період) значення кисню є значно вищими порівняно з теплим сезоном. Середні значення кисню у всіх пунктах перевищують 10 мг/л у холодний період, що може бути зумовлено зниженням біологічної активності та меншою швидкістю розкладання органічних речовин при нижчих температурах. Наприклад, у пунктах Рені та Ізмаїл (рис.6 та рис.7) середній показник РК у холодний сезон становить 11,02 та 10,69 мг/л відповідно, тоді як у теплий сезон ці значення знижуються до 8,27 та

8,22 мг/л. Зниження показника кисню в теплий сезон може бути пов'язане з активнішим споживанням кисню мікроорганізмами в процесі розкладання органічних речовин, яке прискорюється за підвищення температури.

Значення БСК₅ також змінюються залежно від сезону, хоча ця динаміка менш виражена порівняно з киснем. У теплий сезон середні показники БСК₅ є дещо вищими в усіх пунктах, що вказує на більшу біологічну активність, яка потребує більше кисню для окиснення органічних забруднень. Наприклад, середній показник БСК₅ у пункті Рені становить 2,81 мг/л у холодний сезон та 2,56 мг/л у теплий сезон, що свідчить про помірне зростання біологічного навантаження в теплу пору року. У пункті Ізмаїл це співвідношення ще більш помітне — 2,53 мг/л у холодний сезон та 2,71 мг/л у теплий.

Пункт Рені – в обох сезонах спостерігається стабільно високий рівень кисню (рис. 6). У холодний сезон він перевищує 11 мг/л,

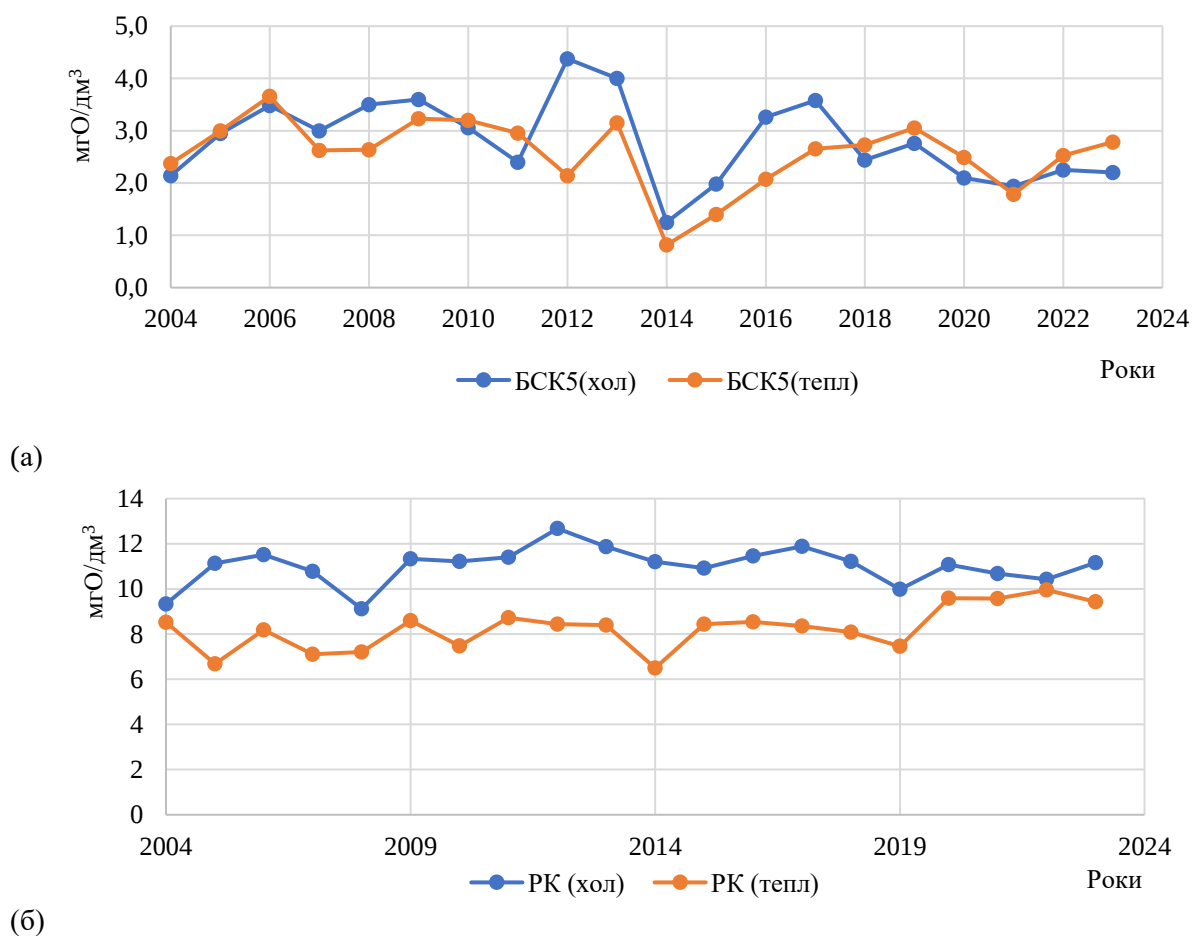


Рис. 6 – Динаміка у холодний і теплий сезону показників БСК₅ (а) і розчиненого кисню (б) для п. 1 Рені

Fig. 6 – Dynamics in the cold and warm seasons of BOD₅ (a) and dissolved oxygen (b) for p. 1 Reni

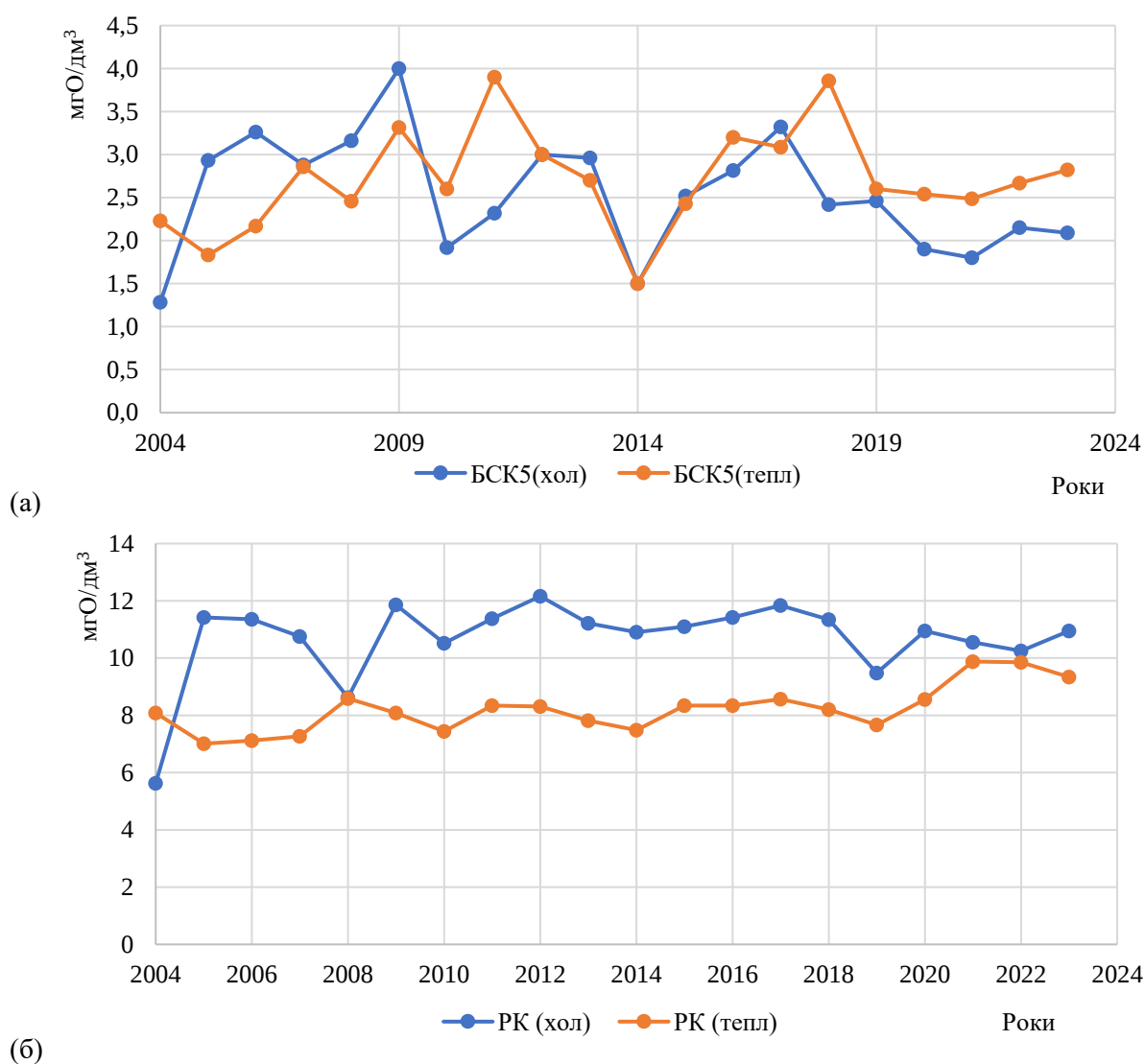


Рис. 7 – Динаміка у холодний і теплий сезону показників БСК₅ (а) і розчиненого кисню (б) для п. 2 Ізмаїл

Fig. 7 – Dynamics in the cold and warm seasons of BOD₅ (a) and dissolved oxygen (b) for p. 2 Izmail

тоді як у теплий сезон знижується, залишаючись на середньому рівні близько 8,27 мг/л. Показник БСК₅ дещо вищий у холодний період, що може бути наслідком зниження біологічної активності через нижчі температури.

Пункт Ізмаїл (рис.7) – значення кисню також є значно вищими у холодний сезон (середній показник 10,69 мг/л) порівняно з теплим (8,22 мг/л). БСК₅ у теплий період дещо підвищений (2,71 мг/л проти 2,53 мг/л у холодний), що свідчить про активніше споживання кисню на розкладання органіки в теплий період.

У пункті Кілія (рис. 8) в теплий період спостерігається відносно високий рівень БСК₅ (2,68 мг/л), що може вказувати на

підвищену біологічну активність у теплу пору року. Рівень кисню тут також знижується в теплий сезон (середній показник 8,07 мг/л проти 11,02 мг/л у холодний), що відповідає закономірностям активного розкладання органічних речовин.

Пункт Вилкове (рис.9.) – значення кисню залишається високим у холодний сезон (10,77 мг/л) та знижується до 8,30 мг/л у теплий сезон, що є типовим для цієї пунктки. БСК₅ у теплий період дещо нижчий (2,20 мг/л), однак різниця між сезонами тут є менш вираженою.

Дані демонструють, що у холодний сезон рівень кисню в усіх пунктках значно вищий, що пояснюється зменшенням біологічної активності та, відповідно, меншою потребою

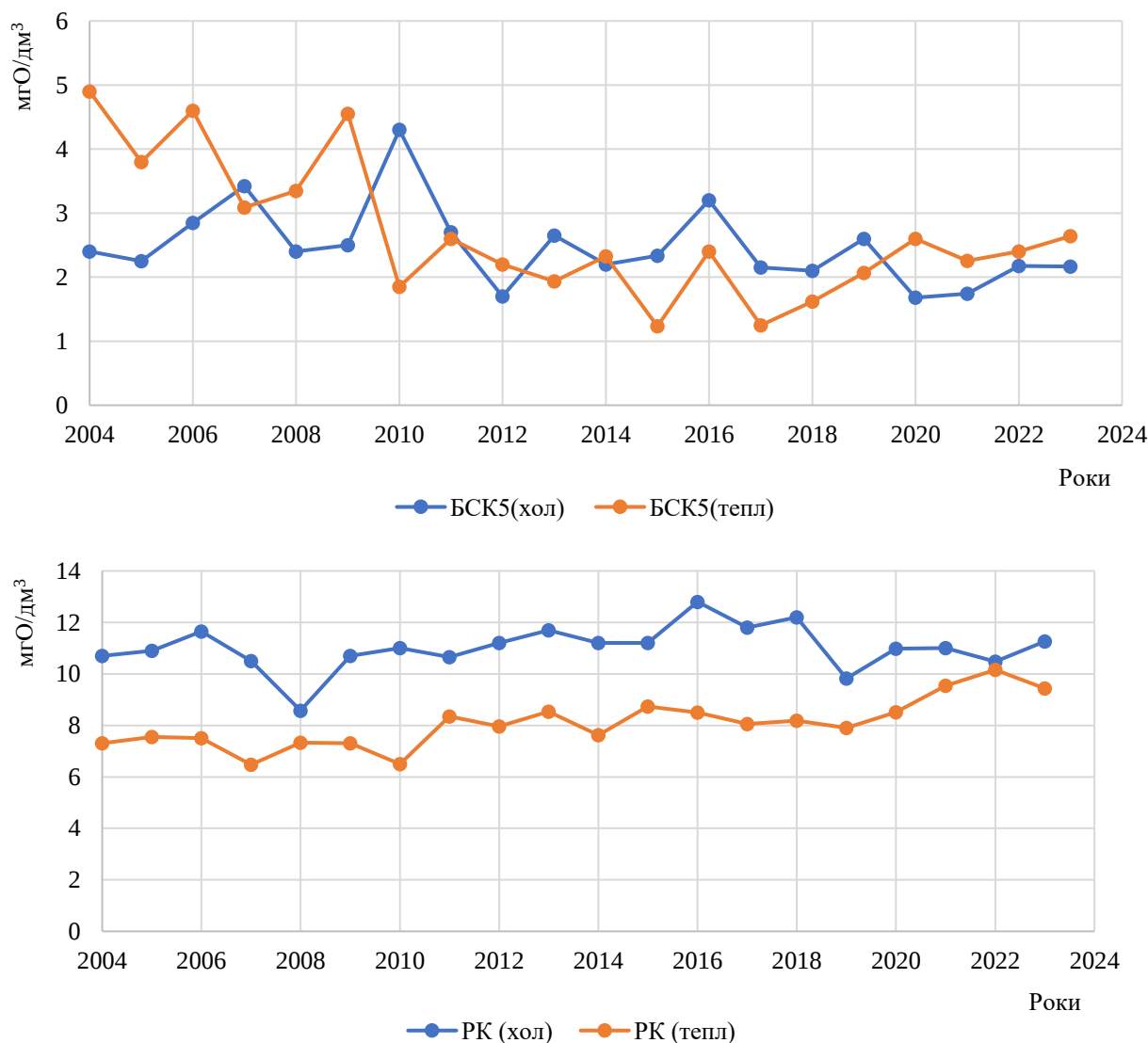


Рис. 8 – Динаміка у холодний і теплий сезону показників БСК₅ (а) і розчиненого кисню (б) для п. 3 Кілія

Fig. 8 – Dynamics in the cold and warm seasons of BOD₅ (a) and dissolved oxygen (b) for p. 3 Kiliya

у кисні для окиснення органічних речовин. У теплий сезон відбувається зниження концентрації кисню та деяке підвищення показника БСК₅, що є результатом посиленої біологічної активності при підвищенні температури води. Це свідчить про те, що екосистема річки Дунай зазнає сезонних змін у біологічному навантаженні та здатності до самоочищення, що є важливим аспектом для моніторингу якості води та планування заходів з покращення стану річки.

При застосуванні моделі Стрітера-Фелпса були розраховані коефіцієнти k_d та k_a на основі значень концентрації БСК і кисню. В якості початкових значень були прийняті концентрації БСК₅ та розчиненого кисню для пункту м. Рені, в результаті

розрахунку отримано значення для коефіцієнтів для трьох ділянок р. Дунай: Рені – Ізмаїл, Ізмаїл – Кілія, Кілія – Вилкове. Як початковий пункт для вихідних значень, «нульових» значень є п.1 Рені (табл. 2).

На рис. 10 – 12 подано розраховані на основі прогнозової моделі Стрітера-Фелпса значення для БСК₅ та розчиненого кисню за пунктами спостережень, що йдуть після Рені – Ізмаїл, Кілія, Вилкове.

Для п.2 Ізмаїл (рис. 10) показано, що прогнозні значення БСК₅ та РК (позначені пунктирними лініями) здебільшого слідує за фактичними даними, проте спостерігаються певні розбіжності у різні роки, зокрема, у період з 2004 по 2010 роки модель досить точно відображає зміну рівнів БСК₅, однак у деякі роки прогнозовані значення трохи

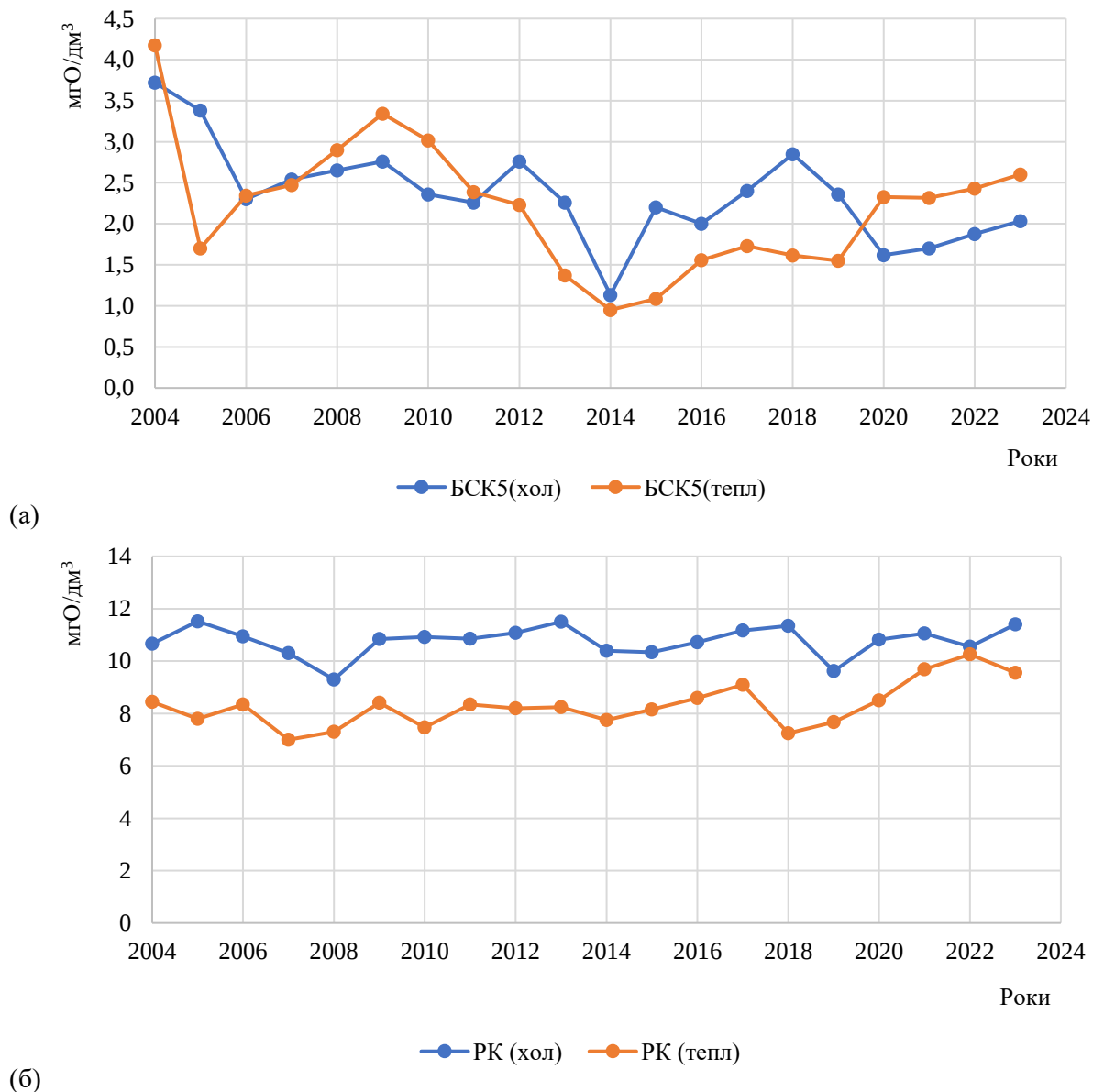


Рис. 9 – Динаміка у холодний і теплий сезону показників БСК₅ (а) і розчиненого кисню (б) для п. 4 Вилкове

Fig. 9 – Dynamics in the cold and warm seasons of BOD₅ (a) and dissolved oxygen (b) for p. 4 Vylkove

Розраховані коефіцієнти k_d аерації та реаерації k_a

Таблиця 2

Calculated coefficients of aeration k_d and reaeration k_a

Table 2

Ділянка водотоку	Відстань	k_d	k_a
Рені – Ізмаїл	48,01	-0,048271712	-0,071922868
Ізмаїл – Кілія	36,78	-0,01231745	-0,581070682
Кілія – Вилкове	24,38	0,489593871	2,184982103

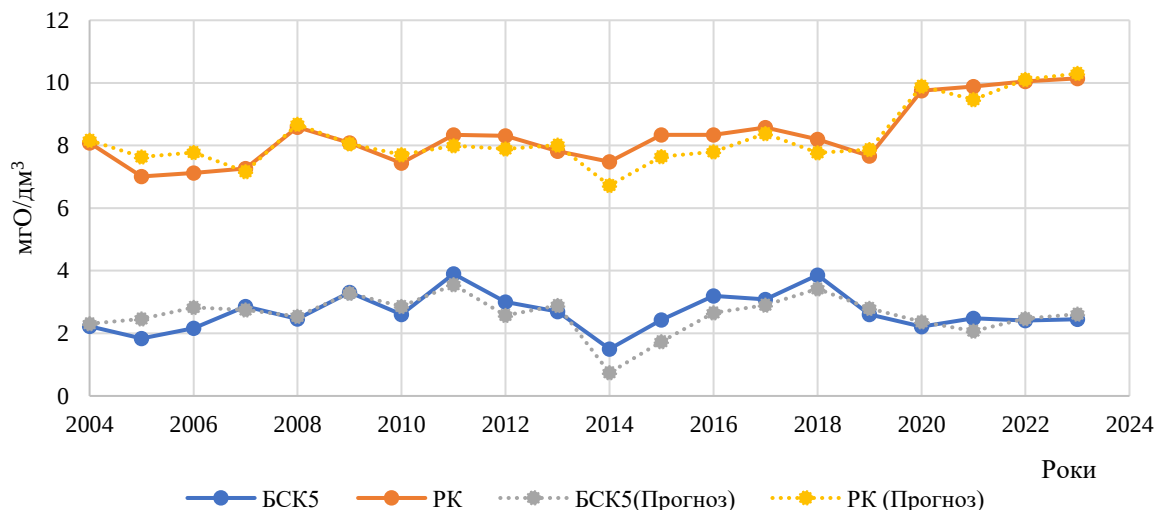


Рис. 10 – Прогнозні значення показників БСК₅ і розчиненого кисню для п. 2 Ізмаїл
Fig. 10 – Predicted values of BOD₅ and dissolved oxygen for p. 2 Izmail

вище за фактичне. Це може свідчити про недосконале врахування швидкості розкладання органіки в моделі. Для показників розчиненого кисню модель також показує прийнятний рівень відповідності фактичним значенням, хоча після 2020 року прогнозний рівень кисню трохи занижений порівняно з фактичним, що може свідчити про підвищення реальної швидкості реаерації або зниження забруднення в цей період.

У пункті Кілія (рис.11) спостерігається схожа тенденція, прогнозні значення

БСК₅ здебільшого відповідають фактичним, хоча у деякі роки (наприклад, 2015-2017) спостерігаються відчутні розбіжності, що може бути пов'язано з короткостроковими змінами в органічному навантаженні, які модель не враховує. Прогноз кисню також наближається до фактичних значень, хоча у деякі періоди (особливо у 2018-2020 роках) модель недооцінює фактичний рівень кисню, що може бути пов'язано з особливостями гідродинаміки річки на цьому відрізку.

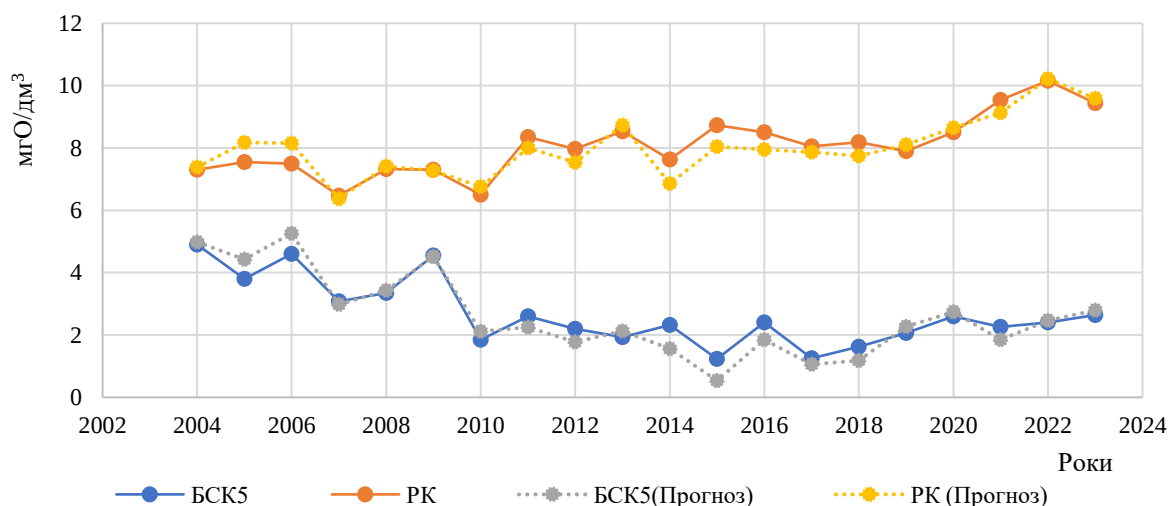


Рис. 11 – Прогнозні значення показників БСК₅ і розчиненого кисню для п. 3 Кілія
Fig. 11 – Predicted values of BOD₅ and dissolved oxygen for p. 3 Kiliya

Для пункту Вилкове (рис.12) прогнозна модель також показує загалом прийнятну відповідність фактичним даним, проте розбіжності в прогнозах БСК₅ та кисню помітніші, прогноз БСК₅ занижений у кілька років, зокрема у періоди 2015-2018 та 2021-2023, що може

свідчити про додаткові джерела органічного забруднення, не враховані в моделі. Прогноз кисню після 2020 року недооцінює фактичні показники, що може бути зумовлено зростанням швидкості реаерації або зниженням біологічного споживання кисню.

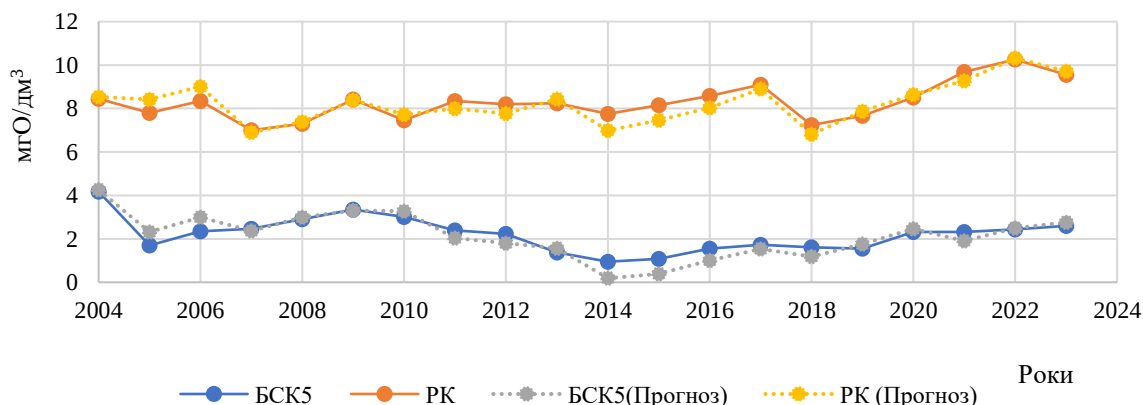


Рис. 12 – Прогнозні значення показників БСК₅ і розчиненого кисню для п. 4 Вилкове

Fig. 12 – Predicted values of BOD₅ and dissolved oxygen for p. 4 Vylkove

Модель Стрітера-Фелпса загалом показує прийнятну точність у прогнозуванні рівнів БСК₅ та кисню в пунктах спостереження, хоча існують окремі розбіжності, які можуть бути пов'язані зі змінами в органічному навантаженні, які модель не завжди точно враховує, впливом гідродинамічних умов, які змінюються залежно від річкових відрізків, можливими змінами в швидкості реаерації, що

пов'язано з кліматичними та екологічними умовами, зокрема після 2020 року. Модель є корисною для загального прогнозування кисневого балансу у водних об'єктах, проте для підвищення її точності можна врахувати додаткові фактори, такі як короточасні зміни у забрудненні, гідродинамічні особливості конкретних ділянок річки, а також сезонні зміни в швидкості реаерації.

Висновки

Багаторічний моніторинг визначив стабільне підвищення рівня кисню в річці Дунай, особливо після 2020 року, що свідчить про певне покращення якості води та зниження органічного забруднення. Показники БСК₅ також демонструють позитивну динаміку – тенденцію до зниження, що вказує на зменшення органічного навантаження.

Встановлено значні сезонні коливання концентрації кисню та БСК₅. У зимово-весняний період спостерігаються підвищені рівні кисню через знижену біологічну активність мікроорганізмів, тоді як у літній період споживання кисню зростає, зумовлюючи його зниження. Цей аспект є важливим для оцінки річкової здатності до самоочищення та для розробки рекомендацій щодо водокористування.

Застосування моделі Стрітера-Фелпса дозволило провести прогноз концентрації кисню на різних ділянках річки. Модель загалом підтвердила відповідність фактичним даним моніторингу, хоча в окремі роки спостерігались розбіжності, які можуть бути спричинені короточасними змінами органічного забруднення та місцевими гідродинамічними умовами.

На основі результатів дослідження розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності моніторингу та управління якістю води. Використання прогнозних даних дозволяє визначити зони потенційного кисневого дефіциту, оптимізувати заходи з очищення та забезпечити раціональне використання водних ресурсів.

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.

Відповідність проєкту

Дослідження виконане в межах науково-дослідної роботи № БФ/32-2022 «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Математичні науки та природничі науки» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна».

Список використаної літератури

1. Wetzel R. G. Limnology: Lake and River Ecosystems. Academic Press. 2001 URL: <https://archive.org/details/limnologylakeriv0003wetz>
2. Streeter H. W., Phelps E. B. A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River. *US Public Health Service Bulletin*. 1958. URL: <https://udspace.udel.edu/items/03d5883b-d6e7-4cf6-8a35-e14f9190302f>
3. Kundzewicz Z.W., Krysanova V. Climate change and stream water quality in the multi-factor context. *Climatic Change* 2010. 103, 353–362 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9822-9>.
4. Smith V.H. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. *Environ Sci & Pollut Res* 200310, 126–139. <https://doi.org/10.1065/espr2002.12.142>
5. Chapra, S. C. Surface Water-Quality Modeling. Waveland Press. 2008. URL: <https://pdfcoffee.com/surface-water-quality-modeling-chapra-pdf-free.html>
6. Rustam F., Ishaq A, Kokab S.T, de la Torre Diez I, Mazón J.L.V, Rodríguez C.L., Ashraf I. An Artificial Neural Network Model for Water Quality and Water Consumption Prediction. *Water*. 2022; 14(21):3359. DOI:<https://doi.org/10.3390/w14213359>
7. Jakovljevic G., Álvarez-Taboada F., Govedarica M. Long-Term Monitoring of Inland Water Quality Parameters Using Landsat Time-Series and Back-Propagated ANN: Assessment and Usability in a Real-Case Scenario. *Remote Sensing*. 2024; 16(1):68. DOI:<https://doi.org/10.3390/rs16010068>
8. DHI. MIKE 11: A Modelling System for Rivers and Channels. User Manual. 2017. URL:https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/MIKE11_UserManual.pdf
9. Thingstad T., Frede Hagstøm Åke, Rassoulzadegan Fereidoun. Accumulation of degradable DOC in surface waters: Is it caused by a malfunctioning microbial loop? *Limnology and Oceanography*, 1997. 42. DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.2.0398>
10. ICPDR. *Danube River Basin Management Plan*. International Commission for the Protection of the Danube River. 2021. URL: <https://dev.icpdr.org/tasks-topics/tasks/river-basin-management/danube-river-basin-management-plan-2021>
11. Slobodnik J., von der Ohe P.C. Identification of the Danube River Basin Specific Pollutants and Their Retrospective Risk Assessment. In: Liska, I. (eds) *The Danube River Basin. The Handbook of Environmental Chemistry*, 2015. vol 39. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/698_2015_378
12. Arnold J.G., Fohrer N. SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling. *Hydrological Processes*, 2005. 19, 563-572. DOI:<https://doi.org/10.1002/hyp.5611>
13. Васенко О. Г., Брук В. В., Карлюк А. А., Свиридов Ю. В. Прогнозування якості води в річках Дунай та Сіверський Донець за допомогою геоінформаційних технологій. *World Science*. 2019; 11(51). С. 45-49. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6766
14. Спільні Дунайські Дослідження 4: результати наймасштабнішого дослідницького моніторингу поверхневих вод у світі. Державне агентство водних ресурсів України. 2021. <https://davr.gov.ua/news/spilni-dunajski-doslidzhennya-4-rezultati-najmasshtabnishogo-doslidnickogo-monitoringu-poverhnevih-vod-u-sviti>
15. Спільний План управління річковим басейном Дунаю: міжнародний досвід. Державне агентство водних ресурсів України. 2022. URL: <https://davr.gov.ua/news/spilnij-plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-dunayu-mizhnarodnij-dosvid>
16. Savu, E.A. & Drobot, R. 2D Hydrodynamic Model Development for a Critical Sector of the Danube River. *Modelling in Civil Environmental Engineering*, 2021, Sciendo, vol. 16 no. 1, pp. 12-24. DOI: <https://doi.org/10.2478/mmce-2021-0002>.
17. Topa C., Murariu G., Calmuc V., Calmuc M., Arseni M., Serban C., Chitescu C., Georgescu L. A Spatial-Seasonal Study on the Danube River in the Adjacent Danube Delta Area: Case Study—Monitored Heavy Metals. *Water*, 2024. 16(17), 2490. DOI:<https://doi.org/10.3390/w16172490>
18. Stanković I., Hanžek N., Mischke U. et al. Phytoplankton biomass and functional composition in the Danube River and selected tributaries: a case study Joint Danube Survey 4. *Hydrobiologia* 2024. 851, 973–998. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10750-023-05359-4>.
19. Безсонний В. Л., Третьяков О.В., Плячук Л.Д., Некос А.Н. Ентропійний підхід до оцінки екологічного стану водотоку. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 27. С. 6–19. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01>
20. Безсонний В. Л., Пономаренко Р. В., Третьяков О. В., Калда Г. С., Асоцький В. В. Моніторинг екологічної безпеки водотоків за кисневими показниками. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2021, 10 (2/2021) С. 75–83. DOI: <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2021.2.12>

Стаття надійшла до редакції 22.09.2024

Стаття рекомендована до друку 25.11.2024

V. L. BEZSONNYI, PhD (Technical), Associate Prof.,
Associate Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education
e-mail: bezsonny@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>

V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Svobody Sq, Kharkiv, 61022, Ukraine
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics

O. V. TRETYAKOV, DSc (Technical), Prof.,
Professor of the Department of Civil and Industrial Safety named after Hero of Ukraine O.S. Chub
e-mail: mega_ovtr@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0095-5846>

State university «Kyiv Aviation Institute»
1, Liubomyra Huzara ave., Kyiv, 03058, Ukraine

A. N. NEKOS, DSc (Geography), Prof.,
Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education
e-mail: alnekos999@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

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

Ye. V. CHISTOV, master's student of the Karazin Institute of Environmental Science
e-mail: yehor.chistov@student.karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4703-3825>

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

PREDICTION OF OXYGEN REGIME INDICATORS IN THE DANUBE RIVER

Purpose. To identify the dynamics of the oxygen regime of the Danube River and to develop a model for forecasting the oxygen regime of the Danube based on the analysis of biochemical oxygen demand (BOD) and reaeration processes, taking into account the multifactorial influence of ecological, hydrological, and anthropogenic factors.

Methods. Statistical, the Streeter-Phelps mathematical model was applied.

Results. The study used long-term data from the state monitoring of water resources of the Danube River on indicators of dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD₅). The research showed an overall improvement in the oxygen regime of the Danube River during the period 2004–2023. All observation points demonstrated a stable increase in DO levels, especially after 2020, which may indicate a reduction in organic pollution. Seasonal analysis revealed that DO levels increase in the cold period and decrease in the warm period due to heightened biological activity. The Streeter-Phelps model confirmed its ability to predict the dynamics of DO and BOD₅ with acceptable accuracy, although discrepancies were observed in some years due to short-term fluctuations in organic loading.

Conclusions. The results of the study confirmed the effectiveness of using the Streeter-Phelps model to forecast the oxygen indicators of the Danube River. The forecast data can be used to assess the ecological state of the river, plan measures to improve water quality, and manage water resources. The developed recommendations will help minimize the risks of oxygen deficiency and support the preservation of ecological balance in the Danube River basin.

KEYWORDS: *oxygen regime, Danube, biochemical oxygen demand, reaeration, Streeter-Phelps model, water monitoring*

References

1. Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press. Retrieved from <https://archive.org/details/limnologylakeriv0003wetzel>
2. 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>
3. Kundzewicz, Z.W., Krysanova, V. (2010). Climate change and stream water quality in the multi-factor context. *Climatic Change* 103, 353–362 <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9822-9>.
4. Smith, V.H. (2003). Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. *Environ Sci & Pollut Res* 10, 126–139 <https://doi.org/10.1065/espr2002.12.142>
5. Chapra, S. C. (2008). *Surface Water-Quality Modeling*. Waveland Press. Retrieved from <https://pdfcoffee.com/surface-water-quality-modeling-chapra-pdf-free.html>

6. Rustam, F, Ishaq, A, Kokab, ST, de la Torre Diez I, Mazón, JLV, Rodríguez, CL, Ashraf I. (2022). An Artificial Neural Network Model for Water Quality and Water Consumption Prediction. *Water*, 14(21):3359. <https://doi.org/10.3390/w14213359>
7. Jakovljevic, G, Álvarez-Taboada, F, Govedarica, M. (2024). Long-Term Monitoring of Inland Water Quality Parameters Using Landsat Time-Series and Back-Propagated ANN: Assessment and Us ability in a Real-Case Scenario. *Remote Sensing*, 16(1), 68. <https://doi.org/10.3390/rs16010068>
8. DHI. (2017). *MIKE 11: A Modelling System for Rivers and Channels*. User Manual. Retrieved from https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/MIKE11_UserManual.pdf
9. Thingstad T. Frede , Hagström Åke , Rassoulzadegan Fereidoun , (1997), Accumulation of degradable DOC in surface waters: Is it caused by a malfunctioning microbialloop?, *Limnology and Oceanography*, 42. <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.2.0398>
10. ICPDR. (2021). *Danube River Basin Management Plan*. International Commission for the Protection of the Danube River. Retrieved from <https://dev.icpdr.org/tasks-topics/tasks/river-basin-management/danube-river-basin-management-plan-2021>
11. Slobodnik, J., von der Ohe, P.C. (2015). Identification of the Danube River Basin Specific Pollutants and Their Retrospective Risk Assessment. In: Liska, I. (eds) *The Danube River Basin. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 39. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/698_2015_378
12. Arnold, J.G. & Fohrer, N. (2005). SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling. *Hydrological Processes*, 19, 563-572. <https://doi.org/10.1002/hyp.5611>
13. Vasenko O. G., Brook V. V., Karluk A. A., & Sviridov Yu. V. (2019). Prohnozuvannia Yakosti Vody v Richkakh Dunai ta Siverskyi Donets za Dopomohoiu Heoinformatsiinykh Tekhnolohii. *World Science*. 11(51). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6766 (in Ukrainian).
14. Joint Danube Studies 4: results of the largest surface water monitoring research in the world. (2021). State Agency of Water Resources of Ukraine.. Retrieved from <https://dav.gov.ua/news/spilni-dunajski-doslidzhennya-4-rezultati-najmasshtabnishogo-doslidnickogo-monitoringu-poverhnevih-vod-u-sviti> (in Ukrainian).
15. Joint Danube River Basin Management Plan: International Experience (2022). State Agency of Water Resources of Ukraine. Retrieved from <https://dav.gov.ua/news/spilnij-plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-dunayu-mizhnarodnij-dosvid> (in Ukrainian).
16. Savu, E.A. & Drobot, R. (2021). 2D Hydrodynamic Model Development for a Critical Sector of the Danube River. *Modelling in Civil Environmental Engineering*, 16(1), 12-24. Retrieved from <https://sciendo.com/it/article/10.2478/mmce-2021-0002>
17. Topa, C., Murariu, G., Calmuc, V., Calmuc, M., Arseni, M., Serban, C., Chitescu, C., & Georgescu, L. (2024). A Spatial–Seasonal Study on the Danube River in the Adjacent Danube Delta Area: Case Study—Monitored Heavy Metals. *Water*, 16(17), 2490. <https://doi.org/10.3390/w16172490>
18. Stanković, I., Hanžek, N., Mischke, U., Krisa, H., Velická, Z., T-Krasznai, E., Kiss, K.T., Belkinova, D., Bălan, M., Amăriucăi, V., Diaconu I. & Borics G. (2024). Phytoplankton biomass and functional composition in the Danube River and selected tributaries: a case study Joint Danube Survey 4. *Hydrobiologia*, 851, 973–998. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05359-4>
19. Bezsonnyi, V. L., Tretyakov, O. V., Plyatsuk, L. D., & Nekos, A. N. (2022). Entropy approach to assessment of the ecological state of a water course. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series “Ecology”*, (27), 6-19. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01> (in Ukrainian).
20. Bezsonnyi, V., Ponomarenko, R., Tretyakov, O., Kalda, G., & Asotskyi, V. (2021). Monitoring of ecological safety of watercourses by means of oxygen indicators. *Technogenic and ecological safety*, 10(2/2021), 75–83. Retrieved from <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/13942> (in Ukrainian).

The article was received by the editors 22.09.2024

The article is recommended for printing 25.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-02>

УДК (UDC): 911.5

С. П. СОНЬКО¹, 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>

І. Д. ЗЕЛЕНЧУК¹,
аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності
e-mail: zelenchuk.id@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8517-6617>

¹Уманський національний університет садівництва,
вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська область, Україна

ВПЛИВ БУДІВНИЦТВА НА ЛАНДШАФТИ ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Мета. Аналіз впливу будівництва швидко-монтажних будівель з різними каркасами на живі та інертні компоненти ландшафту в умовах Західної частини лісостепової зони України.

Методи. Системний аналіз, інженерні вишукування, порівняльно-географічний метод, узагальнення, статистичний метод.

Результати. На підставі звітів з дослідження інженерно-екологічних та інженерно-геологічних умов будівельних майданчиків, що розташовані в Західній частині лісостепової зони України, проаналізовано трансформації ландшафтних компонентів під впливом будівництва швидко-монтажних будівель, а саме на дослідженні порушення зв'язків між живими та інертними компонентами ландшафту: зміні морфологічної структури ґрунтового покриву, деградації рослинного покриву та зміні водного балансу, що безпосередньо впливають на функціонування ландшафтів, та також може слугувати основою для впровадження геоекологічних заходів, спрямованих на зниження негативного впливу урбанізації на ландшафтні структури лісостепу. Це дозволить підтримувати екологічну стійкість і відновлювати природні властивості ґрунтів та біоценозів у межах досліджуваних територій.

Висновки. Визначено важливість врахування екологічних особливостей лісостепової зони та необхідність адаптивних заходів, щодо охорони і відновлення чорноземних ґрунтів в умовах інтенсивного будівництва.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: природно-територіальний комплекс, ландшафтне дослідження, ґрунт, швидко-монтажна будівля, будівельно-монтажна робота

Як цитувати: 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>

In cites: 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)

Вступ

З давніх часів люди усвідомлювали різноманітність територіальних комплексів, помічаючи їхні природні особливості, ресурси та умови для ведення господарства. Так формувались емпіричні уявлення про природні територіальні комплекси (ПТК), які згодом лягли в основу наукових понять географії та ландшафтознавства. Ландшафтознавство розглядає ландшафт як цілісну систему, де всі компоненти літосфера, атмосфера, гідросфера, біота — взаємодіють у складі певних природних комплексів.

В умовах сучасної урбанізації та невинного розширення інфраструктури, будівництво набуває вагомego значення у формуванні та трансформації ландшафтів. Під впливом людської діяльності відбувається значне порушення ландшафтної рівноваги, зокрема через потужну урбанізацію, промислове будівництво та інфраструктурні проекти. В результаті значних змін зазнають такі природні компоненти ландшафту, як ґрунти, гідрологічний режим та функціонування біогеоценозів.

© Сонько С. П., Зеленчук І. Д., 2024



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

Значний вплив будівельні технології чинять на живі та інертні компоненти ландшафтів в Лісостеповій зоні України, яка крім високої сільськогосподарської освоєності є також дуже урбанізованою територією. А, отже, тією, на якій відбувається масштабне будівництво. Усвідомлення цього факту є особливо актуальним в умовах воєнних дій, які проводить агресивний північний сусід. Як, в який засіб і з якою господарською спрямованістю доцільно використовувати цю територію надалі, і, особливо, після завершення війни? Зокрема, є думки, щодо майбутньої дезурбанізації України [1], слідування якій розосередить населення по доволі великій за площею території, суттєво знизивши тим самим ризик враження людей у великих містах. Разом з тим, Лісостепова зона залишається потужним виробником сільськогосподарської продукції, передусім через наявність найродючіших чорноземних ґрунтів [2, 3]. Адекватна оцінка пріоритетів подальшого господарського використання території України у післявоєнний час вже сьогодні має високу актуальність і є одним з завдань нашої статті.

Відтак, чорноземні ґрунти з високим вмістом органічних речовин можна вважати унікальними не лише для лісостепової зони, а й для всієї України, оскільки вони (як «дзеркало» ландшафту) підтримують високу екологічну стабільність територій, виконуючи тим самим і важливу біосферну функцію. Будівельні роботи в цій зоні часто супроводжуються значними порушеннями ґрунтового профілю (вийманням родючих ґрунтів на значні глибини), знищенням рослинного покриву та зміною вологості ґрунту. Доведено, що масове будівництво викликає деградацію ґрунтів через зміни у їхній структурі, ущільнення, втрати водопроникності та зменшення біорізноманіття. Це спричиняє порушення ґрунтового профілю та зниження продуктивності ландшафтів, що вимагає

застосування адаптованих заходів для мінімізації негативних наслідків [4]. Саме тому в роботі виконано комплексний аналіз, як будівельні процеси впливають на живі та інертні компоненти ландшафту, акцентуючи увагу на порушенні зв'язків між ландшафтними компонентами, зокрема, в лісостеповій зоні України.

Дослідження зумовлене необхідністю акцентування уваги на можливостях швидкої релокації промислових підприємств до нових територій з мінімальним впливом на навколишнє середовище. Це можливо завдяки впровадженню сучасних будівельних технологій, зокрема зведенню швидко-мтованих промислових і виробничих будівель із високим ступенем заводської готовності на основі металевих або залізобетонних каркасів. Фінансування післявоєнного будівництва, яке значною мірою залежить від міжнародних інвестицій, висуває пріоритетні вимоги до дотримання екологічних стандартів. Це передбачає контроль виконання будівельно-монтажних робіт (БМР) відповідно до міжнародних норм, спрямованих на мінімізацію деградації ґрунтового покриву, збереження біорізноманіття та раціональне використання природних ресурсів.

Таким чином, відновлення промислової інфраструктури за допомогою сучасних технологій має враховувати екологічні ризики, забезпечуючи гармонійне поєднання економічних потреб із збереженням природного середовища, в тому числі всебічної оцінки впливу на компоненти ландшафту.

Мета – проаналізувати і порівняти вплив будівництва швидко-мтованих будівель (ШМБ) з різними каркасами на живі та інертні компоненти ландшафту в умовах Західної частини лісостепової зони України.

Предмет дослідження – вплив на повітряне, водне середовище, ґрунти та рельєф в період будівництва ШМБ в умовах лісостепової зони.

Теорія та методи

Одним із основних напрямів сучасних досліджень географів та ландшафтознавців є вивчення взаємного зв'язку та взаємообумовленості природних географічних компонентів, що є складовими географічної оболонки нашої планети. Історично ця концепція набула конкретизації у двох основних підходах, що привели до формування уявлень про географічну оболонку як цілісний природний об'єкт та про природний територіальний комплекс, або географічний комплекс, як

його структурний компонент [5].

Проблематика дослідження ландшафтів стала предметом значної кількості наукових праць як українських так і європейських географів і ландшафтознавців. Проте, лише невелика частка цих досліджень зосереджена на впливі будівництва на компоненти ландшафту та порушенні їх взаємодії. До вчених, які досліджують вплив будівництва на ландшафтні компоненти, також слід відносити ландшафтознавців, що вивчають антропоген-

ні та урбанізовані ландшафти, зокрема аспекти трансформації їхніх структурних елементів під впливом урбанізації та інфраструктурних змін. Так, серед найбільш значимих досліджень можна відмітити доробок [6], щодо питань прогнозування розвитку антропогенних ландшафтів в Україні та формування центрів, нових напрямів розвитку та значення антропогенного ландшафтознавства у проектуванні ландшафтів майбутнього.

Певна частина ландшафтознавців зосередила свою увагу на питаннях підтримки екологічної рівноваги урбанізованих і антропогенних ландшафтів та на проблемі збереження біоти в містах, проводячи різноманітні поглиблені дослідження антропогенних ландшафтів [7, 8]. Визначення впливу на компоненти ландшафту під час будівництва та експлуатації вітроенергетичних установок з розробленням заходів по їх зменшенні представлені в роботі [9]. Останніми роками розпочались роботи з дослідження шкідливого впливу сучасних технологій у будівництві на інертні компоненти ландшафту [4], оцінка впливу 3D-друкованого будівництва на ландшафтні компоненти [10].

Іноземні вчені досліджують вплив на ґрунти, масштаби порушення фізико-хімічних властивостей ґрунту та тривалість їх відновлення, що спричинене будівництвом інженерних трубопровідних мереж [11]. У Китаї виконане ґрунтове вивчення проблематики впливу будівництва великих інфраструктурних проєктів на такі компоненти, як клімат, ґрунти та біота високогірних і рівнинних ландшафтів [12]. Аналіз зміни ландшафту, спричинених масштабним будівництвом та розростанням міст [13]. Оцінка впливу розвитку урбанізації на ландшафт і довкілля в Словаччині [14]. Вплив урбанізації на рослинний покрив та водне середовище в м. Маямі, штат Флорида, США [15].

Історія ландшафтознавства вказує на важливість комплексного підходу до дослідження взаємодії природних і антропогенних чинників, що формують і трансформують ландшафти. Видатні дослідники, зокрема Карл Ріттер, розглядали ландшафт як єдину систему, в якій природні компоненти тісно пов'язані та взаємодіють у просторі [16]. Сучасні дослідження доповнюють цю концепцію, враховуючи зростаюче антропогенне навантаження та інтенсивність будівництва, що створює нові виклики для збереження геоекологічного балансу.

Ландшафтознавство сьогодні – це розділ фізичної географії, а термін «ландшафт»

географи використовують для визначення природних територіальних комплексів (ПТК) будь-якого рангу. Наразі упевнено можна сказати, що ландшафт – досить поширений інтернаціональний термін, який часто зустрічається у спеціальній літературі. Саме слово «ландшафт» (нім. Landschaft) – німецького походження, що означає Land – земля, -schaft – взаємозв'язок, взаємозалежність [17].

Теоретичним підґрунтям цієї статті слугували праці відомих географів та ландшафтознавців [17 – 20], дослідження антропогенних ландшафтів [21] та аналіз ступеню антропогенного навантаження на ландшафт в процесі розбудови індустріальних парків України [22]. Вагомою фундаментальною базою дослідження є доробок Українського професора К. І. Геренчука в галузі геоморфології і ландшафтознавства, а саме його ландшафтознавчий підхід. Сутність цього підходу полягала в тому, що – *«не можна зберегти певний вид живої природи чи об'єкт неживої природи, якщо не охороняти все природне довкілля»* [23]. Особливо важливим дослідженням, що становить теоретичну основу даної статті є дослідження ландшафтних компонентів та наступна їх класифікація і структурування [4, 24]. У дослідженні опираємось та аналізуємо вплив будівельної галузі як на ландшафти в цілому так і на компоненти ландшафту зокрема, спираючись на методики з оцінки впливів на довкілля на основі оцінки вразливості ландшафтів та їх компонентів [25]. Спираючись на результати вищенаведених досліджень, в роботі запроваджено термін «Оцінка впливу на компоненти ландшафту», який дозволяє структурувати та узагальнити вплив будівельної діяльності на живі та інертні складові ландшафту.

Окрім того, у відповідності до головної мети статті, доволі корисною теоретичною основою для нас стали новітні публікації зарубіжних авторів, спеціалізація яких – дослідження впливів на ландшафти відповідно до концепції European Landscape Convention (ELC) [26].

В роботі використовувались загальнонаукові методи дослідження: аналіз, синтез, інженерні вишукування, порівняльно-географічний метод, узагальнення, статистичний метод, тощо. Інформаційними джерелами для дослідження виступили звіти з дослідження інженерно-екологічних та інженерно-геологічних умов будівельних майданчиків, що розташовані в Західній частині лісостепової зони України, матеріали наукових публікацій та періодичних видань.

Результати

Сучасні будівельні технології, навіть за умов дотримання високих екологічних стандартів супроводжуються, хоч і не значними але, все-таки змінами натуральних компонентів ландшафту і ландшафтних комплексів, літогенної основи, повітряних мас, водних мас, ґрунтів, біоти, тощо [4]. Будівельна діяльність на опідзолених чорноземах потребує особливої екологічної уваги через доволі вразливі (для зовнішніх впливів) механічні властивості цих ґрунтів. Для забезпечення необхідної несучої здатності основи потрібно виконати заміщення часто дуже значних обсягів таких ґрунтів матеріалами з кращими механічними характеристиками. Цей процес призводить до порушення природної структури ландшафту, біологічного різноманіття та певних змін у водному балансі.

З огляду на тривалі бойові дії на сході та півдні України, спричинені російською агресією, постала нагальна потреба у терміновій релокації промислових підприємств та виробничих потужностей. Їх відновлення є визначальним чинником для стабілізації економіки та забезпечення життєдіяльності країни. У зв'язку з цим у безпечніших регіонах України, зокрема в межах західної частини Лісостепової зони, реалізуються масштабні проекти будівництва великих промислових та виробничих об'єктів на нововідведених земельних ділянках. За даними інтерактивної карти ґрунтів України [3], ґрунти західної частини Лісостепової зони України представлені двома зональними типами: сірі лісові та чорноземи (вилугувані, опідзолені і типові). Тут переважають глибокі середньо-гумусні чорноземи зі значною кількістю кротовин в їх профілі [27].

Наукове дослідження впливу будівельних процесів на компоненти ландшафту вимагає використання системного підходу, для аналізу порушених зв'язків між інертними та живими компонентами. Саме тому в даному дослідженні використано підходи методології для визначення принципів і послідовності аналізу, онтології для осмислення об'єктивних властивостей ландшафтних систем та гносеології для вивчення механізмів пізнання процесів трансформації ПТК [28].

Ландшафт складається з компонентів, кожен із яких є «представником» окремих геосфер, що входять у географічну оболонку. Такі компоненти отримали назву природні географічні компоненти до яких прийнято відносити: земну кору, гідросферу, повітряні маси атмосфери, біоту та ґрунти. Ландшафтознавця А. В. П'яtkова, доцент Херсонського державного університету зазначає, що до основних природних компонентів слід відносити – земну кору, повітря, рослинний та тваринний світ, поверхневі і підземні води, а також ґрунт як окреме органо-мінеральне тіло. В географії прийнято класифікувати такі природні компоненти, як основні компоненти, але компонентний склад ландшафтів включає в себе ще й специфічні компоненти, такі як – клімат та рельєф. Типова схема компонентного складу ландшафту з розподілом на основні та специфічні компоненти (рис. 1.) [24]. Існує також більш ландшафтознавчий розподіл компонентів ландшафту за їх динамічними властивостями, а саме – ландшафтознавці поділяють компоненти ландшафту на три групи з урахуванням їх функцій в межах геосистеми. Вперше концепцію такого розподілу запропонував латвійський



Рис. 1 – Компонентний склад ландшафту
Fig. 1 – Component composition of the landscape

географ, професор А. А. Краукліс, який класифікував компоненти ландшафту як *інертні*, *мобільні* та *активні*, залежно від їхньої ролі в структурі й динаміці геосистеми. Серед українських учених-географів парадигми ієрархічного розподілу компонентів ландшафту дотримується, ландшафтознавиця А. В. П'яtkова у своїй праці та дослідженнях [24] (Piatkova & Roskos, 2020), а також професор Уманського національного університету садівництва С. П. Сонько. Під його керівництвом аспірант Зеленчук І. Д. розробив функціональну схему ієрархічного розподілу компонентів ландшафту з урахуванням їх функцій в геосистемі (рис. 2). Подібна ієрархічна класифікація не лише узагальнює характеристики ландшафтних компонентів, але й створює основу для подальших міждисциплінарних

досліджень у галузі екології, географії та ландшафтознавства.

Аналізуючи подану схему розподілу компонентів ландшафту (рис. 2) стає зрозуміло, що серед переліку ландшафтних компонентів найменш дослідженими та вивченими залишаються інертні компоненти ландшафту. Сьогодні наука володіє достатньою кількістю матеріалів стосовно мобільних та активних компонентів ландшафту, проте інертні компоненти, до яких належать ґрунти, геологічна основа та рельєф, все ще потребують системних досліджень, особливо в частині впливу будівництва на ґрунти, та рельєф. Потрібно врахувати те, що в місцях промислової забудови поступово утворюються техногенні ландшафти, котрі успадковують від ландшафтів лише геологічну основу і можливо основні риси рельєфу.



Рис. 2 – Функціональна схему розподілу компонентів ландшафту [4]

Fig. 2 – Functional diagram of the distribution of landscape components [4]

В процесі будівельної діяльності як правило відбувається поступова трансформація мезорельєфу (планування майданчиків будівництва та під'їзних автошляхів через зрізування нерівностей рельєфу чи засипанням ярів), з часом створюється свій мікроклімат (через вплив бетону чи асфальту). Після завершення БМР та виконання робіт з благоустрою території, на штучно висаджених газонах виникає так званий культурний горизонт або урбоземи з антропогенним генезисом.

Особливо вразливими до таких втручань є ландшафти західної частини Лісостепу, де поширені опідзолені чорноземи з високим вмістом гумусу (рис. 3). У цих регіонах, через нестабільний водний режим та схильність ґрунтів до ущільнення (низькі механічні властивості ґрунтів), вилучення рослинного покриву призводить до активі-

зації ерозійних процесів, формування осипів і деградації схилів. На окремих ділянках із високим ступенем ущільнення ґрунту можливе заболочування. Це явище зумовлене інтенсивною інфільтрацією в умовах слабого дренажу у верхніх горизонтах. Такі зміни не лише руйнують природну рівновагу, а й призводять до стійкого порушення зв'язків між інертними та живими компонентами ландшафтів.

Поданий інженерно-геологічний розріз, що притаманний для ландшафтів західної частини Лісостепової зони України демонструє наявність потужного шару тугопlastичного чорнозему завтовшки 1,1÷1,3 м. Такий геологічний склад притаманний алювіально-суглинистим і рівнинно-глинистим формаціям рівнинних ландшафтів лісостепової зони України [5]. Аналізуючи вище представлені інженерно-геологічні умови та

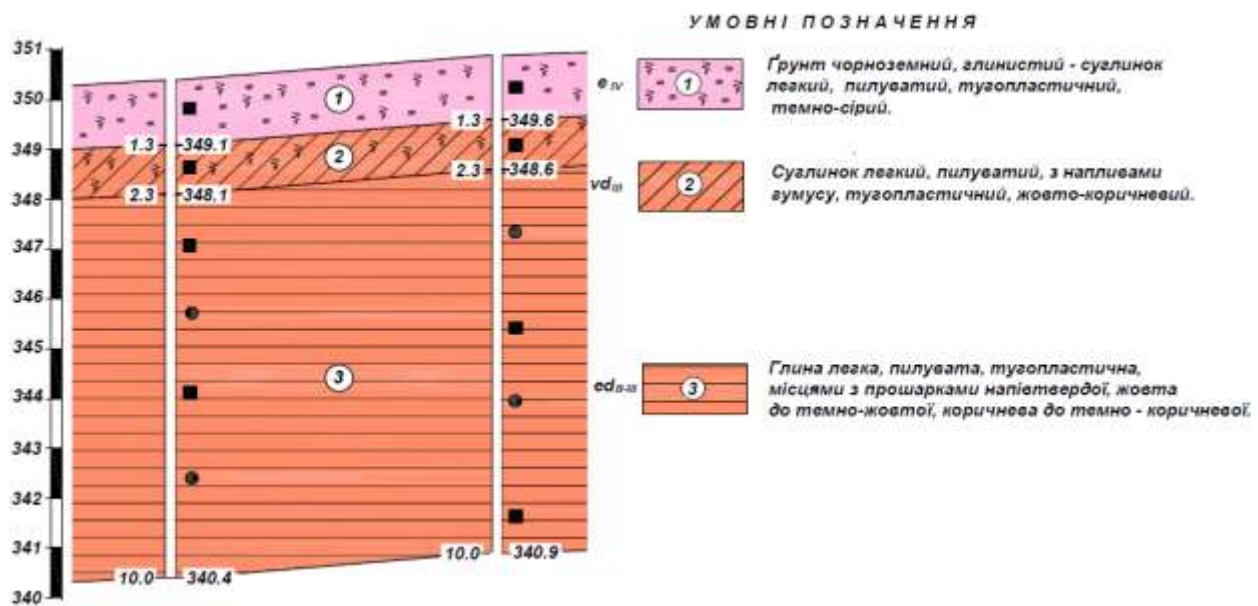


Рис. 3 – Інженерно-геологічний розріз типового будівельного майданчику (для умов західної частини Лісостепової зони України) [29]

Fig. 3 – Engineering-geological section of a typical construction site (for the conditions of the western part of the Forest-steppe zone of Ukraine) [29]

керуючись показниками інженерно-геологічної колонки (табл. 1.), можна стверджувати, що природною основою для закладання фундаментів у цьому регіоні виступають не-просадні ґрунти (інженерно-геологічний елемент ІГЕ-3) — легка пилувата тугопластична глина. Водночас чорноземи, через свої незадовільні фізико-механічні властивості, не можуть забезпечити належну стійку основу під фундаменти. У зв'язку з цим, під час виконання земляних робіт необхідне повне видалення родючого шару ґрунту (чорноземів) на глибину 1,5–1,8 м для створення основи, придатної для прийняття будівельних навантажень [30].

Виконуємо оцінку впливу будівництва швидко-монтажних будівель (ШМБ) на живі та інертні компоненти ландшафту, а також виконуємо порівняльний аналіз впливів від будівництва таких будівель з металевими і залізобетонними каркасами. ШМБ — це збірні будівлі, які складаються з несучого каркасу і огорожувальних конструкцій. ШМБ зводяться з уніфікованих металевих або бетонних самонесучих конструкцій, а також їх комбінації.

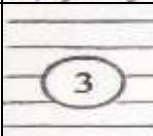
Для виконання оцінки впливу використовуються дані інженерно-геологічних вишукувань та конструктивні розрахунки, зок-

рема щодо розмірів та типів фундаментів для зазначених будівель. Отже, як уже зазначалось вище, чорноземи не можуть забезпечити належну стійку основу під фундаменти, у зв'язку з цим, необхідне їх виїмання на повну глибину залягання аж до основи придатної приймати навантаження. Для виїмання та переміщення ґрунту використовується спеціальна техніка, по типу — гусеничний або колісний екскаватор та автосамоскиди типу «MAN» — об'єм кузова 26 куб.м, вантажопідйомність 40 т. Розрахунки показали, що співвідношення об'єму вилученого ґрунту до площі будівлі становить 1,98 м³ на 1 м² (1,98куб.м/1кв.м). Для виробничої чи складської будівлі середніх розмірів, а саме площею 3000 м² необхідно вилучити близько 5940 м³ ґрунту.

В результаті роботи спеціальної та автомобільної техніки на будівельному майданчику, включаючи її маневрування і переміщення, на ґрунтовий покрив здійснюється значний механічний та фізичний вплив. Це проявляється у зміні структури ґрунту, його ущільненні та втраті природної пористості. Графічна інтерпретація розрахунків представлена у вигляді діаграм (рис. 4) демонструє ступінь ущільнення ґрунту під впливом переміщення техніки. Розрахунки впливу тех-

Таблиця 1

**Інженерно-геологічна колонка та нормативні показники властивостей ґрунтів
досліджуваної ділянки**

Індекс генезису і віку ґрунту	Літологічний розріз і номер інженерно – геологічного е-ту (ПЕ)	Тип ґрунту відповідно до ДСТУ Б В.2.1-2-96	Щільність ґрунту, t/m^3	Питома вага ґрунту, kH/m^3	Природна вологість, дол. од.	Модуль деформації, MPa	Кут внутрішнього тертя, $градус$	Питоме зчеплення, kPa
			ρ	γ	W	E	ϕ	Csat
ПЕ-1 (e 1v)		Ґрунт чорноземний опідзолений, глинистий-суглинок легкий, пилуватий, тугопластичний, темно-сірий	1,73	17,3				
ПЕ-2 (vd 111)		Суглинок легкий, пилуватий з напливами гумусу, тугопластичний, жовто-коричневий	1,86	18,6				
ПЕ-3 (ed 11-111)		Глина легка, пилувата, тугопластична, місцями з прошарками напівтвердої, жовта до темно-жовтої, коричнева до темно-коричневої	1,96	19,6	0.25	18	17	50

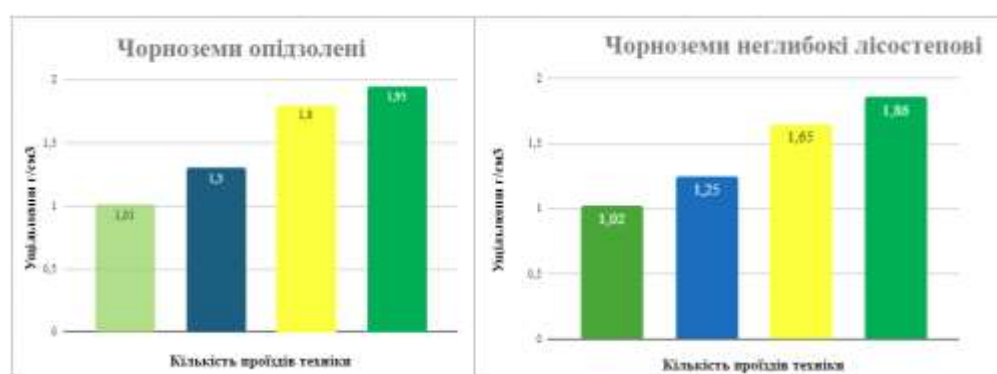


Рис. 4 – Розрахункова діаграма ущільнення ґрунту від маневрування та переміщення вантажних самоскидів

Fig. 4 – Calculation diagram of soil compaction from maneuvering and moving dump trucks

ніки на ґрунт проводили з урахуванням властивостей чорноземів опідзолених та чорноземів неглибоких лісостепових на лесових ґрунтах. Для цього використали автосамоскид MAN спорядженою масою 62,5 т, шириною коліс 385 мм та швидкістю руху 25 км/год. В результаті розрахунків доведено,

що чорноземи опідзолені зазнають більш негативного впливу від руху автосамоскидів.

Як уже було зазначено вище, під час механічних впливів змінюється, втрачається рослинний покрив і тверда фракція ґрунту. Втрата рослинного покриву, як основної частини біоценозу, порушує функціональні

зв'язки між компонентами ландшафту, що призводить до змін у функціонуванні геосистем, руйнування біологічної рівноваги та порушення екологічної стійкості ландшафтів. Найглибші трансформації ландшафтів спостерігаються в локальних масштабах (будівельні майданчики та прилеглі до них

території), однак наслідки можуть поширюватися через процеси стоку, міграції наносів та водне переміщення хімічних елементів. Саме тому, зміна геохімічного складу та втрати біомаси є критичними чинниками, що можуть впливати на стабільність ландшафтів лісостепової зони України.

Висновки

Здійснений комплексний аналіз впливу будівельної діяльності на живі та інертні компоненти ландшафтів лісостепової зони України, зокрема на структурні властивості опідзолених чорноземів, рослинний покрив та водний баланс довів, що дослідження є важливим для оцінки екологічних наслідків урбанізації та розробки заходів, спрямованих на захист і збереження цінних природних комплексів.

Створення технічного блоку і перетворення натуральних компонентів і комплексів призводять до формування промислових ландшафтів. Їх типи формують і визначають характер ландшафтної структури.

Глибина зміни ландшафту людиною бід час виконання БМР залежить переважно від виду та форми будівельної діяльності. Для прикладу – порушення гравітаційної рівноваги ґрунтів, може бути викликане як прямою, так і непрямою господарською дією при здійсненні земляних робіт. А для міських територій більш характерне вирівнювання рельєфу (штучне заповнення ґрунтом невеликих долин, ярів, балок та ін., акумуляція «культурного шару»), але створюються і специфічні насипні форми (дорожні насипи, греблі та ін.), все частіше

практикується створення штучних наливних.

В будь-якому випадку будівництво ШМБ супроводжується, хоч і не значними але, все-таки змінами натуральних компонентів ландшафту і ландшафтних комплексів, літогенної основи, повітряних мас, водних мас, ґрунтів, біоти. А саме, у структуру натуральних ландшафтів вводиться технічний блок, представлений асфальтовим та іншим покриттям, будівлями різного призначення, підземними комунікаціями, тощо. Біота надзвичайно чутлива до людської дії і піддалася найсильнішому перетворенню. Багато біоценозів зазнають перебудови, інші повністю заміщені штучними співтовариствами.

Підсумовуючи наведене, можна стверджувати, сучасна технологія будівництва ШМБ, а саме будівництво ШМБ з оцінкованих металокаркасів максимальної заводської готовності є екологічно безпечним та природоорієнтованим. Використання даної технології будівництва – дозволить швидкими темпами відбудувати зруйновані війною промислові, виробничі та складські будівлі з мінімальним впливом на навколишнє природне середовище.

Конфлікт інтересів

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

Список використаної літератури

1. Сонько С.П. Теоретичні та прикладні напрямки вітчизняної географії в умовах воєнного часу. *Екологія – шляхи гармонізації відносин природи та суспільства*: збірник тез XIII Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції. Умань, 15 жовтня 2024 року. Під ред. д.е.н. О.О.Непочатенко. Ред.-вид.відділ УНУС, Умань, 2024. С. 86-91. URL: https://ecology.udau.edu.ua/assets/files/tezi/zbirnik-2024_97510195-9891-456f-9ef5-e6a2eb76b8c4.pdf
2. Мачульський Г. М., Пінчук О. В. Ґрунтознавство з основами географії ґрунтів: навч. посіб. GlobeEdit, 2023. 127с.]
3. Інтерактивна карта ґрунтів України. URL: <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy>
4. 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>
5. Васи́леґа В. Ландшафтна екологія: навчальний посібник. Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 303.

6. Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство – основа майбутнього ландшафтознавства України. *Розвиток антропогенного ландшафтознавства у XXI сторіччі: матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. м. Вінниця*, 2021. №35. С. 3–7. URL: <https://vspu.edu.ua/science/art/a209.pdf>
7. Денисик Г., Яцентюк Ю., Воровка В., Воловик В. Біоцентри екомережі міста Вінниці. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. №54. С. 267–277. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-20>
8. Кисельов Ю., Сонько С., Шлапак В., Кисельова О., Корнус А. Значення екотонів у ландшафтній структурі поверхні суходолу. *Слобожанський науковий вісник. Серія Природничі науки*. 2023. №2. С. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2023.2.2>
9. Молодан Я. Є. Особливості життєвого циклу вітроенергетичних установок як фактор впливу на компоненти ландшафту. *Фізична географія та геоморфологія*. 2013. № 3 (71). С. 167–176. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2013_3_25
10. Заленчук І. Оцінка впливу 3D-друкованого будівництва на ландшафтні компоненти в умовах післявоєнної відбудови України. «Science, technology, innovation: global trends and regional aspect». IV International scientific and practical conference. Tallinn, Estonia, September 24-27, 2024. С.61-64. DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2024.2.4>
11. Shi, P., Xiao, J., Wang, Y., et al. The effects of pipeline construction disturbance on soil properties and restoration cycle. *Environ Monit Assess*. 2014. Vol.186. P.1825–1835. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3496-5>
12. Li, Zhang, C., Philbin, J., et al. Evaluating the impact of highway construction projects on landscape ecological risks in high altitude plateaus. *Sci. Rep*. 2022. Vol.12. P.5170. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08788-8>
13. Weizhong, Su., Chaolin Gu., Guishan, Y., Shuang, C., Feng, Z. Measuring the impact of urban sprawl on natural landscape pattern of the Western Taihu Lake watershed, China *Landscape and urban planning*. 2010. Vol.95 (1). P. 61-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.003>
14. Izakovičová, Z., Petrovič, F., Paudišová, 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>
15. Divya, Y., Gopinathan, P., & Jayachandran, K., Al-Quraishi, A.M.F. Color slices analysis of land use changes due to urbanization in a city environment of Miami Area, South Florida, USA. *Modeling Earth Syst. Environ*. 2021. Vol. 7. P. 537–546. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00883-x>
16. Воловик В. М. Ландшафтознавство: курс лекцій. Вінниця: Твори, 2018. 254с.
17. Гродзинський М. Д. Ландшафтна екологія: Підручник. Київ: Знання, 2014. 550с.
18. Геренчук К. І. Основні проблеми фізичної географії. К.: Вища шк., 1969. 132с.
19. Міллер Г. П., Петлін В. М., Мельник А. В. Ландшафтознавство: теорія і практика. Львів : Видавничий центр ЛНУ, 2002. 172.
20. Гудзевич А. В. Просторово-часова організація сучасних ландшафтів: *Теорія і практика: монографія*. Вінниця: Віндрук, 2012. 432с.
21. Denysyk, H., Kanskiy, V., Kanska, V., & Denysyk B., Anthropogenic landscapes of Ukraine and their reconstruction. *Czasopismo Geograficzne*. 2022. Vol. 93. N 3. P. 417–433. DOI: <https://doi.org/10.12657/czageo-93-16>
22. Зеленчук І., Сонько С. Дослідження ступеню антропогенного навантаження на ландшафт в процесі розбудови індустріальних парків України. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XIX Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. С. 147- 150. URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/05/taliyev-2023.pdf>
23. Кукурудза С. Професор Каленик Геренчук: монографія. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2004. 343с.
24. П'яткова А., Роскос Н., Ландшафтознавство: прикладні аспекти. Одеса: ОНУ імені І. І. Мечникова, 2020. 122с.
25. 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>
26. Niță, A., Buttler, A., Rozyłowicz, 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>
27. Полянський С. Ґрунтознавство з основами географії ґрунтів. Луцьк: ПП Іванюк В. П., 2022. 110 с.
28. Білецький І. П. Філософія і методологія наукового пізнання. Х. : ХДЕУ, 2001. 104.]
29. *Звіт інж-геолог. умов, зам. №23-24, Кітура, 2024*
30. Шутенко Л. М., Рудь О. Г., Кічаєва О. В. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 563 с.

Стаття надійшла до редакції 22.10.2024

Стаття рекомендована до друку 25.11.2024

S. P. SONKO¹, 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>

I. D. ZELENCHUK¹,
PhD Student, of the Department of Ecology and Life Safety
e-mail: zelenchuk.id@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8517-6617>

¹Uman National University of Horticulture,
1, Instytutaska str., Uman, 20305, Ukraine

IMPACT OF CONSTRUCTION ON LANDSCAPES OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF UKRAINE

Purpose. Analysis of the impact of the construction of quickly assembled buildings with different frames on living and inert landscape components in the conditions of the Western part of the forest-steppe zone of Ukraine.

Methods. System analysis, engineering surveys, comparative geographical method, generalization, statistical method.

Results. Based on reports on the study of engineering-ecological and engineering-geological conditions of construction sites located in the Western part of the forest-steppe zone of Ukraine, the transformation of landscape components under the influence of the construction of quickly assembled buildings was analyzed, namely, the study of the violation of ties between living and inert landscape components: changes in the morphological structure of the soil cover, degradation of plant cover and changes in the water balance, which directly affect the functioning of landscapes, and can also serve as the basis for the implementation of geoecological measures aimed at reducing the negative impact of urbanization on the landscape structures of the forest-steppe. This will allow maintaining ecological sustainability and restoring the natural properties of soils and biocenoses within the studied territories.

Conclusions. The importance of taking into account the ecological features of the forest-steppe zone and the need for adaptive measures to protect and restore black soil soils in conditions of intensive construction have been determined.

KEYWORDS: *natural territorial complex, landscape, soil, prefabricated building, construction and assembly work*

References

1. Sonko S. (2024) Theoretical and applied directions of domestic geography in wartime: *Ecology - ways of harmonizing the relations of nature and society*. Collection of abstracts of the 13th All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference. Uman, October 15, 2024. https://ecology.udau.edu.ua/assets/files/tezi/zbirnik-2024_97510195-9891-456f-9ef5-e6a2eb76b8c4.pdf [In Ukrainian]
2. Machulskyi, H., & Pinchuk, O., (2023). Soil science with the basics of soil geography. *Study guide*. [In Ukrainian]
3. Interactive soil map of Ukraine. Available at: <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy> (In Ukrainian)
4. Sonko, S., & Zelenchuk, I. (2022). The use of innovative technologies in construction to reduce harmful impact on inert landscape components. *Problems of Continuous Geographical Education and Mapping*, 35, 32–38. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-04> DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-04> (In Ukrainian)
5. Vasilega, V. (2010). Landscape ecology. Sumy: SumDU. (In Ukrainian)
6. Denisyk, G. (2021). Anthropogenic landscape science is the basis of the future landscape science of Ukraine. *Development of anthropogenic landscape science in the 21st century: Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference*. Vinnytsia, 35, 3–7. <https://vspu.edu.ua/science/art/a209.pdf> (In Ukrainian)
7. Denisyk, G., Yacentyuk, Y., Volodymyr, V., & Volovik, V., (2021). Biocentres of the ecological network of Vinnytsia city. *Visnyk of VN Karazin Kharkiv National University, series" Geology. Geography. Ecology"* 54, 267–277. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-20> (In Ukrainian)
8. Kiselyov, Y., Sonko, S., Shlapak, V., Kiselyova, O., & Kornus, A., (2023) The importance of ecotones in the landscape structure of the land surface. *Slobozhan Scientific Bulletin. Natural sciences series*. 2: 12-20. <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2023.2.2> (In Ukrainian)

9. Molodan, Y., (2013). Peculiarities of life cycle of wind energy installations as a factor impact on landscape components. *Fizichna geography and geomorphology*. 3(71). 167–176. http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2013_3_25 (In Ukrainian)
10. Zelenchuk, I. (2024). Assessment of the impact of 3D-printed construction on landscape components in the post-war reconstruction of Ukraine. / *Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference*. 24–27. 61–64. DOI: 10.46299/ISG.2024.2.4 (In Ukrainian)
11. Shi, P., Xiao, J., & Wang, Y., et al. (2014). The effects of pipeline construction disturbance on soil properties and restoration cycle. *Environ Monit Assess* 186. 1825–1835. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3496-5>
12. Li, Zhang, C., & Philbin, J., (2022). Evaluating the impact of highway construction projects on landscape ecological risks in high altitude plateaus. *Sci Rep.*, 12. 5170. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08788-8>
13. Weizhong, Su., Chaolin Gu., Guishan, Y., Shuang, C., & Feng, Z. (2010) Measuring the impact of urban sprawl on natural landscape pattern of the Western Taihu Lake watershed, China *Landscape and urban planning*. 95 (1). 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.003>
14. Izakovičová, Z., Petrovič, F., & Paudišová, E., (2022). The Impacts of Urbanisation on Landscape and Environment: The Case of Slovakia. *Sustainability*. 14(1): 60. <https://doi.org/10.3390/su14010060>
15. Divya, Y., Gopinathan, P., & Jayachandran, K., (2021) Al-Quraishi, A.M.F. Color slices analysis of land use changes due to urbanization in a city environment of Miami Area, South Florida, USA. *Modeling Earth Syst. Environ.* 7. 537–546. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00883-x>
16. Volovik, V., (2018). Landscape science. Vinnytsia: Works. (In Ukrainian)
17. Grodzinsky, M., (2014). Landscape ecology: *Textbook*. Kyiv: Znannia. (In Ukrainian)
18. Gerenchuk, K., (1969). Basic problems of physical geography. Kyiv: AND Gerenchuk (In Ukrainian)
19. Miller, H., Petlin, V., & Melnyk, A., (2002). Landscape science: theory and practice. Lviv: LNU Publishing Center. (In Ukrainian)
20. Gudzevich, A., (2012). Spatio-temporal organization of modern landscapes: *Theory and practice: monograph*. Vinnytsia: Windruk, (In Ukrainian).
21. Denysyk, H., Kanskiy, V., Kanska, V., & Denysyk B., (2022). Anthropogenic landscapes of Ukraine and their reconstruction. *Czasopismo Geograficzne*. 93(3), 417–433. <https://doi.org/10.12657/czageo-93-16>
22. Zelenchuk, I., & Sonko, S., (2023). Research on the degree of anthropogenic load on the landscape in the process of developing industrial parks in Ukraine. / *19th All-Ukrainian Scientific Taliiv Readings*. Vasyl Karazin KhNU, 23–26. <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/05/taliiv-2023.pdf> (In Ukrainian)
23. Kukurudza, S., (2004). Professor Kalenyk Gerenchuk. *Monograph*, Lviv: LNU named after Ivan Franko, (In Ukrainian)
24. Piatkova, A., & Roskos, N., (2020). Landscape science: applied aspects. *Educational and methodological manual*. Odesa: ONU I. Mechnikov, 122. (In Ukrainian)
25. 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>
26. Niță, A., Buttler, A., Rozyłowicz, 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>
27. Polyansky, S., (2022). Soil science with the basics of soil geography. *Practicum: study guide for practical classes and independent work of students*. Lutsk: PP Ivanyuk, V., P., 110. (In Ukrainian)
28. Biletsky, I. (2001). Philosophy and methodology of scientific knowledge: *Synopsis of lectures* / Kharkiv state. University of Economics. 104. (In Ukrainian)
29. Звіт інж-геолог. умов, зам. №23-24, Кірюпа, 2024
30. Shutenko, L., Rud, O., & Kichaeva, O., et al. (2017). Mechanics of soils, bases and foundations: a textbook. – Kharkiv, 563. (In Ukrainian)

The article was received by the editors 22.10.2024

The article is recommended for printing 25.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-03>

УДК (UDC): 504.45.058

Ю. С. ТУЧКОВЕНКО, д-р географ. наук, проф.,

завідувач кафедри океанології та морського природокористування

e-mail: tuch2001@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

Інститут морської біології НАН України

вул. Пушкінська, 37, Одеса, 65048, Україна

В. А. ОВЧАРУК, д-р географ. наук, проф.,

завідувач кафедри гідрології суші

e-mail: valeriya.ovcharuk@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

М. О. МАРТИНЮК, доктор філософії,

молодший науковий співробітник

e-mail: martyniuk0904@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1332-4907>

Інститут морської біології НАН України

вул. Пушкінська, 37, Одеса, 65048, Україна

Є. І. ГАЗЕТОВ

старший науковий співробітник,

e-mail: gazetov@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5362-1973>

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,

вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна

О. В. ЗОТОВА

науковий співробітник

e-mail: galajkoola@ukr.net

Український науковий центр екології моря

Французький бул. 89, Одеса, 65009, Україна

В. М. ХОХЛОВ, д-р географ. наук, проф.,

професор кафедри метеорології та кліматології

e-mail: valeriy.khokhlov@stir.ac.uk

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

University of Stirling

Stirling, FK9 4LA, Scotland, United Kingdom

D. JIANG

Research Fellow

e-mail: dalin.jiang@stir.ac.uk

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5676-5860>

University of Stirling

Stirling, FK9 4LA, Scotland, United Kingdom

A. N. TYLER

Scotland Hydro Nation Chair

e-mail: a.n.tyler@stir.ac.uk

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0604-5827>

University of Stirling

Stirling, FK9 4LA, Scotland, United Kingdom

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОД ОЗЕРНИХ ЕКОСИСТЕМ

Мета. Результати впровадження нових підходів до реалізації моніторингу за показниками екологічного стану вод озерних екосистем на прикладі Придунайських озер із використанням сучасних експрес методів визначення окремих екологічних параметрів та супутникової інформації дистанційного зондування водних об'єктів.

© Тучковенко Ю. С., Овчарук В. А., Мартинюк М. О., Газетов Є. І., Зотова О. В., Хохлов В. М., Jiang D., Tyler A. N., 2024



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Методи. Лабораторний аналіз визначення концентрації хлорофілу-а згідно з ДСТУ 7.1. 4.02-90 «Вода. Методика спектрофотометричного визначення хлорофілу α », польові вимірювання прозорості води із використанням стандартного диску Секкі, концентрацій хлорофілу-а, загальної зваженої речовини, показника спектрального ослаблення світла із використанням портативного гіперспектрального радіометру WISP-3. Оброблення процесором C2X-COMPLEX платформи Sentinel Application Platform супутникових знімків SENTINEL-2 MSI L1C завантажених з браузера Copernicus.

Результати. Влітку 2023 року здійснено 2 експедиційні виїзди на Придунайські озера Кагул, Ялпуг, Кугурлуй, Китай, Котлабух. Встановлено, що результати спостережень за показниками якості води (концентраціями хлорофілу-а, загальної зваженої речовини, показника спектрального ослаблення світла) отримані за допомогою гіперспектрального радіометру WISP-3 добре узгоджуються як між собою, так і з даними лабораторного аналізу концентрацій хлорофілу-а і вимірами прозорості води. Оцінено можливість використання супутникових знімків SENTINEL 2 MSI, оброблених із застосуванням процесора C2X-COMPLEX платформи Sentinel Application Platform (SNAP 9.0.0), для отримання оперативної інформації щодо просторово-часової мінливості концентрацій хлорофілу-а та загальної зваженої речовини в Придунайських озерах. Встановлена наявність достатньо тісного кореляційного зв'язку (коефіцієнт детермінації 0,9 і вище) між вимірними і визначеними із супутникових знімків значеннями цих показників. За даними досліджень виконаних у липні 2023 року встановлено, що концентрації хлорофілу-а у 2023 році були вищими ніж на початку XXI століття (у 2001 р.) у всіх озерах, що є очікуваним наслідком поповнення озер великими об'ємами дунайської води в першому півріччі 2023 року після посушливих попередніх років. Найбільші збільшення концентрацій спостерігались у озері Котлабух.

Висновки. Встановлено, що для моніторингу екологічного стану Придунайських озер, зокрема оперативної оцінки просторово-часової мінливості таких показників якості вод як концентрації хлорофілу-а, загальної зваженої речовини, ступеня прозорості вод, можуть бути успішно використані оброблені із застосуванням процесора C2X-COMPLEX супутникові знімки SENTINEL-2 MSI з просторовою роздільною здатністю 20-60 м на піксель. Радіометр WISP-3 може бути використаний для експрес визначення показників якості води на Придунайських озерах при організації екологічного моніторингу із залученням супутникової інформації, зокрема, з метою її верифікації за даними польових спостережень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Придунайські озера, екологічний стан, моніторинг, дистанційний, супутниковий моніторинг, калібрування

Як цитувати: Тучковенко Ю. С., Овчарук В. А., Мартинюк М. О., Газетов Є. І., Зотова О. В., Хохлов В. М., Jiang D., Tyler A. N. Сучасні підходи до моніторингу екологічного стану вод озерних екосистем. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 35-50. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-03>

In cites: Tuchkovenko, Yu. S., Ovcharuk, V. A., Martyniuk, M. O., Gazyetov, Ye. I., Zotova, O. V., Khokhlov, V. M., Jiang, D., & Tyler, A. N. (2024). Modern approaches to monitoring the ecological condition of lake ecosystem waters. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (42), 35-50. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-03> (In Ukrainian)

Вступ

Придунайські озера розташовані на лівому березі Кілійського рукава річки Дунай на ділянці від м.Рені до м.Кілії. Найбільшими з них є Кагул, Ялпуг з Кугурлуєм, Катлабух і Китай. Придунайські озера мають величезний природний потенціал для соціально-економічного розвитку півдня Одеської області. Вони є джерелом господарсько-побутового водопостачання прилеглих населених пунктів, сільськогосподарського водопостачання для зрошуваного землеробства, крупним рибогосподарським комплексом.

На теперішній час всі озера відокремлені від річки Дунай дамбами обвалування і з'єднуються з нею природними протоками чи штучними каналами, на яких побудовані

гідротехнічні споруди для регулювання водообміну і пропуску риби. Гідрологічний режим озер відповідає режиму водосховища і є регульованим. Невеликі степові річки, які впадають в озера, маловодні і є пересохлими більшу частину року. Тому річка Дунай є основним джерелом водообміну і водооновлення озер.

Режим роботи водосховищ визначається фазами водного режиму р.Дунай. У період весняного водопілля, коли рівні води в річці вищі за рівні води в озерах, шлюзи в каналах відчиняються і водойми наповнюються дунайською водою. На період літньої межени шлюзи закриваються і вода витрачається на забезпечення різних видів водоко-

ристування і випаровування. Восени, якщо рівні води в р. Дунай нижчі за рівні води в озерах, здійснюються скиди води з водосховищ в річку. Після цього шлюзи знову закриваються на зимовий період [1, 2].

З середини 90-х років минулого століття, через суттєве загальне зменшення площі зрошуваних земель, відбулось зменшення в десятки разів заборів води з озер на зрошування. Це значно погіршило екологічний стан і якість вод озер, головним чином, через значне зменшення водооновлення і водообміну у водосховищах. Погіршення якості вод полягає, насамперед, у підвищенні мінералізації води в озерах до величин, які перевищують вимоги до якості питної та зрошувальної води ($1,0-1,5 \text{ г/дм}^3$), а також у посиленні евтрофікації вод озер, що призводить до розвитку «цвітіння» синьо-зелених водоростей і зменшення прозорості води до $0,2-0,3 \text{ м}$.

Значне погіршення якості води в озерах відбувається в літньо-осінній період в роки критичного зниження рівня води в них (до рівня мертвого об'єму (РМО) і нижче), коли низькі рівні води в річці Дунай, або замулення підвідних каналів (включно з утворенням барів на вході до них), не дозволяють поповнити їх дунайською водою до нормального підпертого рівня (НПР). Така ситуація склалася у 2022 році, коли через посуху і низькі рівні води в р. Дунай, відсутність весняного водопілля, наповнення озер дунайською водою було неможливим з лютого по грудень. В результаті рівні води в озерах знизились до критичних позначок, і на початку грудня дорівнювали $0,24 \text{ м БС}$ – в озері Китай, $1,01 \text{ м БС}$ – в оз. Катлабух, $1,92 \text{ м БС}$ – в оз. Кагул і $1,44 \text{ м БС}$ – в оз. Ялпуг-Кугурлуй. Це при тому, що влітку, протягом двох місяців здійснювалась примусова штучна підкачка дунайської води насосними станціями в озера Китай (близько $300 \text{ м}^3/\text{доб}$) і Катлабух (близько $600 \text{ м}^3/\text{доб}$).

Основним джерелом водообміну і водооновлення Придунайських озер, яке за певних умов дає можливість регулювати їх гідрологічний режим і екологічний стан, є р. Дунай. В роботах [3, 4], на підставі результатів чисельних експериментів з 1-D моделлю евтрофікації, було показано, що найбільш небезпечним для екосистем водоймищ є їх обміління в маловодні роки, коли через низькі рівні р. Дунай не вдається наповнити водойми до НПР. Падіння рівня води в літній період року супроводжується зменшенням вмісту мінеральних форм біогенних

речовин та зростанням концентрації, як живої, так і косної органічної речовини. Тобто запаси мінеральних форм біогенних елементів у водоймі трансформуються у запаси органічної речовини. При цьому небезпека полягає в тому, що ця органічна речовина, внаслідок гравітаційного осадження, депонується в донних відкладах і на її біохімічне розкладання витрачається кисень, який міститься у воді. При несприятливому збігу обставин споживання кисню на біохімічне розкладання цієї органічної речовини може перевищити його надходження за рахунок фотосинтезу та газообміну з атмосферою протягом досить тривалого часу, що призведе до розвитку гіпоксії в придонних шарах води.

Концентрація органічної речовини, що утворюється в озерах у літній період року, залежить також від концентрації біогенних речовин у водах річки Дунай у весняні місяці, коли має місце їх надходження у водойму у великих обсягах. Високий вміст біогенних речовин у водах р. Дунай в період наповнення водоймища тягне за собою раннє цвітіння фітопланктону і посилення піку його біомаси на початку літа, коли біомаса зоопланктону ще не досягла тих значень, щоб стримувати зростання фітопланктону.

Проблема посилення евтрофікації вод Придунайських озер обговорювалась також в роботах [5-7].

Залежність екологічного стану Придунайських озер від метеорологічних умов року, водності річки Дунай, пропускної здатності підвідних каналів, визначає необхідність реалізації регулярного моніторингу за індикаторами його погіршення. Такими показниками можуть бути, зокрема, значне збільшення концентрацій хлорофілу-а, загальної зваженої речовини, зменшення прозорості вод.

В умовах дефіциту коштів і обмежень на реалізацію регулярного екологічного моніторингу водних об'єктів України через війну з російською федерацією, найбільш перспективним і економічно виправданим для контролю екологічного стану озер є використання даних супутникового дистанційного зондування Землі [8, 9]. Цей напрям успішно розвивається, зокрема, дослідницькою групою спостережень за Землею в Університеті Стірлінга (Великобританія, Шотландія) [10-13]. Оперативної служба Обсерваторії озер Великобританії (UK Lakes Observatory-UKLO) надає інформацію про якість води для понад 900 водойм Великобританії за допомогою супутникових спостережень [14]. Служба на-

разі використовує дані супутників Copernicus Sentinel-2A/B Європейського космічного агентства для отримання щотижневих агрегованих оцінок концентрації хлорофілу-а у фітопланктоні з роздільною здатністю пікселів 20 м. Дані обробляються за допомогою інноваційного ланцюжка обробки, який був розроблений протягом кількох років досліджень в Університеті Стірлінга. Ланцюжок обробки використовує найсучасніший підхід для атмосферної корекції супутникових даних і поєднує його з набором алгоритмів для оцінки хлорофілу-а, які реалізуються залежно від оптичних характеристик озера, що знаходиться під спостереженням [15 – 17].

В 2023 році, в рамках британсько-української грантової програми з досліджень та інновацій TWINNING, Одеським державним екологічним університетом спільно з Університе-

том Стірлінга виконувався спільний дослідницький проєкт CORNELIA «Capacity Building in Earth observation for national water quality assessment / Розбудова потенціалу в галузі спостереження за Землею щодо національної оцінки якості води», спрямований на запровадження супутникових методів дистанційного моніторингу якості води в водоймах України. В межах цього проєкту Придунайські озера використовувались як істотний полігон для відпрацювання методик, які впроваджуються [18].

Мета – надати результати впровадження нових підходів до реалізації моніторингу за показниками екологічного стану вод озernih екосистем на прикладі Придунайських озер із використанням сучасних експрес методів визначення окремих екологічних параметрів та супутникової інформації дистанційного зондування водних об'єктів.

Методи і матеріали

В дослідженні використано дані щодо концентрацій хлорофілу-а, загальної (органічної і неорганічної) зваженої речовини (Total Suspended Matter - TSM), показника спектрального ослаблення світла (K_d) отримані за допомогою портативного гіперспектрального радіометру WISP-3 [19, 20], який застосовувався для дистанційного сканування поверхні води з плавзасобу та берега.

WISP-3 містить три гіперспектральні радіометри, які вимірюють відповідно низхідне випромінювання, висхідне випромінювання і дифузну низхідну радіацію. За сигналом цих трьох радіометрів визначається коефіцієнт відбиття («колір») води.

WISP-3 розроблено спеціально для спектроскопії відбиття природних водойм. Спектроскопія відбиття пов'язує випромінювання, відбите об'єктом, з його матеріальним складом. Завдання при розробці алгоритмів відбиття полягає в тому, щоб зв'язати властивості поглинання та розсіювання світла речовин, які присутні у водоймі (наприклад, пігменти фітопланктону, зважені речовини), з їхнім впливом на колір води за різних концентрацій кожної речовини. Крім того, головний інтерес для визначення проникнення сонячного світла у товщу води, яке стимулює водний фотосинтез, становить масове ослаблення світла комбінованими речовинами. Алгоритми, які використовуються для отримання концентрацій цих речовин із вимірюваного коефіцієнта відбиття, вбудовані в WISP-3 за замовчуванням і вважаються

придатними для низки типів вод - від помірно до дуже каламутних.

Більшість вбудованих алгоритмів WISP-3 націлені на певні області в спектрі відбиття, які відповідають діапазонам довжин хвиль, де відповідна речовина має великий вплив на кількість відбитого світла, тоді як інші речовини не мають великого впливу на спектр відбиття. Оптичні сигнали витягуються з різниць між цими спектральними смугами або з відношень смуг до еталонних смуг. Ці алгоритми, як правило, націлені на одну-чотири смуги одночасно для вирішення зворотної проблеми.

З метою перевірки достовірності даних щодо концентрації хлорофілу-а, отриманих із використанням гіперспектрального радіометру WISP-3, паралельно виконувався забір проб води і їх лабораторний аналіз для визначення концентрації хлорофілу-а стандартним методом відповідно до ДСТУ 7.1.4.02-90 «Вода. Методика спектрофотометричного визначення хлорофілу α » [21], а також польові вимірювання прозорості води із використанням стандартного диску Секкі.

На придунайські озера Кагул, Ялпуг-Кугурлуй, Китай, Котлабух влітку 2023 року здійснено 2 експедиційні виїзди: 19-20 липня і 25-26 липня. Відбір проб на концентрацію хлорофіла-а і прозорість води з човна, з одночасним вимірюванням параметрів якості води із використанням гіперспектрального радіометру WISP-3, виконувався тільки на озерах Ялпуг-Кугурлуй і Китай.

Загальне уявлення про станції, на яких виконувався відбір проб на Придунайських озерах, можна скласти з рис. 1.

Для оцінки можливостей організації дистанційного моніторингу якості води Придунайських озер використовувались супутникові знімки SENTINEL-2 MSI L1C, на основі обробки яких були отримані поля просторового розподілу концентрацій хлорофілу-а та загальної зваженої речовини

TSM (Total Suspended Matter). Багатоспектральний оптичний прилад MSI (MultiSpectral Instrument) супутника SENTINEL-2 здійснює вимірювання в 13 спектральних діапазонах з просторовою роздільною здатністю 10-60 м на піксель. MSI працює пасивно, збираючи сонячне світло відбите від Землі. Спектральне розділення кожного діапазону на окремі довжини хвиль виконується смуговими фільтрами, встановленими зверху детекторів.

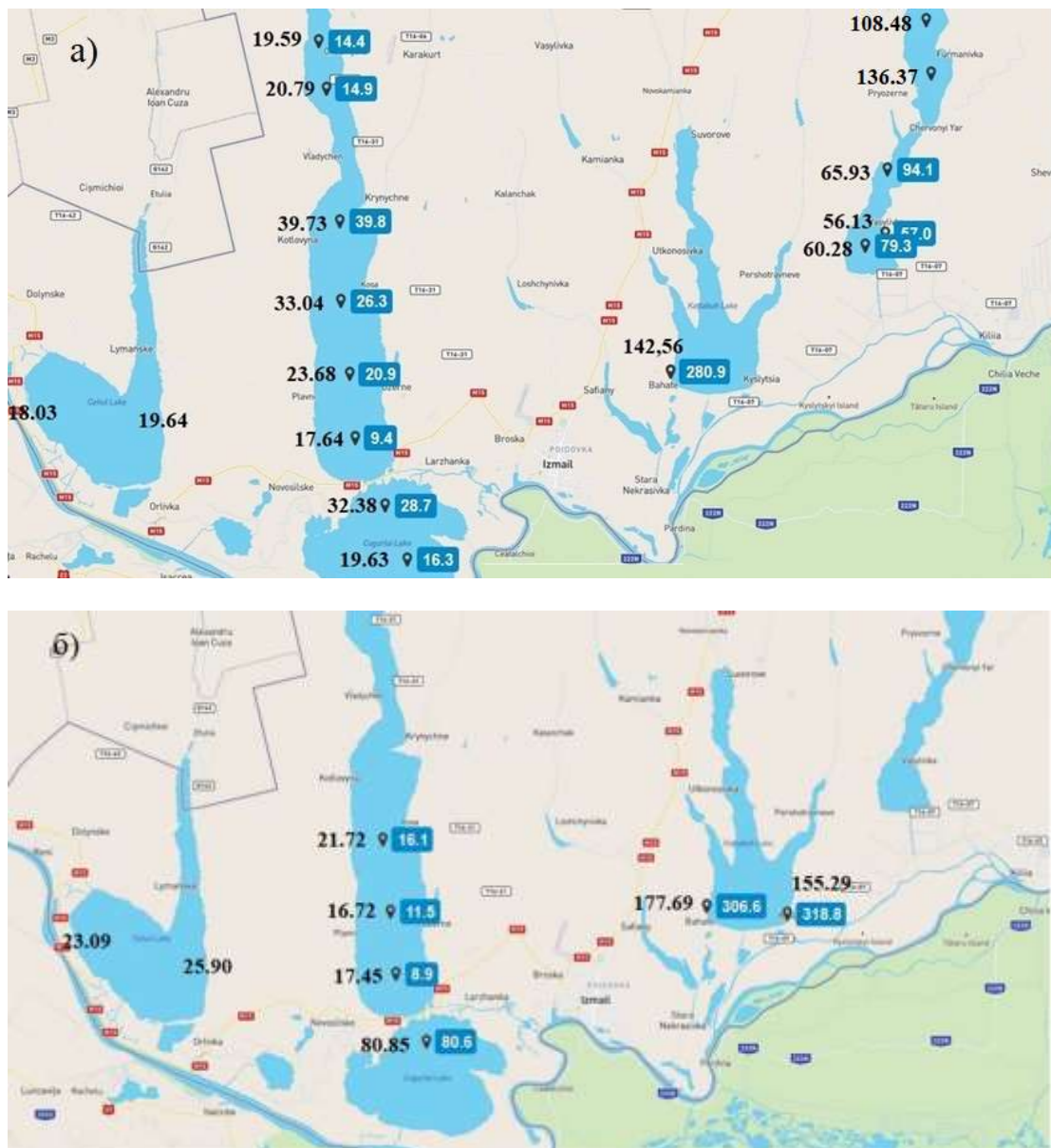


Рис. 1 – Концентрації хлорофілу-а, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, визначені інструментальним методом із застосуванням WISP-3 (значення в синіх прямокутниках праворуч від точки спостереження) та стандартним лабораторним методом (значення чорними цифрами ліворуч від точки спостереження): а) 19-20 липня 2023 р.; б) 25-26 липня 2023 р.

Fig. 1 – Chlorophyll-a concentrations, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, determined by the instrumental method using WISP-3 (values in blue rectangles to the right of the observation point) and standard laboratory method (values in black numbers to the left of the observation point): a) July 19-20, 2023; б) July 25-26, 2023

Супутникові зображення завантажувались з браузеру Copernicus (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>).

Критеріями відбору знімків були наявність вимірювань концентрацій хлорофілу-а та загальної зваженої речовини у день прольоту супутника (і день після прольоту) та відсутність хмарності над пунктами спостережень.

Відібрані знімки оброблялися процесором C2RCC (Case 2 Regional CoastColour) платформи Sentinel Application Platform (SNAP 9.0.0), який дає змогу отримувати концентрації хлорофілу-а та загальної зваженої речовини в поверхневому шарі водних об'єктів.

C2RCC - це процесор для атмосферної корекції та отримання методом навчання нейронних мереж п'яти основних біооптичних компонентів поглинання та розсіювання світла частинками у водному середовищі: поглинання детритом, жовтою речовиною та пігментами фітопланктону; розсіювання «білими частинками» та «типовим осадом». Алгоритмічні основи C2RCC були закладені Schiller H., Doerffer R [22], які вперше навчили штучні нейронні мережі. Надалі мережі були реалізовані в процесорі Case-2

Regional для внутрішніх вод, перетворившись на процесор C2RCC [23]. Остання розробка цього алгоритму, так звана C2X-COMPLEX (C2XC), застосовується для більш каламутних прибережних та внутрішніх вод [24] і вона була використана у цьому дослідженні.

З метою збільшення точності результатів у процесорі задавалися реальні параметри водного середовища: солоність та температура; атмосферні параметри: тиск та вміст озону, - були залишені за умовчанням. Отримані з використанням алгоритму C2X-COMPLEX концентрації хлорофілу-а та TSM бралися з розрахункового растру в точках спостережень шляхом накладання на растр точок з координатами польових вимірювань та експорту розрахункових величин у текстовий формат.

До аналізу залучалися наявні супутникові знімки S2B_MSIL1C_20230719T090559_N0509_R050_T35TPL і S2A_MSIL1C_20230721T085601_N0509_R007_T35TPL отримані 19 та 21.07.2023 р. На жаль, знімок S2B_MSIL1C_20230726T085559_N0509_R007_T35TPL за 26.07.2023 р. було неможливо використовувати через щільну хмарність над акваторією більшості озер.

Результати

Визначені із використанням стандартного аналізу відібраних проб в лабораторних умовах і гіперспектрального радіометру WISP-3 концентрації хлорофілу-а на Придунайських озерах показані на рис. 1. Для визначення відповідності цих даних, отриманих різними методами, був побудований графік, показаний на рис. 2. Видно, що результати вимірювань радіометром WISP-3 в цілому добре узгоджуються з даними лабораторних аналізів, але при значеннях концентрації хлорофілу-а більших за $40 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ WISP-3 починає завищувати реальні значення, визначені лабораторно, хоча кореляційна залежність між ними зберігається. В діапазоні значень від 15 до $100 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ зв'язок між значеннями концентрації хлорофілу-а визначеними лабораторно і із використанням радіометру WISP-3 має лінійний характер.

В період досліджень найбільші концентрації хлорофілу-а, які перевищували $100 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$, спостерігались в озері Катлабух і в північній частині озера Китай, найменші – від 16

до $26 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ – в озері Кагул та південній частині озера Ялпуг.

Виміряні у липні 2023 року концентрації хлорофілу-а порівнювались з результатами вимірювань, виконаних на Придунайських озерах влітку 2001 р. [6]. З таблиці видно, що концентрації хлорофілу-а у 2023 році вище ніж у 2001 р. у всіх озерах. Найбільше збільшення концентрацій (в 9 разів) відбулося у озері Котлабух. Ступінь його трофності збільшилась зі статусу евтрофного ($11\text{-}30 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$) до гіпертрофного ($>150 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$) [25].

Зауважимо, що хоча в 2001 році концентрації хлорофілу-а в озері Катлабух були значно меншими ніж в озері Китай, але за свідченням [6] фотосинтетична активність фітопланктону була в 2-3 рази вищою, ніж в інших озерах. Тобто озеро Катлабух мало найбільш високий трофічний статус серед інших.

Отже за даними вимірів хлорофілу-а стандартним лабораторним методом, у липні 2023 року озера Кагул і Ялпуг відносять-

Таблиця

Вміст хлорофілу-а (в $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) у воді Придунайських озер влітку 2001 і 2023 років

Table

Chlorophyll-a content (in $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) in the water of the Danube lakes in the summer of 2001 and 2023

Період	літо 2001 р.		липень 2023 р.	
Водойма	середнє	діапазон змін	середнє	діапазон змін
Кагул	11,23	7,21 ÷ 15,41	21,69	18,03 ÷ 25,90
Ялпуг	12,84	2,28 ÷ 22,97	23,37	16,72 ÷ 39,73
Кугурлуй	12,26	2,91 ÷ 27,90	44,29	19,63 ÷ 80,85
Котлабух	17,60	6,20 ÷ 25,70	158,51	142,56 ÷ 177,69
Китай	69,00	46,60 ÷ 95,61	85,44	56,13 ÷ 136,37

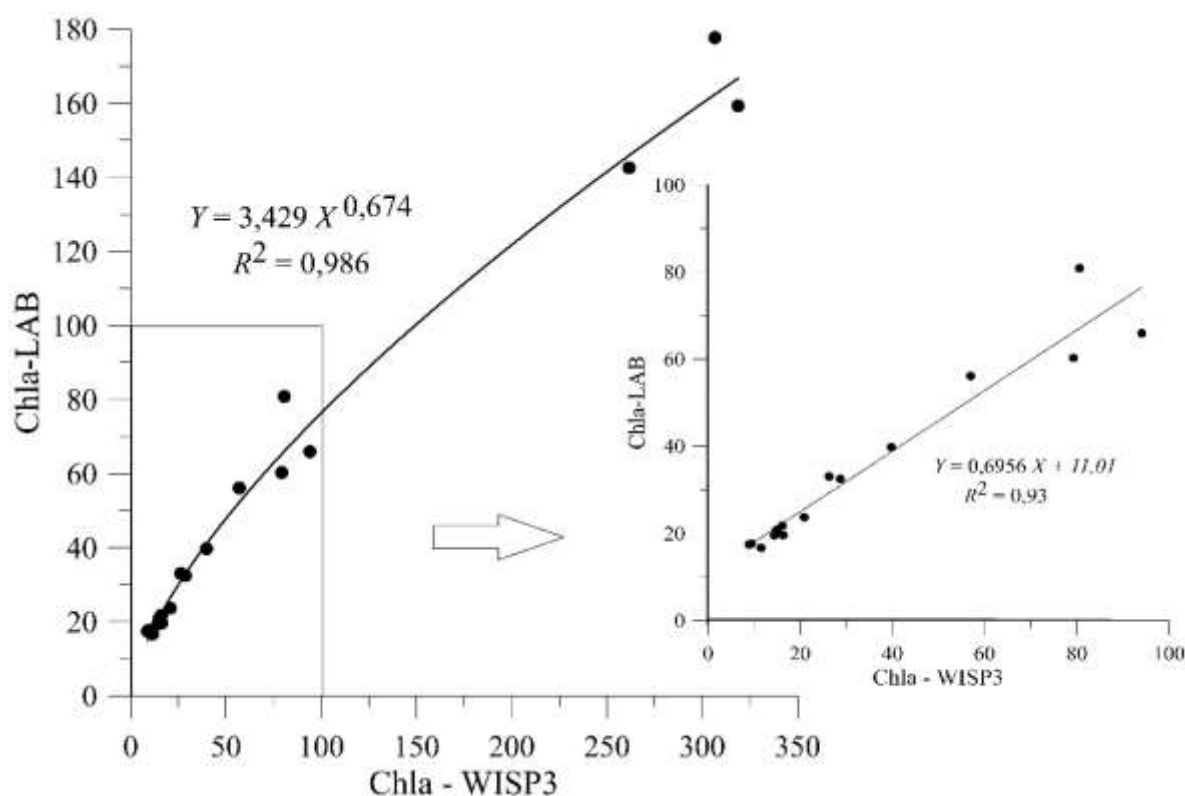


Рис. 2 – Кореляційна залежність між концентраціями хлорофілу-а (в $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) визначеними в результаті застосування гіперспектрального радіометру WISP-3 (Chla-WISP3) та в лабораторних умовах (Chla-LAB). Тут і у подальшому, R^2 – коефіцієнт детермінації

Fig. 2 – Correlation dependence between the concentrations of chlorophyll-a (in $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) determined as a result of using the hyperspectral radiometer WISP-3 (Chla-WISP3) and in laboratory conditions (Chla-LAB). Here and in the following, R^2 is the coefficient of determination

ся за трофічним статусом до евтрофних, Кугурлуй – до еволітрофних, політрофних, Китай – до політрофних, а Котлабух – до гіпертрофних.

Визначені із застосуванням WISP-3 концентрації загальної зваженої речовини в водах озер показані на рис. 3. Вони добре корелюють з виміряною в ході польових досліджень прозорістю вод (рис. 4), що є цілком очікуваним, оскільки саме концентрація у

воді зваженої речовини (мінеральної та органічного походження) визначає коефіцієнт ослаблення у воді сонячної радіації та локальну прозорість вод. Найбільші концентрації зависі в період експедиційних досліджень спостерігались в озері Катлабух, а найменші – в озері Ялпуг

Загальна концентрація зважених речовин складається з часток як мінерального, так і органічного походження. Концентрація

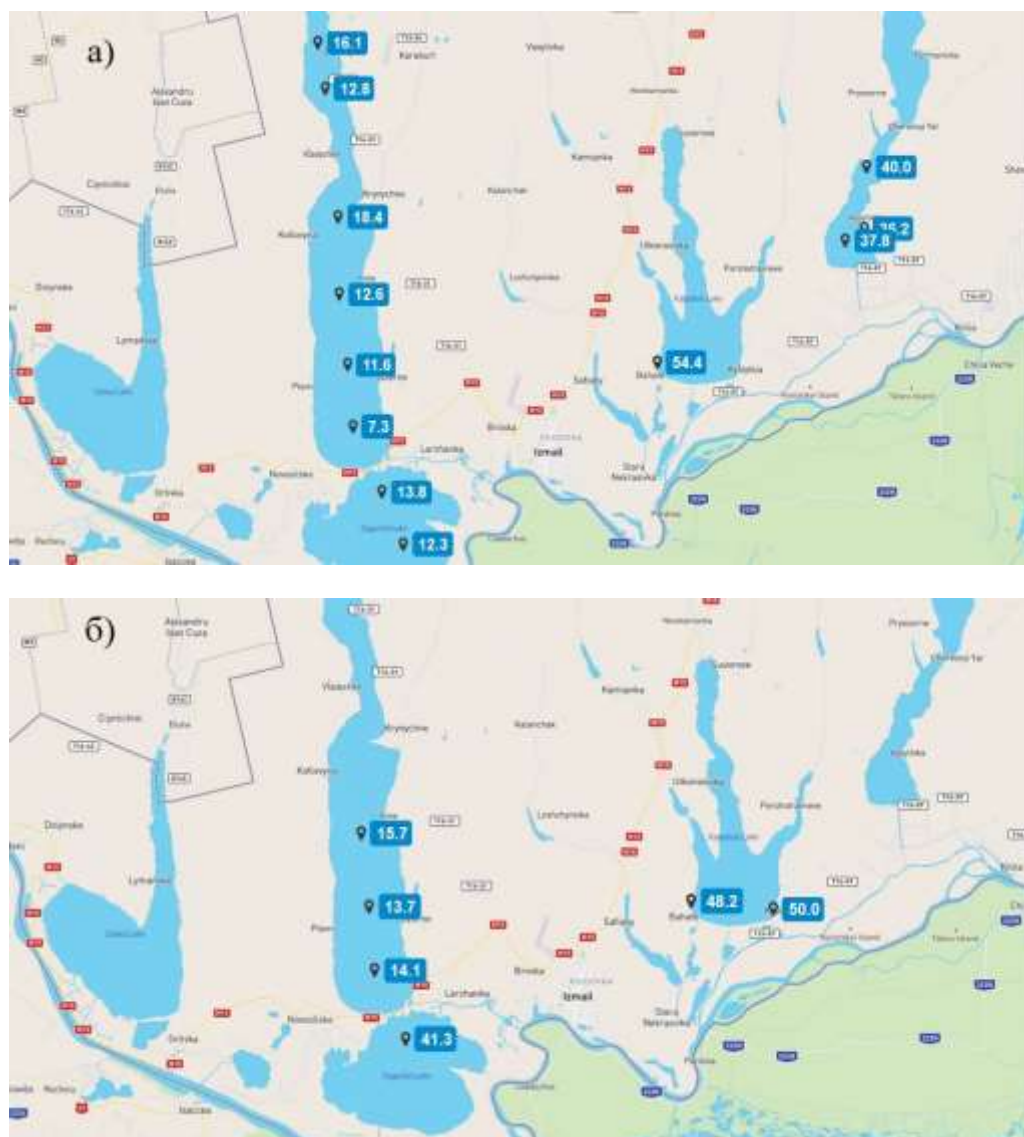


Рис. 3 – Концентрації загальної зваженої речовини ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) визначені із застосуванням гіперспектрального радіометру WISP-3: а) 19-20 липня 2023 р.; б) 25-26 липня 2023 р.

Fig. 3 – Concentrations of total suspended matter ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) were determined using the WISP-3 hyperspectral radiometer: а) July 19-20, 2023; б) July 25-26, 2023.

хлорофілу-а є опосередкованим показником біомаси фітопланктону у воді, який входить до складу зваженої органічної речовини. У разі малого вмісту мінеральної зависі у воді, зростання концентрації хлорофілу-а (біомаси фітопланктону) буде призводити до відповідного збільшення загальної концентрації зважених речовин. Навпаки, у разі значного вмісту у воді мінеральної зависі та детриту, які надходять до водної товщі разом з боковим стоком з водозбору або в результаті вітро-хвильового скаламучування донних відкладів, зв'язок між концентрацією хлоро-

філу-а і загальною концентрацією зважених речовин не буде простежуватись.

Зв'язок між концентрацією TSM та концентрацією хлорофілу-а у водах Придніпурських озер, визначеною лабораторно і із застосуванням радіометру WISP-3, показаний на рис. 5. З рисунку видно, що збільшення концентрації хлорофілу-а супроводжується збільшенням загальної концентрації зважених речовин. Це свідчить про те, що у водах озер у вимірній величині TSM переважав фітопланктон. У разі використання даних щодо концентрації хлорофілу-а визначених лабораторно, зв'язок між ними і зага-

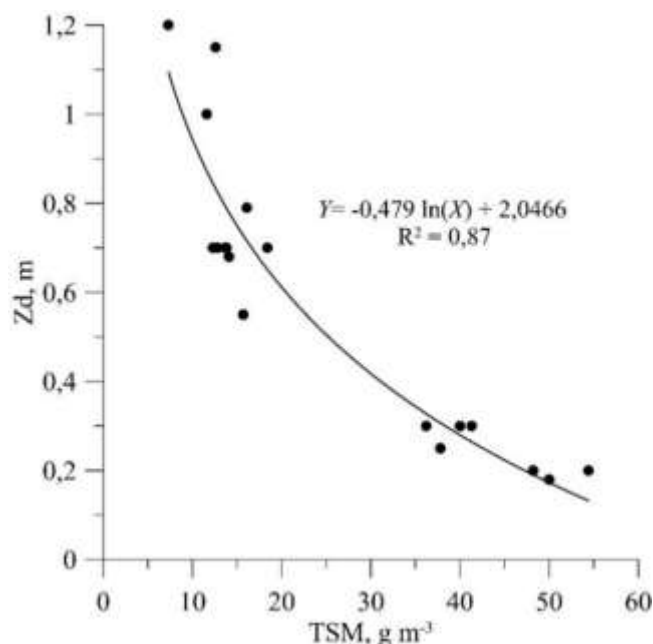


Рис. 4 – Кореляційна залежність між концентраціями загальної зваженої речовини (TSM, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) визначеними в результаті застосування гіперспектрального радіометру WISP-3 та вимірюною в польових умовах прозорістю вод (Z_d , м)

Fig. 4 – Correlation between concentrations of total suspended matter (TSM, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) determined as a result of the use of the WISP-3 hyperspectral radiometer and water transparency measured in field conditions (Z_d , m)

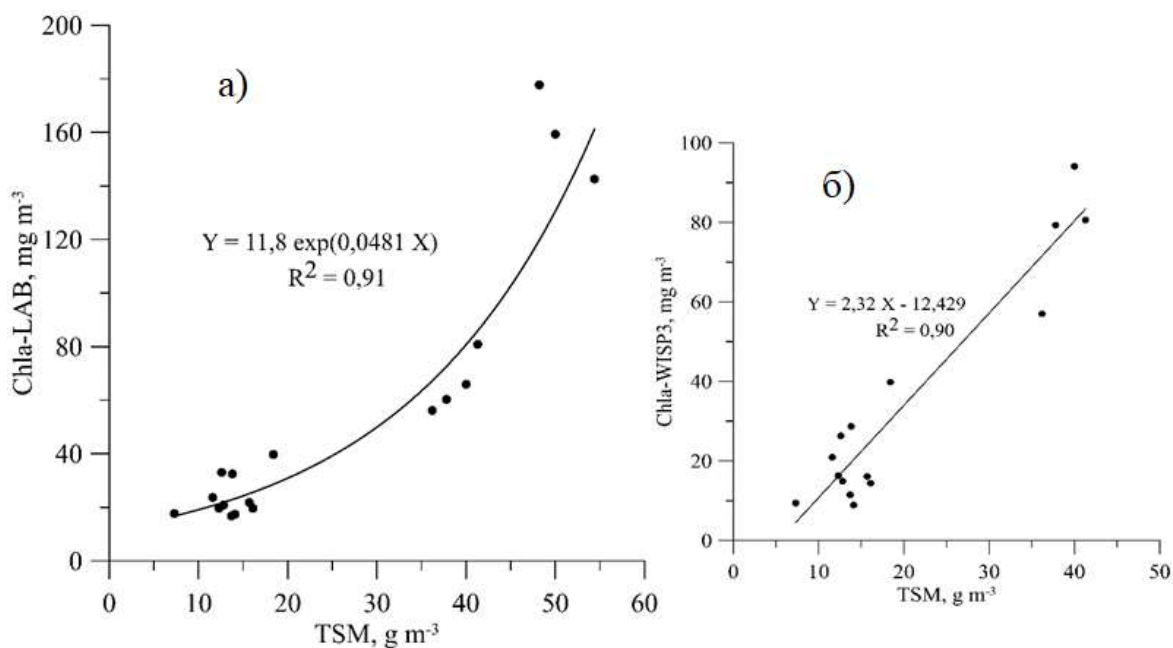


Рис. 5 – Кореляційна залежність між концентраціями загальної зваженої речовини (TSM, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) визначеними в результаті застосування гіперспектрального радіометру WISP-3 та концентраціями хлорофілу-а (в $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) визначеними в лабораторних умовах (Chla-LAB) (а) і виміряними WISP-3 (б)

Fig. 5 – Correlation between concentrations of total suspended matter (TSM, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) determined using the WISP-3 hyperspectral radiometer and chlorophyll-a concentrations (in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) determined in laboratory conditions (Chla-LAB) (a) and measured WISP-3 (б)

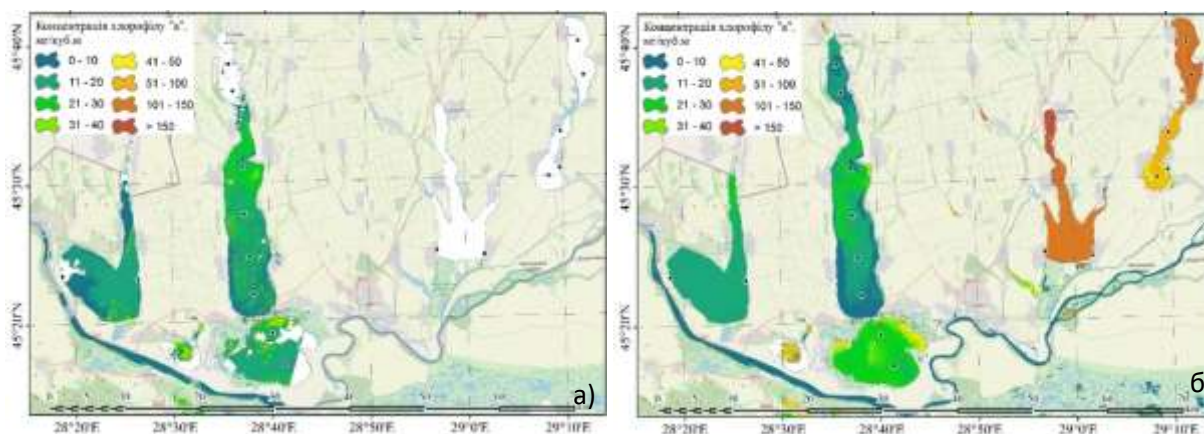


Рис. 6 – Концентрації хлорофілу-а (в $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) визначені із застосуванням розрахункового процесора C2RCC (SNAP) за знімками SENTINEL-2 від 19.07.2023 р. (а) та 21.07.2023 р. (б)

Fig. 6 – Chlorophyll-a concentrations (in $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) were determined using the C2RCC calculation processor (SNAP) based on SENTINEL-2 images from 07.19.2023 (a) and 07.21.2023 (б)

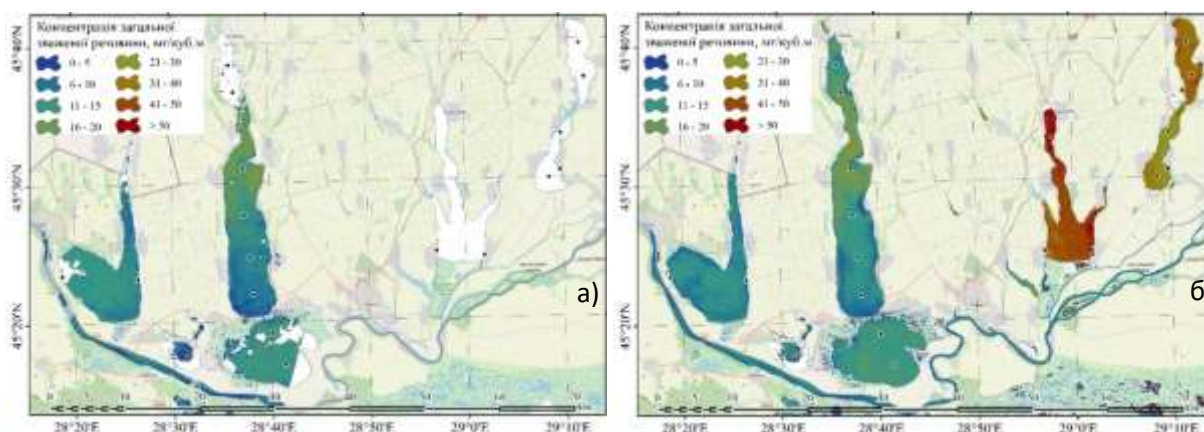


Рис. 7 – Концентрації загальної зваженої речовини (TSM), в $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, визначені із застосуванням розрахункового процесора C2RCC (SNAP) за знімками SENTINEL-2 від 19.07.2023 р. (а) та 21.07.2023 р. (б)

Fig. 7 – Concentrations of total suspended matter (TSM), in $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, determined using the C2RCC calculation processor (SNAP) based on SENTINEL-2 images from 07.19.2023 (a) and 07.21.2023 (б)

льною концентрацією зважених речовин має нелінійний експоненціальний характер. Для значень хлорофілу-а визначених із використанням WISP-3 з човна в озерах Ялпуг-Кугурлуй, Китай зв'язок з TSM лінійний.

Одна з головних задач роботи полягала в оцінці можливості використання супутникових знімків SENTINEL 2 MSI для отримання оперативної інформації щодо просторово-часової мінливості таких показників якості вод Придунайських озер як концентрації хлорофілу-а та загальної зваженої речовини. На рис. 6, 7 показані оброблені супутникові знімки з концентраціями хлорофілу-а і TSM за інформацією, отриманою при прольоті супутників 19.07 та 21.07.2023 р.

Кореляційні зв'язки між значеннями хлорофілу-а, визначеними в результаті польових досліджень на озерах Ялпуг, Кугурлуй, Китай і розрахованими за супутниковим знімком від 21.07.2023 року, показані на рис. 8. Вид зв'язку між значеннями концентрацій хлорофілу-а визначеними лабораторно і розрахованими за супутниковим знімком більш близький до ступеневої функції, а між значеннями виміряними із застосуванням WISP-3 і визначеними із супутникового знімку – має лінійний характер. При цьому слід враховувати, що дані щодо концентрації хлорофілу-а визначених лабораторно, які брались для порівняння зі значеннями визначеними із супутникового знімку, було більше (13) ніж вимірю-

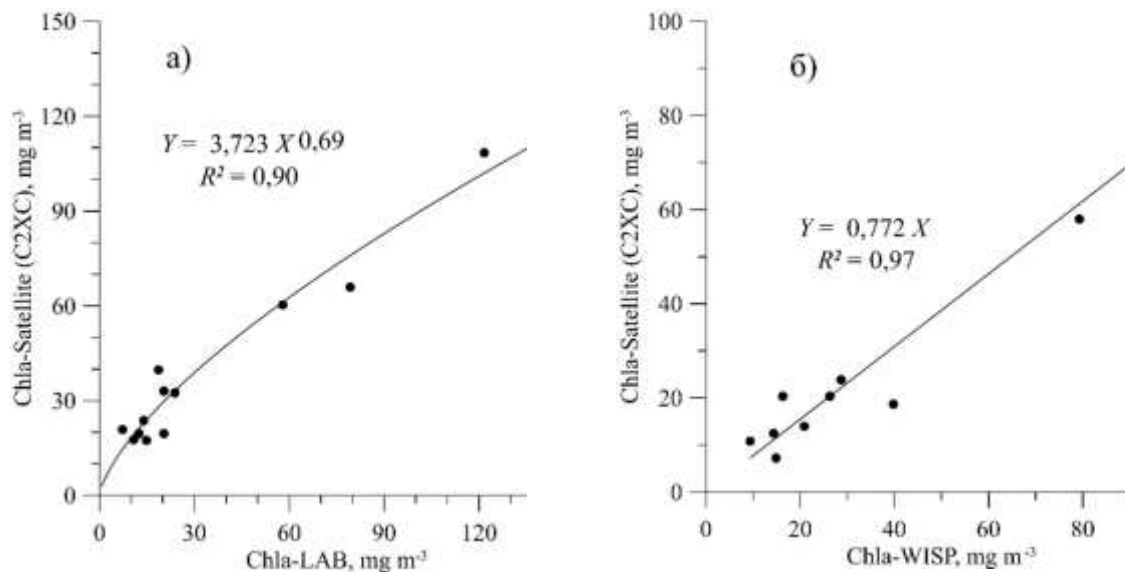


Рис. 8 – Кореляційна залежність між концентраціями хлорофілу-а (в $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) визначеними в лабораторних умовах (Chla-LAB) (а) і виміряними із застосуванням гіперспектрального радіометру WISP-3 (б) 19-20.07.2023 р. зі значеннями визначеними в пунктах спостережень із супутникового знімку (Chla-Satellite) зробленого 21.07.2023 р.

Fig. 8 – Correlation between the concentrations of chlorophyll-a (in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) determined in laboratory conditions (Chla-LAB) (a) and measured using the WISP-3 hyperspectral radiometer (б) on July 19-20, 2023 with the values determined in observation points from the satellite image (Chla-Satellite) taken on 07.21.2023

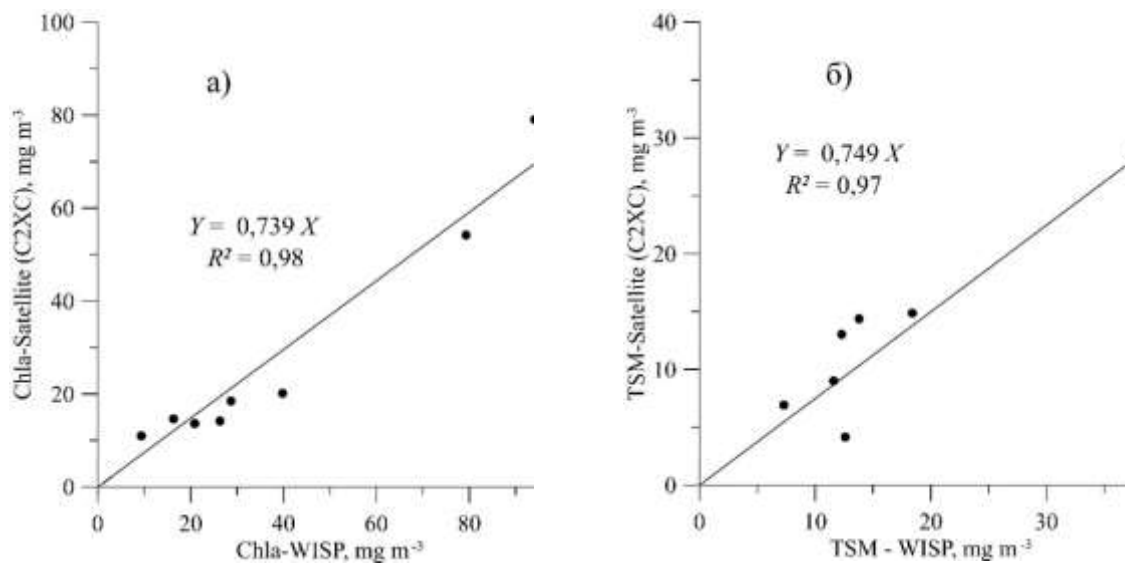


Рис. 9 – Кореляційна залежність між концентраціями хлорофілу-а, в $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, (а) і загальної зваженої речовини TSM, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, (б) визначеними в результаті застосування гіперспектрального радіометру WISP-3 і значеннями визначеними із найближчих за часом супутникових знімків (відповідно, Chla-Satellite і TSM-Satellite)

Fig. 9 – Correlation between the concentrations of chlorophyll-a, in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, (a) and total suspended matter TSM, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, (б) determined as a result of using the WISP-3 hyperspectral radiometer and the values determined from the nearest satellite images (respectively, Chla-Satellite and TSM-Satellite)

вань із використанням WISP-3 (10) і вони охоплювали більший діапазон. Зауважимо, що порівняння значень концентрації хлорофілу-а вимірянних з човна із застосуванням WISP-3 і розрахованих за наявними супутниковими

знімками в найближчі дні, коли проводились виміри (тобто 19.07 для озер Ялпуг-Кугурлуй і 21.07 для озера Китай), дало сходині результати рис. 9а.

На відміну від хлорофілу-а, прийнятну для подальшого аналізу лінійну кореляційну залежність між значеннями TSM визначеними із використанням WISP-3 і розрахованими за

супутниковими знімками, вдалось отримати лише у разі використання знімків за дні найближчі до часу проведення вимірів (рис. 9 б).

Висновки

В результаті досліджень, проведених у липні 2023 року на Придунайських озерах встановлено, що для моніторингу їх екологічного стану, зокрема оперативної оцінки просторово-часової мінливості таких показників якості вод як концентрації хлорофілу-а, загальної зваженої речовини, ступеня прозорості вод, можуть бути успішно використані оброблені із застосуванням процесора C2X-COMPLEX супутникові знімки SENTINEL-2 MSI з просторовою роздільною здатністю 20-60 м на піксель.

Встановлена наявність достатньо тісного кореляційного зв'язку (коефіцієнт детермінації 0,9 і вище) між вимірними і визначеними із супутникових знімків значеннями концентрації хлорофілу-а та загальної зваженої органічної речовини (TSM). Тіснота кореляційного зв'язку значно підвищується у разі застосування даних супутникових знімків і результатів спостережень виконаних в один день – день проходження супутника над водоймою.

Результати спостережень за показниками якості води, отримані за допомогою гіперспектрального радіометру WISP-3, добре уз-

годжуються між собою (хлорофіл-а – TSM), а також з даними лабораторного аналізу концентрації хлорофілу-а, вимірів прозорості води. Отже радіометр WISP-3 може бути використаний для експрес визначення показників якості води на Придунайських озерах при організації екологічного моніторингу із залученням супутникової інформації, зокрема, з метою її верифікації за даними польових спостережень.

За даними досліджень виконаних у липні 2023 року встановлено, що концентрації хлорофілу-а у 2023 році були вищими ніж на початку XXI століття (у 2001 р.) у всіх озерах. Це є очікуваним наслідком поповнення озер великими об'ємами дунайської води в першому півріччі 2023 року після посушливих попередніх років. Найбільше збільшення концентрації (в 9 разів) відбулося у озері Котлабух.

Задача подальших досліджень полягає у накопиченні масивів узгоджених даних, отриманих з оброблених супутникових знімків та за даними спостережень, для підтвердження та корегування отриманих калібрувальних залежностей і використання їх у практиці реалізації оперативного моніторингу.

Подяки

Це дослідження отримало підтримку від Research England, on behalf of UK Research and Innovation (UKRI) [Project #11147]' (This work was supported by the Research England, on behalf of UK Research and Innovation (UKRI) [Project #11147]).

Конфлікт інтересів

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

Список використаної літератури

1. Медведєва Ю. С., Гопченко Є. Д., Шакірзанова Ж.Р. Водний і сольовий режими озера Китай: монографія. Одеса: Одеський державний екологічний університет, «ТЕС», 2018. 136 с.
2. Шакірзанова Ж. Р., Романова Є. О. Водний і сольовий режими озера Катлабух: монографія. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. 336 с.
3. Тучковенко Ю.С., Аль-Субари Али Ахмед Салех. Моделирование эвтрофикации озер Ялпуг-Кугурлуй. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2010. Вип. 9. С. 159-172.
4. Иванов В. А., Гопченко Е. Д., Тучковенко Ю. С., Сербов Н. Г., Бузийн Г. Д. Управление качеством вод Причерноморских лиманов и Придунайских озер путем регулирования водного баланса. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2006. Вип. 14. С. 93-106.
5. Ковальчук Л.Й., Мокієнко А.В. Гігієнічна оцінка евтрофікації поверхневих водойм Українського Придунав'я. *Актуальні проблеми сучасної медицини*. 2014. Вип. 14(4). С. 73-78
6. Ковалева Н. В., Мединец В. И. Исследование фотосинтетической активности фитопланктона в Придунайских озерах в 2001-2002 гг. *Вісник ОНУ*. 2002. Том 7, Вип 2. С. 63-69.

7. Джуртубаев М. М., Урбанская Т. В., Джуртубаев Ю.М. Многолетняя динамика гидрологических и гидрохимических показателей озера Китай (Одесская область, Украина). *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 2016. Вип. 24(2). С. 384-391. DOI: <https://doi.org/10.15421/011651>
8. Agnoli, L., Urquhart, E., Georgantzis, N., Schaeffer, B., Simmons, R., Hoque, B., Neely, M. B., Neil, C., Oliver, J., Tyler, A. (2023). Perspectives on user engagement of satellite Earth observation for water quality management. *Technological Forecasting and Social Change*, 189, 122357. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122357>
9. Kumar, M., Khamis, K., Stevens, R., Hannah, D.M., Bradley, C. (2024). In-situ optical water quality monitoring sensors—applications, challenges, and future opportunities. *Frontiers in Water*, 1380133. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1380133>
10. Jiang, D., Matsushita, B., Pahlevan, N., Gurlin, D., Fichot, C.G., Harringmeyer, J., Sent G., Brito, A.C., Brotas V., Werther M., Mascarenhas, V., Blake, M., Hunter P., Tyler, A., Spyrakos, E. (2023). Estimating the concentration of total suspended solids in inland and coastal waters from Sentinel-2 MSI: A semi-analytical approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 204, 362–377. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.09.020>
11. Liu, D., Spyrakos, E., Tyler, A., Shi, K., Duan, H. (2024). Satellite algorithms for retrieving dissolved organic carbon concentrations in Chinese lakes. *Science of the Total Environment*, 955, 177117. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177117>
12. Wang, S., Jiang, X., Spyrakos, E., Li, J., McGlinchey, C., Constantinescu, A.M., Tyler, A.N. (2024). Water color from Sentinel-2 MSI data for monitoring large rivers: Yangtze and Danube. *Geo-Spatial Information Science*, 27(3), 854–869. <https://doi.org/10.1080/10095020.2023.2258950>
13. Jiang, D., Scholze, J., Liu, X., Simis, S.G.H., Stelzer, K., Müller, D., Hunter, P., Tyler, A., Spyrakos, E. (2023). A data-driven approach to flag land-affected signals in satellite derived water quality from small lakes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 117, 103188. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103188>
14. Monitoring water resources from space. *University of Stirling. Earth Observation Research Group. UK Lakes Observatory*. URL: <https://eo4ukwater.stir.ac.uk/> (дата звернення: 17.09.2024)
15. Pahlevan N., Mangin A., Balasubramanian S.V., Smith B., Alikas K., Arai K., Barbosa C., Belanger S., Binding C., Bresciani M., Giardino C., Gurlin D., Fan Y., Harmel T., Hunter P., Ishikaza J., Kratzer S., Lehmann M.K., Ligi M., Ma R., Martin-Lauzer F.-R., Olmanson L., Oppelt N., Pan Y., Peters S., Reynaud N., de Carvalho L.A.S., Simis S., Spyrakos E., Steinmetz F., Stelzer K., Sterckx S., Tormos T., Tyler A., Vanhellemont Q., & Warren M. ACIX-Aqua: A global assessment of atmospheric correction methods for Landsat-8 and Sentinel-2 over lakes, rivers, and coastal waters. *Remote Sensing of Environment*. 2001. Vol.258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112366>
16. Neil C., Spyrakos E., Hunter P.D., & Tyler, A.N. A global approach for chlorophyll-a retrieval across optically complex inland waters based on optical water types. *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 229(6). P. 159-178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.027>
17. Jiang D., Matsushita B., Pahlevan N., Gurlin D., Lehmann M. K., Fichot C. G., ... & O'Donnell D. Remotely estimating total suspended solids concentration in clear to extremely turbid waters using a novel semi-analytical method. *Remote sensing of environment*. 2021. Vol. 258(11-12), 112386. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112386>
18. Ovcharuk, V., Tyler, A., Tuchkovenko, Y., Khokhlov, V., Jiang, D., Spyrakos, E., Martyniuk M., Hoptsi, M. (2023). Estimation of chlorophyll in Danube Lakes in Ukraine using observations from Copernicus Sentinel-2 MSI. *Poster presentation of the Fifth Space for Hydrology Workshop, Hydrospace 2023, Lisbon, Portugal, 27 November - 1 December 2023*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31265.99687>
19. WISP-3 portable water quality spectrometer. *Water Insight*. URL: <https://www.waterinsight.nl/info/wisp-3> (дата звернення: 15.07.2023)
20. How to use the WISP-3 Hyperspectral Spectrometer for water quality measurement. *Water Insight*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=FEPqcFQRkoE> (дата звернення: 15.07.2023)
21. ДСТУ ISO 10260:2007 Якість води. Вимірювання біохімічних параметрів. Спектрометричний метод визначення концентрації хлорофілу-а (ISO 10260:1992, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=29451
22. Schiller H., Doerffer R. Neural network for emulation of an inverse model operational derivation of Case II water properties from MERIS data. *International Journal of Remote Sensing*. 1999. Vol. 20, No 9, 1735-1746. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311699212443>
23. Brockmann C., Doerffer R., Peters M., Kerstin S., Embacher S., Ruescas A. Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters. *Living Planet Symposium, Proceedings of the conference held 9-13 May 2016 in Prague, Czech Republic*. Edited by L. Ouwehand. ESA-SP. 2016. Vol. 740. p.54.
24. Soriano-González J., Urrego E.P., Soria-Perpinya X., Angelats E., Alcaraz C., Delegido J., Ruíz Verdú A., Tenjo C., Vicente E., Moreno J. Towards the Combination of C2RCC Processors for Improving Water Quality Retrieval in Inland and Coastal Areas. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14(5), 1124. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14051124>
25. Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Гриценко А. В., Васенко О. Г., Верніченко Г. А. та ін. Харків: УкрНДІП, 2012. 37 с.

Стаття надійшла до редакції 29.09.2024

Стаття рекомендована до друку 17.11.2024

Yu. S., TUCHKOVENKO, DSc (Geography),

Head of the Department of Oceanology and Marine Nature Management

e-mail: tuch2001@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>

Odesa I.I. Mechnikov National University

15, Lvivska str., 65016, Odesa, Ukraine

Institute of marine biology of the NAS of Ukraine

37, Pushkinska St., Odesa, 65048, Ukraine

V. A. OVCHARUK, DSc (Geography),

Head of the Department of Land Hydrology

e-mail: valeriya.ovcharuk@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

Odesa I.I. Mechnikov National University

15, Lvivska str., 65016, Odesa, Ukraine

M. O. MARTYNIUK, PhD (Earth Science),

Junior Researcher

e-mail: martyniuk0904@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1332-4907>

Institute of marine biology of the NAS of Ukraine

37, Pushkinska St., Odesa, 65048, Ukraine

Ye. I. GAZYETOV

Senior Researcher

e-mail: gazetov@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5362-1973>

Odesa I.I. Mechnikov National University

15, Lvivska str., 65016, Odesa, Ukraine

O. V. ZOTOVA

Researcher

e-mail: galajkoola@ukr.net

Ukrainian Scientific Center of Ecology of the Sea

89, Frantsuzsky Blvd., Odesa, 65009, Ukraine

V. M. KHOKHLOV, DSc (Geography),

Prof. of the Department of Meteorology and Climatology

e-mail: valeriy.khokhlov@stir.ac.uk ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

Odesa I.I. Mechnikov National University

Lvivska str., 15, 65016, Odesa, Ukraine

University of Stirling

Stirling, FK9 4LA, Scotland, United Kingdom

D. JIANG

Research Fellow

e-mail: dalin.jiang@stir.ac.uk ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5676-5860>

University of Stirling

Stirling, FK9 4LA, Scotland, United Kingdom

A. N. TYLER

Scotland Hydro Nation Chair

e-mail: a.n.tyler@stir.ac.uk ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0604-5827>

University of Stirling

Stirling, FK9 4LA, Scotland, United Kingdom

MODERN APPROACHES TO MONITORING THE ECOLOGICAL CONDITION OF LAKE ECOSYSTEM WATERS

Purpose. Presentation of the results of the implementation of new approaches to monitoring indicators of the ecological state of water in lake ecosystems using the example of the Danube lakes with the use of modern express methods of determining individual ecological parameters and satellite information of the water bodies' water bodies.

Methods. Laboratory analysis of determining the concentration of chlorophyll-a according to DSTU 7.1. 4.02-90 "Water. Methodology for spectrophotometric determination of chlorophyll α ", field measurements of water transparency with a standard Secchi disc, concentrations of chlorophyll-a, total suspended matter, spectral attenuation index using a portable hyperspectral radiometer WISP-3.

Results. In the summer of 2023, 2 expeditions were carried out to the Danube lakes Kahul, Yalpug-Kugurlui, Kytai, Kotlabukh. It was established that the results of observations of water quality indicators (chlorophyll-a concentration, total suspended matter, spectral light attenuation index), obtained with the WISP-3 hyperspectral radiometer, are in good agreement with each other and with the data of laboratory analysis of the measurement of chlorophyll-a concentration and water transparency. The possibility of using SENTINEL 2 MSI satellite images, processed using the C2X-COMPLEX Sentinel Application Platform (SNAP 9.0.0) to obtain operational information on the spatio-temporal variability of chlorophyll-a and the total suspended matter concentration in the Danube lakes was evaluated. It was established that there is a sufficiently good correlation (determination coefficient 0.9 and higher) between the measured and determined values of these indicators from satellite images. According to research in July 2023, it was established that the concentrations of chlorophyll-a in 2023 were higher than at the beginning of the 21st century (in 2001) in all lakes, which is an expected consequence of the replenishment of the lakes from large volumes of Danube water in the first half of 2023 after previous dry years. The greatest increase in concentrations occurred in Lake Kotlabukh.

Conclusions. It has been established that the SENTINEL-2 MSI satellite images processed with the C2X-COMPLEX processor can be successfully used for the ecological state monitoring of the Danube lakes, in particular, the operational assessment of the spatio-temporal variability of such water quality indicators as the concentration of chlorophyll-a, total suspended matter and degree water transparency with a spatial resolution of 20-60 m per pixel. The WISP-3 radiometer can be used for operational determination of water quality indicators in the Danube lakes during the environmental monitoring organization with the involvement of satellite information, in particular for the purpose of its verification based on field observation data.

KEY WORDS: Danube lakes, ecological condition, monitoring, remote, satellite monitoring, calibration

References

1. Medvedieva, Yu. S., Hopchenko, Ye. D., & Shakirzanova, Zh. R. (2018). Water and salt regimes of Lake Kytai. Odesa. (in Ukrainian).
2. Shakirzanova, Zh. R., & Romanova, Ye. O. (2021). Water and salt regimes of Lake Kotlabukh. Odesa (in Ukrainian).
3. Tuchkovenko, Yu. S., & Al-Subary Aly Akhmed Saleh (2010). Modeling of eutrophication of Yalpug-Kugurlui lakes. *Bulletin of Odessa State Environmental University*, (9), 159-172. (in Russian).
4. Ivanov, V. A., Hopchenko, Ye. D., Tuchkovenko, Yu. S., Serbov, M. G., & Buzyan, H. D. (2006). Water quality management in the Black Sea estuaries and Danube lakes by regulating the water balance. *Environmental safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources*, (14), 93-106. (in Russian).
5. Kovalchuk, L. I., & Mokienko, A. V. (2014). Hygienic assessment of eutrophication of surface water basins of Ukrainian Danube Region. *Actual problems of modern medicine*, 14(4), 73-78. (in Ukrainian).
6. Kovaleva, N. V., & Medynets, V. I. (2002). Study of photosynthetic activity of phytoplankton in Danube lakes in 2001-2002. *Odesa National University Herald*, 7(2), 63-69. (in Russian).
7. Dzhurtubaev, M. M., Urbanskaya, T. V., Dzhurtubaev, Y. M. (2016). Long-term dynamics of hydrological and hydro-chemical indicators of Kytai Lake (Odessa region, Ukraine). *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*, 24(2), 384-391. (in Russian). <https://doi.org/10.15421/011651>
8. Agnoli, L., Urquhart, E., Georgantzis, N., Schaeffer, B., Simmons, R., Hoque, B., Neely, M. B., Neil, C., Oliver, J., Tyler, A. (2023). Perspectives on user engagement of satellite Earth observation for water quality management. *Technological Forecasting and Social Change*, 189, 122357. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122357>
9. Kumar, M., Khamis, K., Stevens, R., Hannah, D.M., Bradley, C. (2024). In-situ optical water quality monitoring sensors—applications, challenges, and future opportunities. *Frontiers in Water*, 1380133. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1380133>
10. Jiang, D., Matsushita, B., Pahlevan, N., Gurlin, D., Fichot, C.G., Harringmeyer, J., Sent G., Brito, A.C., Brotas V., Werther M., Mascarenhas, V., Blake, M., Hunter P., Tyler, A., Spyarakos, E. (2023). Estimating the concentration of total suspended solids in inland and coastal waters from Sentinel-2 MSI: A semi-analytical approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 204, 362–377. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.09.020>
11. Liu, D., Spyarakos, E., Tyler, A., Shi, K., Duan, H. (2024). Satellite algorithms for retrieving dissolved organic carbon concentrations in Chinese lakes. *Science of the Total Environment*, 955, 177117. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177117>
12. Wang, S., Jiang, X., Spyarakos, E., Li, J., McGlinchey, C., Constantinescu, A.M., Tyler, A.N. (2024). Water color from Sentinel-2 MSI data for monitoring large rivers: Yangtze and Danube. *Geo-Spatial Information Science*, 27(3), 854–869. <https://doi.org/10.1080/10095020.2023.2258950>

13. Jiang, D., Scholze, J., Liu, X., Simis, S.G.H., Stelzer, K., Müller, D., Hunter, P., Tyler, A., Spyarakos, E. (2023). A data-driven approach to flag land-affected signals in satellite derived water quality from small lakes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 117, 103188. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103188>
14. University of Stirling. Earth Observation Research Group. UK Lakes Observatory. Monitoring water resources from space. Retrieved September 17, 2024 from: <https://eo4ukwater.stir.ac.uk/>
15. Pahlevan, N., Mangin, A., Balasubramanian, S.V., Smith, B., Alikas, K., Arai, K., Barbosa, C., Belanger, S., Binding, C., Bresciani, M., Giardino, C., Gurlin, D., Fan, Y., Harmel, T., Hunter, P., Ishikaza, J., Kratzer, S., Lehmann, M.K., Ligi, M., Ma, R., Martin-Lauzer, F.-R., Olmanson, L., Oppelt, N., Pan, Y., Peters, S., Reynaud, N., de Carvalho, L.A.S., Simis, S., Spyarakos, E., Steinmetz, F., Stelzer, K., Sterckx, S., Tormos, T., Tyler, A., Vanhellemont, Q., & Warren, M. (2021). ACIX-Aqua: A global assessment of atmospheric correction methods for Landsat-8 and Sentinel-2 over lakes, rivers, and coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112366>
16. Neil, C., Spyarakos, E., Hunter, P.D., & Tyler, A.N. (2019). A global approach for chlorophyll-a retrieval across optically complex inland waters based on optical water types. *Remote Sensing of Environment*, (229), 159-178. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.027>
17. Jiang, D., Matsushita, B., Pahlevan, N., Gurlin, D., Lehmann, M. K., Fichot, C. G., ... & O'Donnell, D. (2021). Remotely estimating total suspended solids concentration in clear to extremely turbid waters using a novel semi-analytical method. *Remote sensing of environment*, (258), 112386. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112386>
18. Ovcharuk, V., Tyler, A., Tuchkovenko, Y., Khokhlov, V., Jiang, D., Spyarakos, E., Martyniuk M., Hoptsii, M. (2023). Estimation of chlorophyll in Danube Lakes in Ukraine using observations from Copernicus Sentinel-2 MSI. *Poster presentation of the Fifth Space for Hydrology Workshop*, Hydrospace 2023, Lisbon, Portugal, 27 November - 1 December 2023. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31265.99687>
19. Water Insight. WISP-3 portable water quality spectrometer. Retrieved July 15, 2023 from: <https://www.waterinsight.nl/info/wisp-3>
20. Water Insight. How to use the WISP-3 Hyperspectral Spectrometer for water quality measurement. Retrieved July 15, 2023 from: <https://www.youtube.com/watch?v=FEPqcFQRkoE>
21. ISO 10260:1992 Water Quality. Measurement of Biochemical Parameters. Spectrometric determination of the chlorophyll-a concentration. (in Ukrainian).
22. Schiller, H., Doerffer, R. (1999). Neural network for emulation of an inverse model operational derivation of Case II water properties from MERIS data. *International Journal of Remote Sensing*, (20:9), 1735-1746. <https://doi.org/10.1080/014311699212443>
23. Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Kerstin, S., Embacher, S., & Ruescas, A. (2016). Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters. *Living Planet Symposium*, (740), 54.
24. Soriano-González, J., Urrego, E.P., Sòria-Perpinyà, X., Angelats, E., Alcaraz, C., Delegido, J., Ruíz Verdú, A., Tenjo, C., Vicente, E., Moreno, J. (2022). Towards the Combination of C2RCC Processors for Improving Water Quality Retrieval in Inland and Coastal Areas. *Remote Sensing*, (14), 1124. <https://doi.org/10.3390/rs14051124>
25. Hrytsenko, A.V., Vasenko, O.H., Vernichenko H.A. et al. (2012). Methods of ecological assessment of surface water quality by relevant categories. Kharkiv: UkrNDIEP (in Ukrainian)

The article was received by the editors 29.09.2024

The article is recommended for printing 17.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-04>

УДК (UDC): [631.4:504:502.3/.7]:54.08

М. Т. МИКИЦЕЙ

аспірант кафедри екології

e-mail: mmtecoif@gmail.com

ORCIDID: <http://orcid.org/0000-0003-2613-7729>

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

КОНЦЕПТ-ОСНОВА ПОШУКУ ТА ЕКОДІАГНОСТИКИ РИЗИК-ЗОН ВОДОЗБОРІВ

Мета. Створити та обґрунтувати концепційну основу нового підходу до екологічної діагностики антропогенного забруднення ґрунтів (земель) «ризик-критичних зон» екологічної взаємодії ґрунту і води на водозборах, як способу оптимізації системи інтегрованого екологічного управління, захисту природи та підвищення екологічної безпеки територій в Україні.

Методи. Системний аналіз, порівняльний аналіз-синтез з акцентом на формування цілеспрямованої просторової вибірки із використанням повністю розподіленого та напіврозподіленого моделювання в кінцевому алгоритмі; екстраполяція та адаптивний трансфер процедурно-аналітичних підходів вибору діагностичної мережі; методи концепційного конструювання та візуальної репрезентації.

Результати. На підставі системного аналізу публікацій Google Scholar, Scopus, Web of Science, Springer, а також вітчизняних джерел за напрямками оцінювання забруднення ґрунтів і вод з визначенням уразливих (чутливих) територій та гарячих точок «hot spots», пріоритетних зон управління (АРМА) та критичних зон (CSA) представлено альтернативну концепційну основу підходу до інтегрованої екологічної діагностики забруднення ґрунтового покриття, поверхневих та підземних вод, якій передують автоматизований програмний пошук гідрологічно чутливих ризик-зон екологічної контактної взаємодії ґрунту і води, що важливо для екологічного управління та відновлення екосистем. Механізм просторового автоматизованого пошуку цих зон орієнтований на найуразливіші (гідрологічно чутливі зони та території), де контактна взаємодія ґрунту і води в умовах забруднення ґрунту, може створювати ризики для екосистеми та громадського здоров'я, починаючи від масштабу окремих територіальних громад.

Висновки. Більша увага до гідрологічно чутливих зон та процесів взаємодії ґрунту і води в умовах забруднення дозволить контролювати та зменшувати міжсередовищний трансфер забруднювальних речовин. Запропонований концепт в практичному аспекті відповідає цілям басейнового управління і покликаний підвищити екологічну ефективність земельної та водної екологічної політики як особливо важливих елементів управління екологічною безпекою екосистем.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: автоматизований програмний пошук, моніторинг, гідрологічно чутлива зона, діагностика ґрунту, трансфер забруднення, відновлення екосистеми

Як цитувати: Микицей М. Т. Концепт-основа пошуку та екодіагностики ризик-зон водозборів. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 51-69. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-04>

In cites: Mykytsei, M. T. (2024). Conceptual basis for the search and eco-diagnostics of risk zones in watersheds. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (42), 51-69. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-04> (in Ukrainian)

Вступ

Дифузійне забруднення є головним фактором погіршення якості води та деградації гідроекосистем у багатьох країнах світу [1-3]. Швидкий розвиток урбанізації, індустріалізації та сільського господарства, а також війни прискорюють цей процес та збільшують його масштаби [4,5]. Неточкові

джерела можуть генерувати як звичайні забруднювачі (наприклад, поживні речовини, осад), так і токсичні забруднювачі (наприклад, пестициди, нафтопродукти). Ці забруднювачі зазвичай утворюються в різних часових рамках, об'ємах, комбінаціях і концентраціях [6].

Перевірка придатності Директиви Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики виявила, що труднощі під час її впровадження, частково пов'язані з впливом на стан водойм дифузійного забруднення, що надходить із навколишнього середовища [7]. Поправки до Закону про чисту воду в США, що були внесені ще в 1987 р., також особливо стосувалися забруднення з неточкових джерел (NPS), як на критичній причині погіршення якості води. Оскільки сільське господарство (рослинництво) в Україні займає найзначнішу частину ландшафту серед країн світу, існує особливе занепокоєння щодо наслідків від потенційного хімічного забруднення широким спектром пестицидів, ЗЗР та інших сполук.

Практичні інструменти забезпечення якості води, зокрема точне моделювання дифузійного забруднення стають фундаментальним рішенням та підвищують ефективність управління пріоритетними ділянками на водозборах. Через просторово-часову лабільність дифузного забруднення, визначення пріоритетних зон управління сільським господарством (APMA)[8], або критичних джерел (CSA)[9], стає ключовим завданням для ефективного захисту водозборів. CSA —

це зони перетину між гідрологічно чутливими територіями з високим потенціалом створення стоку (HSA), і забрудненими територіями вододілів. Ідентифікація CSA дозволяє сконцентрувати ресурси для зниження забруднення, досягти максимального ефекту з мінімальними затратами[10,11].

Акцент поставлено на створення та обґрунтування основи нового концепт-підходу (рішення) для просторового пошуку та екологічної діагностики пріоритетних зон на водозборах в Україні, в системі оцінювання ризиків трансферу хімічного забруднення через механізми ґрунтово-водних взаємодій. Першочергова увага до пріоритетних за ризиком ділянок, може стати однією з найдієвіших стратегій для підвищення рівня екологічної безпеки природно-територіальних комплексів та екосистем водозборів, забезпечення здоров'я ґрунту, гідроекосистемної безпеки та відновлення природи в Україні з урахуванням міжнародних пропозицій та рекомендацій. Підтвердженням для цього є нещодавня поява таких політик, як «Регламент Європейського Парламенту та Ради щодо відновлення природи» (COM/2022/304 фінал), та нової пропозиції ЄС, щодо закону про моніторинг і стійкість ґрунтів [12].

Теорія та методи дослідження

В Україні на тлі інституційної неспроможності та численних недоліків в організації здійснення системного моніторингу ґрунтів [13], аналітичні дані для надійних оцінок ризику в чутливих зонах екосистем та водозборів, аналогів APMA та CSA фактично відсутні, а організація та запуск ефективної інтегрованої системи моніторингу довкілля потребує тривалого часу для напрацювання досвіду і цільової перебудови. Однак просторова ідентифікація таких зон в репрезентативному масштабі є вкрай необхідною і невідкладною для ефективної природоохоронної роботи, зменшення ризиків та наслідків впливу антропогенного хімічного забруднення.

Екологічний моніторинг забруднення ґрунтів (земель), що на разі фактично не виконується [13] та потребує структурної реорганізації може розвиватись з більшим акцентом на зв'язки між складниками екосистеми, формування ризиків перенесення забруднення на екосистемних та ландшафтних рівнях. Удосконалені підходи та аналі-

тичні процедури можуть створюватись на основі сучасних лабораторно-аналітичних та польових практик, наприклад, використання принципів «зеленої аналітичної хімії» та наближення аналітичних процедур до суті процесів, що відбуваються в довкіллі.

Для створення основи концепт підходу попередньо проведено літературний огляд за таким основним напрямком: гідрологічно-чутливі та забруднені ризик-зони, методи ідентифікації. Здійснено пошук та аналіз наукових статей, що індексовані у базах публікацій Google Scholar, Scopus, Web of Science та ін. Після створення переліку найрелевантніших матеріалів, для швидкого широкомасштабного пошуку використано інструмент Connected Papers (рис.1) в різних налаштуваннях, спочатку за введенням DOI вибраних статей, а потім також за ключовими словами та авторами у знайдених та перевірених матеріалах. Інструмент Connected Papers графічно візуалізує звід пов'язаних статей, упорядкованих за подібністю, що значно полегшує роботу. Побудовані графі

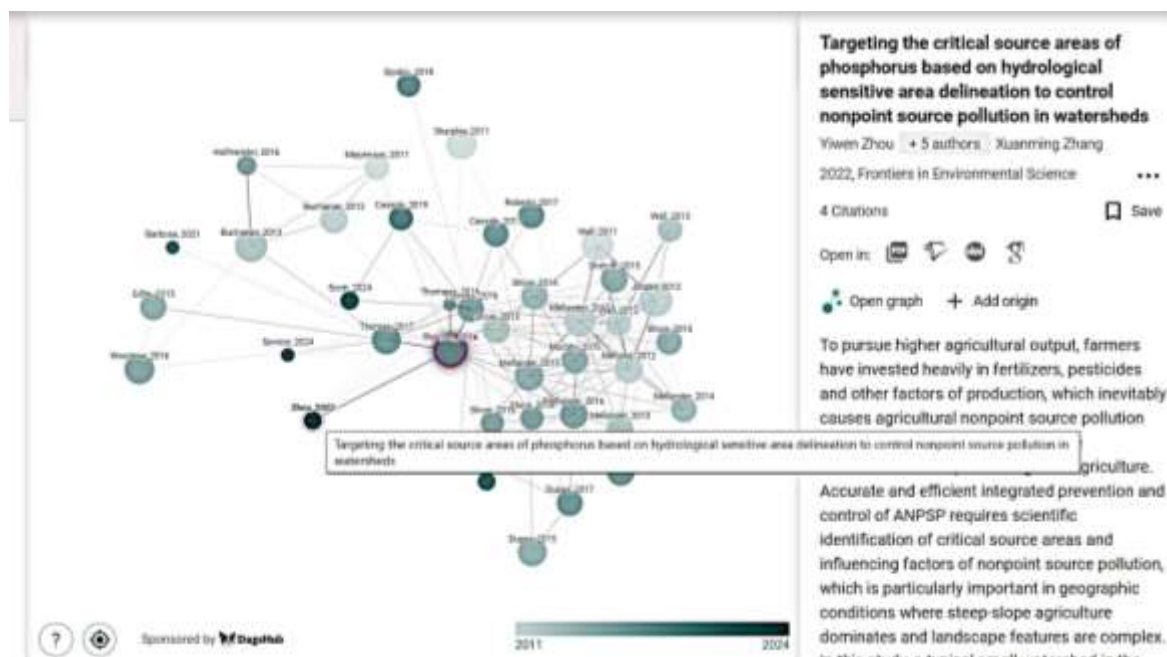


Рис. 1 – Приклад візуалізації результату систематичного пошуку літератури з використанням пошукового інструменту «Connected Papers» за дескриптором «гідрологічно чутливі території та критичні зони забруднення»

Fig. 1 – An example of visualisation of the result of a systematic literature search using the Connected Papers search tool using the descriptor «hydrologically sensitive areas and critical pollution zones»

дозволи побачити як найбільш відомі так і нові матеріали, та вибрати для подальшого опрацювання ті, що відповідають цілі.

До переліку дескрипторів та словесних конструкцій ввійшли такі формулювання: «гідрологічно чутливі території та критичні зони забруднення», «дифузійне (неточкове) забруднення»; «ризик перенесення забруднювальних речовин»; просторова ідентифікація гідрологічно-чутливих зон водозборів; моніторинг в «гарячих точках» ландшафту; діагностика процесів трансферу забруднень. Перелік ключових конструкцій використано для пошуку та відбору матеріалів в науково-метричних базах в «ручному режимі». Концепційне констру-

ювання концепт підходу проведено із обґрунтуванням таких критеріїв: 1) цілі; 2) масштаб; 3) структури та набори даних; 4) методи та інструменти; 5) обґрунтування алгоритму.

Застосовано методи порівняльного аналізу-синтезу та порівняльних оцінок, екстраполяції процедурно-аналітичних підходів та рішень, що дозволило запропонувати варіант автоматизованого процесу формування цілеспрямованої просторової вибірки гідрологічно чутливих та потенційно уразливих до забруднення зон на водозборах низьких порядків. Концепційне конструювання всього механізму доповнено візуальною репрезентацією.

Результати та обговорення

Гідрологічно-чутливі та забруднені ризик-зони. Термін «гідрологічно чутлива зона» (HSA) використовується для позначення територій на вододілі, особливо схильних до утворення стоку, які потенційно сприйнятливі до перенесення забруднюючих речовин до поверхневих водойм [14]. Їхня ідентифікація (пошук) є важливим аспектом для збереження якості води в басейнах малих водотоків, які в свою чергу визначають

хімічний стан річок та водойм вищих порядків. HSA здатні акумулювати значну частину поверхневих стоків, що може призвести до підвищення ризику забруднення водних ресурсів, особливо в районах з високою інтенсивністю сільськогосподарських практик [15]. Попередні дослідження показали, що концентрацію забруднювачів у річках можна значно знизити саме за рахунок збільшення частки природного рослинного

покриву у межах HSA. Вони також класифікуються як «гарячі точки» для гідрологічної активності в горизонтальному напрямку [16]. Інтегрований підхід до визначення критичних джерел забруднення для контролю неточкових джерел забруднення у вододілах був раніше запропонований [17], та інтегрує топографічний індекс ґрунту (STI) із інструментом оцінки ґрунту та води (Soil and Water Assessment Tool) SWAT для визначення CSA для осаду, азоту та фосфору в дрібному просторовому масштабі, що може бути корисним при впровадженні найкращих практик управління для контролю забруднення від дифузних джерел. Thomas I.A., та ін. [18] для покращення ідентифікації HSA та точного розмежування CSA дифузного забруднення за цільовими заходами щодо пом'якшення наслідків розробили індекс HSA на основі ГІС, який використовує LiDAR (Light Detection and Ranging), цифрову модель рельєфу (DEM), STI та враховує гідрологічне обмеження сухопутного стоку через топографічну перешкоду від поглиначів потоку. Науковці перевіряли індекс HSA за допомогою вимірювань опадів і швидкого потоку, та визначали економічно ефективні місця у визначених HSA, для яких можуть застосовуватись заходи щодо пом'якшення дифузного забруднення в підпольовому масштабі.

Для ідентифікації HSA важливим параметром є визначення просторового розподілу фактичного коефіцієнта водопроникності ґрунтів (Ksat), який характеризує рух води в ґрунті, інфільтрацію води та потенційне перенесення забруднювачів у водні ресурси. Група вчених США у 2024 році [19] розробила підхід до пошукового моделювання у фізично обґрунтованій структурі SWAT для дослідження впливу просторово розподілених спостережуваних Ksat на компоненти місцевого водного балансу за допомогою трьох сценаріїв роздільної здатності цифрової моделі висоти. Аналіз невизначеностей показав, що спостережувані форсування Ksat та роздільна здатність DEM значно впливають на прогнози бічного потоку, потоку ґрунтових вод та перколяційного потоку. Зокрема, спостережуваний Ksat має більш значний вплив на прогнозу впевненість моделі, ніж роздільна здатність DEM. Останнім часом розвиток глобальної бази даних для Ksat та широке використання методів машинного навчання забезпечили

зручність для просторової екстраполяції Ksat у великому масштабі [19,20].

В Україні система пошуку та управління ризикованими (уразливими) територіями є у вузькому аспекті частиною зобов'язань щодо імплементації Директиви Ради від 12 грудня 1991 року щодо захисту вод від забруднення нітратами з сільськогосподарських джерел (91/676/EC) [21]. Однак на прикладі моніторингу нітратного забруднення міжнародний досвід показує, що труднощі у впровадженні екологічної політики ЄС щодо такого контролю пов'язані з відсутністю єдиного стандартного критерію для позначення вразливих зон [22,23]. Кілька досліджень показують, що погано окреслені вразливі зони серйозно ставили під загрозу ефективність програм дій щодо зменшення забруднення нітратами [24-27], тому наголошено на потребі підвищити точність позначення вразливих зон, щоб максимізувати ефективність цих програм [23].

В Україні методика визначення зон, вразливих до нітратів вже розроблена і затверджена (наказ Міндовкілля від 15.04.2021 № 244). Однак проблемою є те, що інформація для виконання методики повинна бути високої якості та з достатнім рівнем точності. На цей момент існуюча мережа моніторингу поверхневих вод у своїй безперервності та просторовому охопленні ще не є достатньою для застосування розробленої методики, а моніторинг підземних вод взагалі не здійснюється [28]. Крім того методика однобічна, і орієнтована на використання даних моніторингу вод від усіх суб'єктів для визначення уразливих зон до накопичення нітратів нижче від масиву. Вона не орієнтується на дані моніторингу та діагностики ґрунтів (земель) водозборів, не передбачає також залучення автоматизованих моделей пошуку з використанням ГІС, штучного інтелекту, геостатистики. Це може призвести до суттєвої невизначеності для ефективного екологічного управління дифузійними джерелами та територіями. Натомість у Планах управління річковими басейнами (ПУРБ) запропоновано всю територію України визначити як зону, вразливу до нітратів, що й відображає поточну дуже обмежену доступність необхідної інформації для визначення цих зон. Такий підхід хоча і вважається одним з прийнятних згідно з Директивою, однак в Україні він може не дозволити

здійснювати ефективне управління справді уразливими до нітратного забруднення зонами та водними масивами, які не були своєчасно належно ідентифіковані та окреслені.

Що стосується пестицидів, стійких органічних забруднювачів (СОЗ) та інших численних токсичних хімічних сполук, то для них не завжди існують окремі процедури визначення уразливих зон через складнощі, пов'язані із значним різноманіттям видів та хімічних класів, кожен з яких має свої властивості щодо токсичності, стійкості в навколишньому середовищі та механізмів поширення. В Україні впровадження таких потребуватиме напрацювання детальних процедур діагностики, моніторингу та аналізу, а також створення специфічних підходів для кожного типу забруднювача.

Конструювання концепт-підходу.

Обґрунтування цілей. Зважаючи на те, що розбалансований розвиток різних видів землекористування різко й прямо впливає на потенціал сталого функціонування природних комплексів, якими зайняті конкретні території, і які водночас структурно приналежні до котрогось із численних водозборів різних порядків, майбутні плани управління та політика землекористування щодо навколишнього середовища повинні враховувати важливість екосистемного ландшафтного планування за вододільним (басейновим) принципом.

Важливо зазначити, що між Пропозицією ЄС щодо моніторингу та стійкості ґрунтів, та Пропозицією регламенту Європейського Парламенту та Ради щодо відновлення природи» [29] існує багато синергії, про що наголошено в документі. Однією з головних цілей останньої, є визначення найбільш придатних територій в межах держави для заходів з відновлення різних типів середовищ існування. Прописані чіткі критерії та завдання для відновлення різних типів екосистем на території держав: наземних, прибережних та прісноводних, а також міських, сільськогосподарських, лісових та інших. Крім цього окремою статтею передбачено відновлення природного зв'язку річок і природних функцій заплав.

Імплементація цих положень та законодавчих ініціатив ЄС в Україні забезпечить вимогу відновлення та екосистемної оптимізації значної частини деградованих і забруднених ландшафтів. Наприклад за даними Держстату, площа орних земель у період

2015–2020 рр. зросла на 216 тис.га і становить 32,8 млн га. Водночас розрахунки науковців свідчать, що в Україні для забезпечення науково обґрунтованих норм споживання продуктів необхідно мати в обробітку 17,7 млн га, а з урахуванням експортних пропозицій у продовольстві — 22,6 млн га[30]. Крім цього, на національному рівні відповідно до Розпорядження КМУ від 19 січня 2022 р. № 70-р«Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель» визначено, що «надмірне розширення площі ріллі за рахунок схилових земель призвело до порушення екологічно збалансованого співвідношення земельних угідь: ріллі, природних кормових угідь, лісів та водойм, що негативно позначилося на стійкості агроландшафтів і спричинило значну техногенну ураженість екосфери. До того ж, відповідно до цього документа «прогнозним показником розв'язання зазначеної проблеми є зниження рівня розораності території країни до 44% шляхом вилучення непридатних для розорювання (деградованих, малопродуктивних та техногенно забруднених) земель з інтенсивного обробітку, площа яких, за експертними оцінками, перевищує 6,5 млн гектарів [30]. Отже, відновленню та охороні підлягають ті окреслені зони та території, в межах яких існують небезпеки екологічного характеру, що загрожують її стійкому та збалансованому функціонуванню. В цьому процесі на перше місце може вийти питання відновлення та розширення площ середовищ існування на водозборах низьких порядків, які найчастіше в умовах України зазнають очевидної деградації під впливом інтенсивного розорювання впритул до водотоку [31]. Для ідентифікації цих зон повинна працювати цільова програма діагностики та механізм моніторингу ґрунтів (земель), саме в контексті оцінювання ризиків для екосистем. Найефективніші заходи з відновлення можуть включати значне розширення прибережних смуг малих водотоків та каналів з поверненням стійкого рослинного покриву та об'єднання їх в суцільні екорежі.

Отже, комплексність впровадження сучасних політик в довкіллевій сфері для України, полягає у тому, що однією з прямих цілей проведення моніторингу та діагностики стану ґрунтів (земель) може стати обґрунтований відбір ділянок, які є критичними або

найбільш уразливими за його результатами, підлягатимуть відновленню, посиленому захисту, чого досі не було впроваджено. Це дозволить з одного боку знижувати ризики, пов'язані з транспортом та міграцією забруднювачів з сільськогосподарських та інших територій у водні масиви, особливо в CSA та HSA, а з другого сприятиме виконанню цілей підвищення стійкості та здоров'я ґрунтів, відновлення екосистемних функцій природних оселищ там де це потрібно.

Загалом створення та обґрунтування концепт підходу повинне сприяти розвитку науково-теоретичного та техніко-методологічного підґрунтя екологічної діагностики та моніторингу забруднення ґрунтового покриву в Україні у єдиному комплексі екосистемних контактних взаємодій «ґрунт-вода», де підкреслюється незамінна роль контактних зон екологічної взаємодії ґрунту і води для відновлення їх якості, удосконалення системи інтегрованого управління забрудненими територіями в Україні. Наприклад, у поєднанні із вже запущеним механізмом напрацювання вітчизняного досвіду з імплементації законодавства ЄС в частині моніторингу вод це повинно допомогти виокремити частку впливу дифузійного забруднення хімічними сполуками різних класів від агрогосподарської діяльності чи інших видів діяльності, яка досі залишається не відомою. Це водночас може дозволити класифікувати критичні (уразливі) зони, селективно впроваджувати природоохоронні заходи для них, підвищувати ефективність водної та земельної екологічної політики. В іншому аспекті це врешті сприятиме побудові власних ефективних управлінських інструментів відновлення природних комплексів та екосистем різних рівнів на суші, що повинно стати пріоритетною ціллю екологічного управління землями в нашій державі сьогодні.

Таким чином, цільовим завданням для створення основи нового концепт-підходу є створення механізму отримання даних про пріоритетні (гідрологічно чутливі) ризик-зони на водозборах, їх просторове визначення у релевантному масштабі та проведення комплексної екологічної діагностики з верифікацією ризиків в їхніх межах. Діагностика, як специфіко-цільова операція визначення точного складу та концентрації забруднень на конкретній ділянці з одного боку, а з другого

– визначення потенціалу процесів передачі забруднення в межах гідрологічно чутливої території із застосуванням сучасних аналітичних процедур та лабораторних практик може стати надійним інструментом коригування практик землекористування в Україні на рівні територіальних громад, адміністративних районів, ухвалення рішень щодо консервації земель, оприроднення та запобігання забрудненню.

Вибір масштабу. Вимірювання навантаження забруднюючих речовин можна проводити на вододілах будь-якого розміру, але віднесення цих навантажень до конкретних джерел або категорій джерел стає складнішим для великих водозборів [6]. Вибір масштабу для моделювання дифузійного забруднення на водозборах є особливо важливим етапом, оскільки масштаби визначають точність прогнозу та ефективність управлінських стратегій. Масштаб водозборів низьких порядків дозволяє ефективно використовувати моделі для виявлення локальних джерел забруднення. Детальні моделі дозволяють враховувати всі дрібні аспекти ландшафту, що може бути важливим для розробки місцевих заходів із збереження водних ресурсів. Оскільки ці водозбори часто зазнають сильного впливу людської діяльності (наприклад, землекористування, будівництво), моделювання таких процесів важливе для планування заходів з очищення води або відновлення екосистем [32].

Дані про басейни водотоків таких масштабів найчастіше відсутні, а самі водотоки не внесені до водного кадастру. Але, саме їхня роль визначна у формуванні якості води великих рік та сприйнятті дифузійного забруднення [33]. Тому цільові дослідження для встановлення первинного переліку таких зон є важливим кроком, який може призвести до подальшого калібрування просторових моделей і налаштування їх на системний автоматизований комп'ютерний пошук таких зон у потрібному масштабі. Окреслення меж таких зон відповідно до ієрархічного характеру взаємозв'язку між водозбірними басейнами різних порядків, ідентифікація домінуючих антропогенних чинників, які «віднесли» ту чи іншу зону до категорії потенційної ризик-критичної чи ризик-критичної під впливом забруднення, повинно стати підставою для чіткого управління цими зонами, збільшення територій зайнятих природними екосистемами. Отже, масштаб

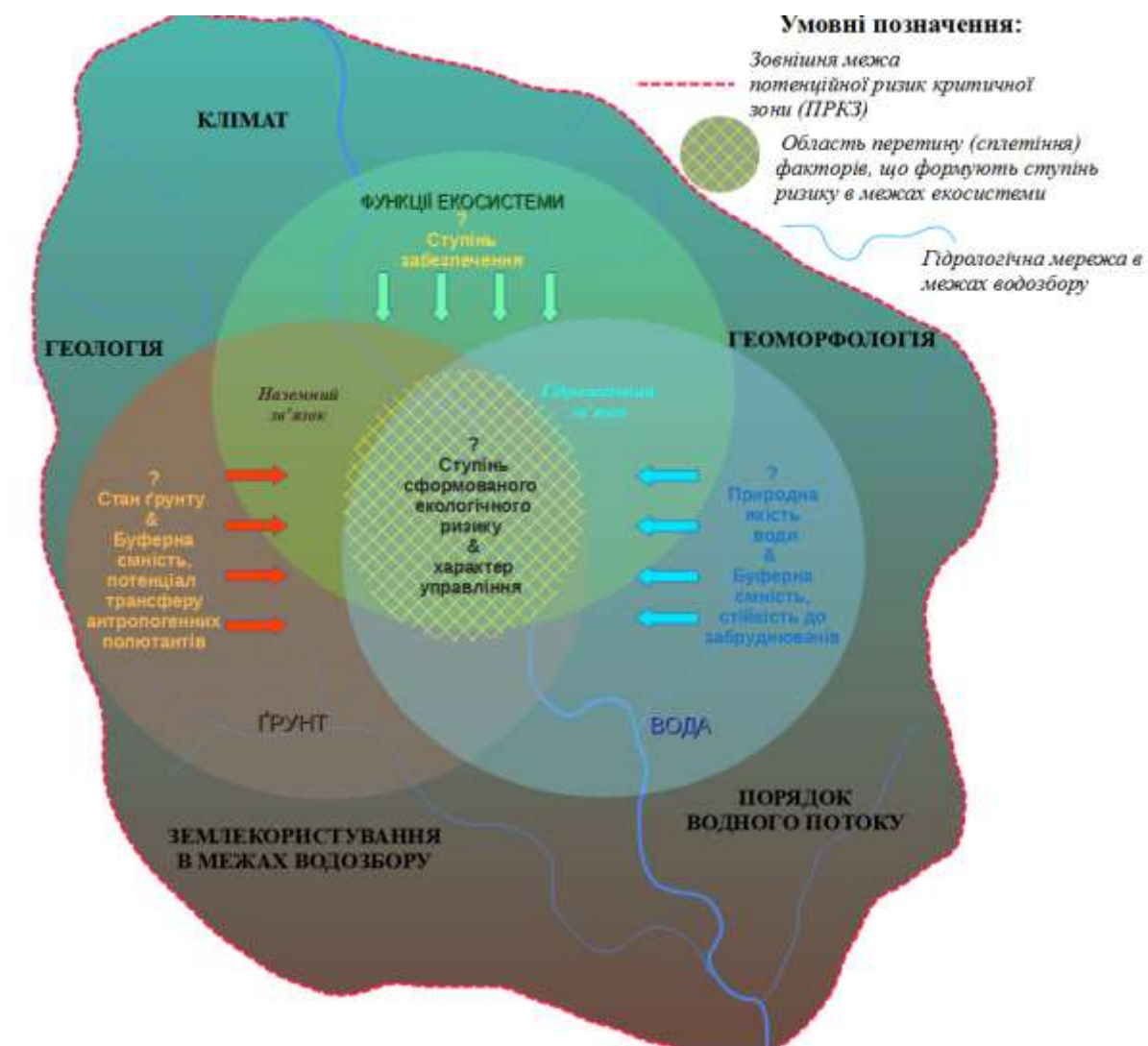


Рис. 2 — Модель формування ризиків в системі інтерфейсної взаємодії «грунт-вода» на рівні водозбору. Адаптовано на основі матеріалів HANSEN, Birgita, та ін (2010) [38]

Fig. 2 - Model of risk formation in the soil-water interaction system at the catchment level. Adapted from HANSEN, Birgita, et al (2010) [38]

водозборів малих водотоків та струмків може підвищити репрезентативність моделювання зважаючи на можливість більш точного та якісного визначення атрибутів, які необхідні для відслідковування важливих показників та процесів [34].

Структури та набори даних. На процеси перенесення в межах водозбору в напрямку прибережної зони до кінцевого надходження у поверхневий водотік, або надходження в ґрунтові води впливають умови водозбірного басейну: землекористування, клімат, ґрунти, геологія (літологія) і місце водотоку в дренажній мережі та ін (рис.2). Рисунок 2 візуалізує в загальному вигляді графічну модель функціонування водозбору, яка складається з головних атри-

бутів та позначає взаємозв'язки між ними. Ці зв'язки власне утворюють надійну основу для укладання системи головних дескрипторів екологічного ризику та атрибутки моделювання. Ця модель не має на меті продемонструвати вичерпний перелік атрибутів екосистеми, які чинять вплив на процеси перенесення забруднень. Головна її ціль — показати, що ризик трансферу антропогенних забруднювачів в системі взаємодії «грунт – вода», потенціал якого визначається численними наборами характеристик в межах водозбору, до певної межі може бути погашений як на рівні наземного зв'язку під впливом екосистемних чинників, так і на рівні гідрологічних процесів, тобто після потрапляння забруднювачів у

водотік. Цими чинниками є, наприклад, природна (фонова) якість води, асиміляційна спроможність та буферна ємність водної екосистеми, буферність самого ґрунту щодо впливу забруднюючих речовин [35-37] та потенціал деградації хімічних сполук в ґрунтах під впливом фізико-хімічних та біохімічних процесів.

Ступінь забезпечення цими функціями визначається наявністю природних екосистемних буферів у співвідношенні з джерелами антропогенної дестабілізації довкілля в межах умовної територіальної одиниці [39].

Похил (падіння відміток) є підхарактеристикою водозбірної басейну, яка має найбільший вплив на більшість функцій і сама по собі залежить від умов кожного водозбірної басейну [38]. Невід'ємним критерієм планування та управління вододілами і забезпечення здорового екологічного функціонування ландшафтів у вододілах також є розуміння взаємозв'язків між моделями землекористування та якістю води, особливо в ландшафтному аспекті [40]. Тому потрібно розглядати потоки як складні екосистеми, які діють у різних просторових масштабах та часовій динаміці. Часовий вимір включає сезонні зміни, довгострокову зміну клімату та часову затримку деяких впливів на якість води в результаті змін землекористування. Таким чином, визначення відповідного просторового масштабу та часової періодичності мають вирішальне значення для розуміння впливу землекористування на якість води, оскільки різні параметри якості води відображають різні впливи в різних масштабах [41].

Створення такої системи в Україні за принципами функціонування природних екосистем також може застосовувати підходи подібні до тих що використовує модель SWAT, що створена для прогнозування довгострокового впливу на воду та її якість у вододілах із різними ґрунтами, землекористуванням та управлінням. Це напіврозподілена модель річкового басейну неперервна у часі, заснована на процесах. Її було застосовано для розуміння втрат осаду та навантаження поживних речовин у вододілах у всьому світі. Модель розділяє підвододіли, з'єднані мережею потоків. Потім модель поділяється на одиниці гідрологічної реакції (HRU), які є унікальними комбінаціями різних типів землекористування, ґрунтів і схилів поверхні. У

межах кожного басейну території з подібними моделями землекористування, типами ґрунтів і схилами поверхні об'єднуються в одну HRU. Модель вимагає кількох наборів даних, яка охоплює карту землекористування, карту ґрунту, карту висот, опади, температуру, вологість, потік і вхідні дані про якість води. Ці дані необхідні для таких процесів як калібрування та перевірки моделі [42].

Процедури та інструменти. Ідентифікація та виокремлення чутливих (ризикових) ділянок на основі просторово-часових даних діагностики та моніторингу стану забруднення ґрунтів з врахуванням процесів вилуговування чи площинного змиву в межах водозбірних ландшафтів і екосистем, та даних моніторингу якості вод може бути напрацьована у вигляді спеціалізованих аналітичних процедур та програм із використанням інструментів комп'ютерного моделювання, ГІС та машинного навчання із застосуванням нейромереж. Зокрема, відомо багато різних методів для безпосереднього визначення Ksat у польових та лабораторних умовах, а також непрямі методи: педотрансферні функції (PTF), штучні нейронні мережі (ANN), моделі опорних векторних машин (SVM) та гідрологічне моделювання. Всі методи оцінки Ksat часто дають різні результати через відмінності в методах вимірювання і розрахунку. Наприклад, типи ґрунтів і рельєф місцевості (умови навколишнього середовища) можуть значно відрізнятися на невеликій території і впливати на продуктивність обладнання, що призводить до варіативних оцінок Ksat. Визначення Ksat в польових умовах часто є дорогим, трудомістким і громіздким, тому Ksat часто оцінюють за допомогою співвідношень з іншими більш легко спостережуваними властивостями ґрунту або ландшафту [18].

Для України, в умовах відсутності точних та верифікованих первинних польових даних для локальних територій, які потрібні для створення надійних пошукових моделей з використанням штучного інтелекту та машинного навчання, і де, крім цього, масштабна польова діагностика може нести значне фінансове навантаження, на першому етапі відповідно до принципів просторового аналізу може бути запропоновано виділити потенційно чутливі зони за допомогою доступних баз даних, що включають інформацію про рельєф, гідрофізичні характерис-

тики ґрунтів та землекористування на водозборах. Вітчизняною альтернативою до глобальних баз, наприклад таких як SoilKsatDB, SWIG [43,44] може стати адаптація бази даних «Властивості ґрунтів України»[45]. Ця база створена лабораторією геоєкофізики імені академіка НААН В. В. Медведєва в складі ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», вона містить інформацію про корисні для моделювання властивості, такі як дренажність ґрунтів, водний режим, стійкість ґрунтів до забруднення і міграції забруднювачів, індекси фізичного стану ґрунту, та ін, що можуть бути застосовані під час створення пошуково-аналітичних моделей ґрунтової гідроекології з достатньою надійністю.

Для уточнення даних локальних ділянок та територій може бути необхідна додаткова пряма верифікація, наприклад, шляхом виконання польових вимірювань. В цьому процесі замість використання складних або дорогих методів визначення гідрофізичних параметрів, можна застосовувати більш прості й доступні методи, наприклад, прості тести на водопроникність ґрунтів. Ці методи дозволяють отримати базові дані для моніторингу з мінімальними

витратами [46]. Використання перміатрів, інфільтрометрів, та лізиметрів, може простим та ефективним за обмежених ресурсів. Інструменти такого типу допоможуть виміряти або верифікувати коефіцієнт насичення ґрунту K_{sat} , в потрібних зонах, що важливо для прогнозування руху забруднювачів через ґрунт. За допомогою таких пристроїв можна легко визначати швидкість проникнення води через ґрунт, що важливо для моделювання руху забруднюючих речовин, а також оцінити водний баланс та виведення забруднюючих речовин у водоносні шари [47-49].

Для створення концепт-підходу розглядаємо двостороннє використання даних, зокрема даних діагностики забруднення ґрунтів включаючи дані про поведінку забруднювачів в ґрунтах під впливом чинників середовища, та даних моніторингу вод (рис.3). Аналітичні процедури отримання даних, процедури оцінювання ризиків та програма моніторингових досліджень повинні сприяти підвищенню точності цих даних, як це показано на рисунку 3. Двосторонні дані повинні допомогти точно окреслити уразливу зону, або ризик-зону екологічного інтерфейсу, для якої передбачатиметься подальше екологічне управління та контроль.

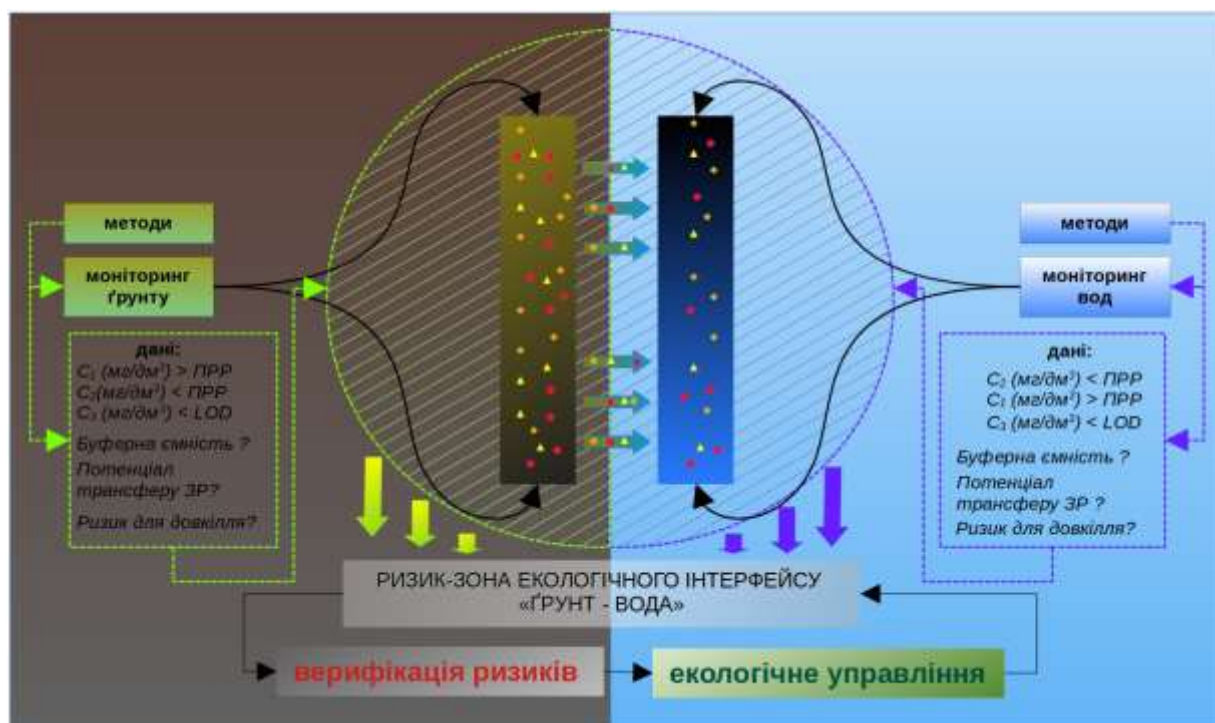


Рис. 3 - Візуалізація двостороннього процедурно-аналітичного підходу просторового пошуку та ідентифікації уразливих (чутливих) ризик-зон в межах водозборів (рисунок автора).

Fig. 3 - Visualization of a two-pronged procedural and analytical approach to spatial search and identification of vulnerable (sensitive) risk zones within watersheds

Використання аналітичних процедур для ідентифікації забруднення ґрунту та діагностики потенціалу процесів вилуговування в ґрунтові води або поверхневого винесення у водотоки дозволять підтверджувати появу тих самих хімічних сполук у масивах поверхневих та підземних вод, підвищувати ефективність управління якістю води та зменшувати вплив дифузійних джерел застосуванням спеціалізованих природоохоронних інженерних практик.

В системі розвитку екологічного моніторингу забруднення ґрунтів (земель) підготовка нових підходів невідкладно потрібна для діагностики пріоритетних класів забруднювачів, наприклад, таких як стійкі органічні забруднювачі, що в підвищеній кількості надходять в ґрунт на рівні держав в залежності від типоспецифічних природно-ресурсних та господарсько-економічних умов землекористування і масштабу господарського навантаження на ґрунти (землі).

Обґрунтування алгоритму. Моделі такого типу як SWAT можуть бути застосовані під конкретні умови і специфіко-цільові завдання, зокрема для пошуку гідрологічно-чутливих зон та критичних зон хімічного забруднення, просторове співпадіння яких становить особливу небезпеку для довкілля. Отримання новизни пропозиції передбачається завдяки оптимізації алгоритму, який дозволить виявляти та класифікувати гідрологічно чутливі зони з критичним забрудненням за різновидами такого забруднення, використовуючи не дорогі інструменти цільової польової діагностики гідрофізичних параметрів, у поєднанні з аналітичними практиками ідентифікації забруднюючих речовин, які в Україні набуватимуть все більшого розвитку. Сюди можна віднести кількісні аналізи за пріоритезованими переліками хімічних речовин, чи цільовий (скринінг за припущенням) та нецільовий скринінг забруднювальних речовин, а також діагностику та оцінювання процесів трансферу забруднень між середовищем взаємодії «ґрунту і води».

Як машинне навчання так і механістичне моделювання дозволяють автоматизувати та налаштувати алгоритми для отримання точних даних про HSA з потенційним ризиком хімічного забруднення, для подальшої інструментально-лабораторної та польової діагностики, як процесу

верифікації ризиків у знайденій зоні. Таке моделювання зазвичай виконуються за двоетапною процедурою: 1) побудова та калібрування моделі, де використовується підмножина наявних даних; 2) валідація, де додаткові дані використовуються для підтвердження та/або уточнення моделі. Зважаючи на це, структурні етапи механізму автоматизованого пошуку ризик-зон на водозборах можемо об'єднати у два взаємозалежні консеквентні алгоритми (рис.4). Перший алгоритмічний шлях (рис.4, блоки 1-5) повинен передбачити створення надійної та високоточної референс-мережі або іншими словами калібрувальної просторово інформаційної структури даних, яку складатимуть дескриптори, атрибути і зв'язки між ними.

Другий (заклучний) алгоритмічний шлях використає цю референс-структуру для автоматизованого просторово-часового пошуку «потенційних ризик-критичних зон» (ПРКЗ) шляхом налаштованого високоточного програмного сканування території у басейновому (водозбірному) масштабі відповідно до заданих параметрів цього масштабу. Такий алгоритм концепційно подібний до того, що представлений на концепційній діаграмі континууму перенесення забруднювачів, адаптований з Haygarth та ін., 2005, і де HSA та CSA були адаптовані з Agnew et al. [18]. Відмінність полягає у спрощенні алгоритму пошуку для потреб України, в умовах відсутності широкомасштабних верифікованих даних про концентрації різноманітних забруднюючих речовин у ґрунтах, які зазвичай повинні надходити з регулярної спостережної мережі, і імплементуються в процес просторового накладання критичних зон забруднення та гідрологічно-активних зон.

Авторська пропозиція націлена на більш детальне отримання комплексних даних в межах створення початкової мережі потенційних ризик-критичних зон (ПРКЗ) на водозборах, унікальних за наборами та конфігураціями параметрів, що відповідає підходу для повністю розподіленого моделювання.

Ці дані будуть використані для налаштування процедур навчання, калібрування для налаштування автоматизованого пошуку з формуванням цільової вибірки таких зон в подальшому. Роль функції аналізу

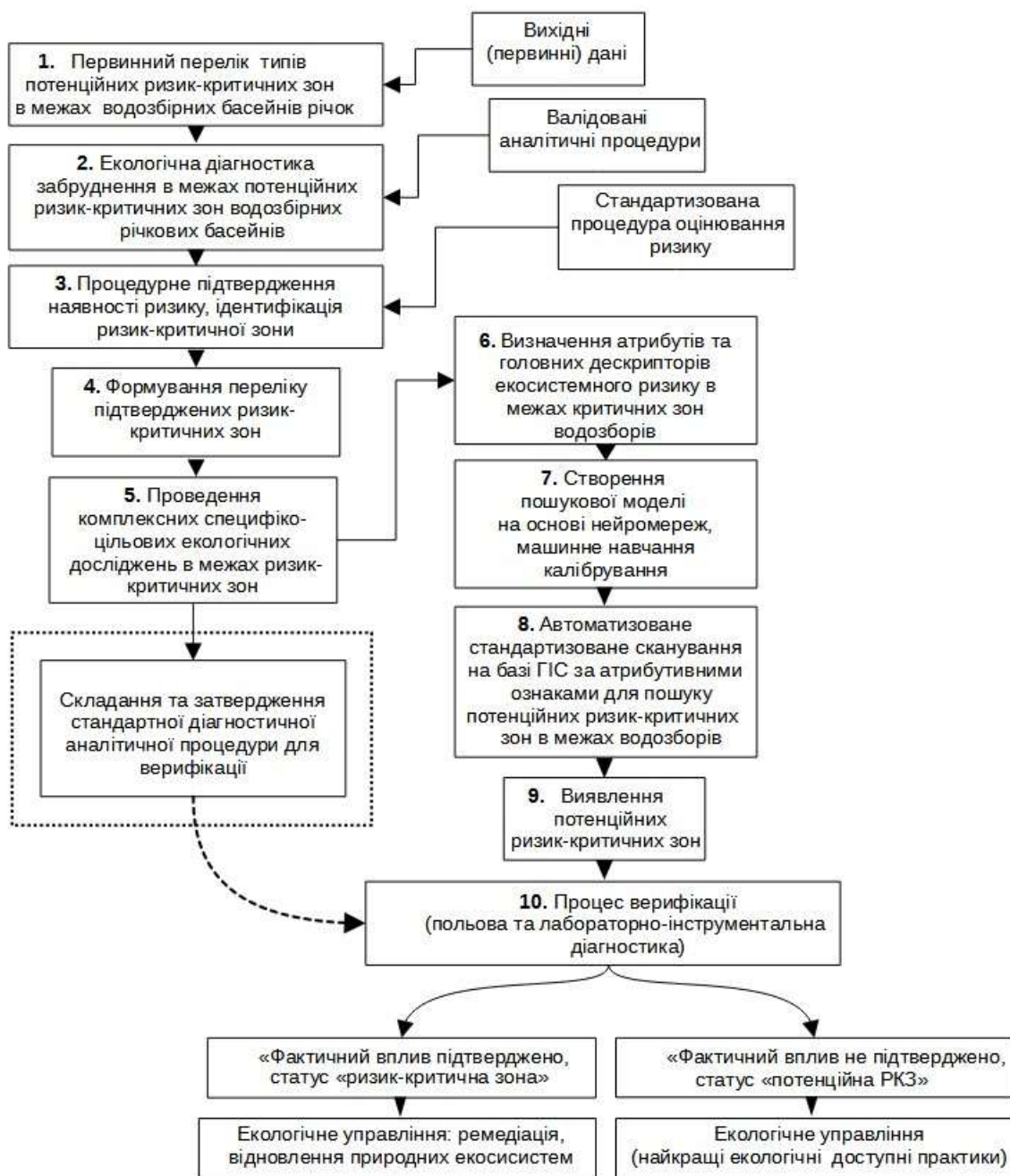


Рис. 4 — Концепт-основа підходу екологічної діагностики ґрунтів водозборів у межах потенційних ризик-критичних зон (ПРКЗ)

Fig. 4 — Conceptual basis of the approach to ecological diagnostics of watershed soils within potential risk-critical zones (PRCZ)

накладання (оверлейну) має замінити процес прямої польової верифікації in-situ, у початково визначених ризик-критичних зонах, хоча різні програмні функції повинні бути передбачені для широких цілей. Процедура складання переліку ПЗРК, як першого кроку запуску автоматичної пошукової операції таких зон може бути уніфікована і повинна створюватись за принципом: «мінімальна кількість

характеризує максимальну генеральну сукупність». При мінімальній кількості ПРКЗ повинен забезпечуватись максимальний показник охоплення окремих унікальних зон для цілого водозбору. Унікальність може визначатися строкатістю ландшафтних умов та характеру землекористування наприклад в межах водозбірного басейну найвищого порядку.

Процес встановлення ПРКЗ та їхніх

просторово-територіальних меж повинен базуватись на ієрархічній структурі та ієрархічній взаємодії річкових басейнів різних порядків. Відповідно з урахуванням цього передбачається, що контури ПЗРК та географічні межі водозбірних площ водотоків найнижчого порядку, найчастіше будуть співпадати а якісні та кількісні характеристики стану ґрунту та води в середині цих зон відіграватимуть роль головних предикторів хімічного стану та ризику для гідрологічних комплексів вищих ієрархічних рівнів.

Наступним кроком є процедура підтвердження (верифікації), що забезпечується інструментально-лабораторною специфіко-цільовою діагностикою із випробуванням зразків ґрунту, поверхневих вод та осаду за типом: «діагностика станів» (рівні забруднення) та «діагностика процесів» (трансфер забруднення). Перш за все слід зосередитися на фундаментальних та специфічних показниках та параметрах якості ґрунтів та вод, які в загальному вигляді здатні чітко характеризувати функціональні природні процеси в межах водозбору з урахуванням його структури та особливостей, де особливо увагу слід звернути на гідропедотрансферні функції (ПТФ).

Точки польової діагностики в межах ПРКЗ повинні бути визначені таким чином, щоб зрозуміти взаємодію між властивостями та функціями та встановити їх розподіл в напрямку від периферії водозбору (вододільної лінії) до прибережної екосистеми, тобто за напрямком перенесення речовин в ґрунті.

Нарешті оцінювання та класифікація ризику за інтенсивністю та характером поширення в межах гідрологічно-чутливої ПРКЗ на основі зібраних типоспецифічних характеристик і аналітичних даних інструментально-лабораторної діагностики може стати кінцевим етапом для результуючого підтвердження та ідентифікації ризик-критичної зони (РКЗ), що буде включена до побудови калібрувальної структури або іншими словами референс-мережі.

Відповідно до конструктивної логіки концепту науковий термін «*потенційна ризик-критична зона*» (ПРКЗ) визначатиметься як просторово-територіальний комплекс нижчого ієрархічного рівня, функціонально підпорядкований водозбору (басейну) вищого порядку, що позначає гідрологічно чутливу ділянку місцевості

(зону), яка за своїми вихідними характеристиками (дескрипторами) відповідає високому потенційному ризику перенесення хімічного забруднення, але для якої за результатами верифікаційної перевірки не було підтверджено високого ступеня реалізованих небезпек пов'язаних з рівнями та масштабами фактичного забруднення. Термін «*ризик-критична зона*» (РКЗ) це відповідно попередньо встановлена ПРКЗ, для якої в процесі результуючої верифікації було підтверджено високий ступінь реалізованих небезпек та прямих загроз для довкілля пов'язаних з рівнями та масштабами фактичного забруднення.

Для кожної окремої підтвердженої РКЗ згідно створеного та затвердженого первинного переліку в межах річкового басейну, передбачається проведення більш ґрунтовних (комплексних) специфіко-цільових екологічних досліджень та діагностики з використанням інструментально-лабораторних та польових методів. Це остання ланка першого алгоритмічного шляху, результатом якої є надання науково-технічних цифрових аналітичних даних для математичного моделювання та перевірки закономірностей.

Наступний алгоритмічний шлях (блоки 6-10 на рис. 4) є створення спеціалізованої програми та відповідної процедури автоматизованого онлайн-сканування на базі ГІС. Навчання та калібрування системи може відбуватись із використанням можливостей ШІ. Надалі застосування цієї програми в рамках функціонування системи екологічного моніторингу буде спрямоване на автоматизований просторовий пошук та картування ПРКЗ в межах водозборів. Для цього передбачається використовувати моделі з іншими рівнями просторового розподілу: напіврозподілені або нерозподілені моделі, з їхньою адаптацією до даних калібрування.

Переліки виявлених ПРКЗ за результатами автоматизованого програмного сканування в межах басейну можуть стати основою для складання плану інструментально-лабораторної діагностики, тобто «верифікації in situ». Таке підтвердження може бути застосоване для прямої оцінки реалізованих небезпек та загроз пов'язаних з фактичними рівнями та масштабами забруднення ґрунтового покриву (земель), як це було передбачено на етапі створення калібрувальної референс-мережі даних. Отримані дані можуть бути

використані також для валідації і повторного калібрування пошукової моделі.

Впровадження такої системи повинно передбачати можливість її періодичного оновлення та удосконалення шляхом підвищення точності даних про ризики та їх атрибутивні ознаки на місцевості. Це дозволить через визначений проміжок часу, наприклад на кінець виконання періоду реалізації умовної (річної/кілька річної)

затвердженої моніторингової програми проводити повторну процедуру разового сканування, результатом якої може стати не тільки відображення оновлених просторових меж забруднення раніше визначених РКЗ, а й ідентифікація нових ПРКЗ в межах басейну, чи виявлення епіцентрів потенційного розростання РКЗ, що важливо для своєчасного екологічного управління, або моніторингу його ефективності.

Висновки та рекомендації для подальшої роботи

Представлена концепт-основа алгоритму (підходу) функціонування екологічної діагностики та моніторингу забруднення ґрунтів передбачає автоматизований програмний пошук гідрологічно чутливих ПРКЗ в межах інших численних водозборів низьких порядків, шляхом застосування комбінованого підходу, зокрема використанням повністю розподіленого моделювання для створення калібрувальної структури (мережі), та напіврозподіленого моделювання з використанням калібрувальної структури на етапі пошуку нових зон. Цей підхід спрямований на поєднання точності і детальності з більшими обчислювальними можливостями, а також можливістю постійного удосконалення на основі даних польової верифікації, що передбачається на кінцевому етапі алгоритму. Алгоритм спрямований на досягнення в Україні збалансованого рівня розвитку природних та антропогенних ландшафтів, шляхом скерування основних сил і засобів на ті території і ділянки, які є пріоритетними для управління, і можуть надати найбільший ефект після відновлення. Це може бути своєрідний науково-обґрунтований механізм запуску процесу відновлення природних екосистем, що особливо актуально і важливо на тлі наявного катастрофічного дисбалансу та розораності. ПРКЗ та РКЗ як просторово-територіальні комплекси – це вразливі чи занадто піддатливі та чутливі до антропогенного впливу екосистеми чи ландшафти, межі яких окреслюються на основі даних

про потенціал різноманітних несприятливих процесів, таких як механічна, фізична, біологічна деградація ґрунту, хімічне забруднення та його перенесення у водні масиви, а також супутні ризики для віддалених екосистем, біорізноманіття, клімату, людства тощо.

Для перевірки ефективності та оптимізації запропонованої основи концепт-підходу, в подальшому, перед випробуванням реальної моделі, передбачається застосування декілька циклів операцій прототипування. Створення попередніх прототипів або моделей, які здатні використати представлену алгоритмічну структуру з метою перевірки її ефективності, доцільності та здатності до адаптації в умовах реального використання може допомогти визначити, які методи збору, обробки та аналізу даних будуть найбільш ефективними для конкретних умов моніторингу, які технології або інструменти найкраще підійдуть для збирання даних та їхнього оброблення. Це дасть змогу заощадити ресурси в подальшому впровадженні підходу в перспективі. Прототипи також можуть перевірятися на здатність інтегруватися з іншими існуючими системами збору даних, наприклад, з мережами моніторингу водних ресурсів, погодними станціями або сателітними даними. В результаті можуть бути виявлені точніші алгоритми моніторингу, які забезпечать кращі, більш ефективні та економічні системи для збору й аналізу екологічних даних.

Конфлікт інтересів

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

Список використаної літератури

1. Yuan L., Sinshaw T., Forshay K. J. Review of Watershed-Scale Water Quality and Nonpoint Source Pollution Models. *Geosciences*. 2020. Vol. 10, no. 1. P. 25. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences10010025>

2. Wiering M., Kirschke S., Akif N. U. Addressing diffuse water pollution from agriculture: Do governance structures matter for the nature of measures taken?. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 332. P. 117329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117329>
3. Nsenga Kumwimba M., Zhu B., Stefanakis A. I., Ajibade F. O., Dzakpasu M., Soana E., ... & Agboola T. D. Advances in ecotechnological methods for diffuse nutrient pollution control: wicked issues in agricultural and urban watersheds. *Frontiers in Environmental Science*. 2023. Vol. 11. P. 1199923. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1199923>
4. Foster S., Bjerre T. K. Diffuse agricultural pollution of groundwater: addressing impacts in Denmark and Eastern England. *Water Quality Research Journal*. 2023. Vol. 58, no. 1. P. 14-21. DOI: <https://doi.org/10.2166/wqrj.2022.022>
5. Locke K. A. Impacts of land use/land cover on water quality: A contemporary review for researchers and policymakers. *Water Quality Research Journal*. 2024. Vol. 59, no. 2. P. 89-106. DOI: <https://doi.org/10.2166/wqrj.2024.002>
6. Dressing S. A., Meals D. W., Harcum J. B., Spooner J., Stribling J. B., Richards R. P., ... & O'Donnell J. G. Monitoring and Evaluating Nonpoint Source Watershed Projects. United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 40, 2016-06.5
7. SWD. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT Accompanying the proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on nature restoration. SWD/2022/167 final. 2022. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52022SC0167>
8. Amin M. M., Veith T. L., Collick A. S., Karsten H. D., Buda A. R. Simulating hydrological and nonpoint source pollution processes in a karst watershed: A variable source area hydrology model evaluation. *Agricultural Water Management*. 2017. Vol. 180. P. 212-223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.011>
9. McDowell R., Kleinman P. J., Haygarth P., McGrath J. M., Smith D., Heathwaite L., ... & Nash D. A review of the development and implementation of the critical source area concept: A reflection of Andrew Sharpley's role in improving water quality. *Journal of Environmental Quality*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20551>
10. Service T., Cassidy R., Atcheson K., Farrow L., Harrison T., Jack P., & Jordan P. A national-scale high-resolution runoff risk and channel network mapping workflow for diffuse pollution management. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 368. P. 122110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122110>
11. Qiu Z., Lyon S. W., Creveling E. Defining a topographic index threshold to delineate hydrologically sensitive areas for water resources planning and management. *Water Resources Management*. 2020. Vol. 34, no. 11. P. 3675-3688. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02643-z>
12. Kenessov B., Koziel J. A., Bakaikina N. V., Orazbayeva D. Perspectives and challenges of on-site quantification of organic pollutants in soils using solid-phase microextraction. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2016. Vol. 85. P. 111-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.04.007>
13. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Analytical note on the state and prospects of development of the state environmental monitoring system. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. 2023. URL: <https://mepr.gov.ua>
14. Walter M. T., Walter M. F., Brooks E. S., Steenhuis T. S., Boll J., Weiler K. Hydrologically sensitive areas: Variable source area hydrology implications for water quality risk assessment. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2000. Vol. 55, no. 3. P. 277-284. URL: <https://www.jswnonline.org/content/55/3/277>
15. Wang Y., Lin J., Wang F., Tian Q., Zheng Y., Chen N. Hydrological connectivity affects nitrogen migration and retention in the land-river continuum. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 326. P. 116816. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116816>
16. Wang Y., Yu Y., Luo X., Tan Q., Fu Y., Zheng C., ... & Chen N. Prioritizing ecological restoration in hydrologically sensitive areas to improve groundwater quality. *Water Research*. 2024. Vol. 252. P. 121247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121247>
17. Giri S., Qiu Z., Prato T., Luo B. An integrated approach for targeting critical source areas to control nonpoint source pollution in watersheds. *Water Resources Management*. 2016. Vol. 30. P. 5087-5100. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1470-z>
18. Thomas I. A., Jordan P., Mellander P. E., Fenton O., Shine O., Ó hUallacháin D., ... & Murphy P. N. Improving the identification of hydrologically sensitive areas using LiDAR DEMs for the delineation and mitigation of critical source areas of diffuse pollution. *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 556. P. 276-290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.183>
19. Jin L., Higgins S. J., Thompson J. A., Strager M. P., Collins S. E., Hubbard J. A. SWAT Model Performance Using Spatially Distributed Saturated Hydraulic Conductivity (Ksat) and Varying-Resolution DEMs. *Water*. 2024. Vol. 16, no. 5. P. 735. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16050735>
20. Soares M. F., Siqueira T. M., Nunes R. F., Pedrollo O. C., Reichardt K., Barros W. S., Timm L. C. Artificial Neural Network Models to Examine the Relationship between Saturated Soil Hydraulic Conductivity and Co-Driven Factors at the Watershed Scale. SSRN. DOI: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4508940>
21. Council of the European Union. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal of the European Communities*. 1991. L 375, p. 1-8. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31991L0676>

22. Arauzo, M., Valladolid, M., & Andries, D. M. Would delineation of nitrate vulnerable zones be improved by introducing a new parameter representing the risk associated with soil permeability in the Land Use–Intrinsic Vulnerability Procedure? *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 840, P.156654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156654>
23. Arauzo, M., & Martínez-Bastida, J. J. Environmental factors affecting diffuse nitrate pollution in the major aquifers of central Spain: groundwater vulnerability vs. groundwater pollution. *Environmental Earth Sciences*. 2015. Vol. 73, P.8271-8286. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3989-8>
24. Arauzo, M., Valladolid, M., & Martínez-Bastida, J. J. Spatio-temporal dynamics of nitrogen in river-alluvial aquifer systems affected by diffuse pollution from agricultural sources: implications for the implementation of the Nitrates Directive. *Journal of Hydrology*. 2011. Vol. 411, no. 1-2, P.155-168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.004>
25. Orellana-Macias, J. M., Merchán, D., & Causapé, J. Evolution and assessment of a nitrate vulnerable zone over 20 years: Gallocanta groundwater body (Spain). *Hydrogeology Journal*. 2020. Vol. 28, no. 6, P.2207-2221. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02184-0>
26. Richard, A., Casagrande, M., Jeuffroy, M. H., & David, C. An innovative method to assess suitability of Nitrate Directive measures for farm management. *Land Use Policy*. 2018. Vol. 72, P.389-401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.059>
27. Worrall, F., Spencer, E., & Burt, T. P. The effectiveness of nitrate vulnerable zones for limiting surface water nitrate concentrations. *Journal of Hydrology*. 2009. Vol. 370, no. 1-4, P.21-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.036>
28. Dniester Basin Water Resources Management Authority. River Basin Management Plan for the Dniester River (2025-2030). 2022. URL: <https://vodaif.gov.ua>
29. European Commission. Proposal for a Nature Restoration Law (CELEX:52022PC0304). 2022. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022PC0304>
30. Rykovska, O., Fray, O., & Mykhailenko, O. Analysis of the state of agriculture in Ukraine and the implementation of EU legislative acts related to agricultural and environmental issues. In M. Belkin & A. Danylyak (Eds.), Kyiv: EcoAction. 2024. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2024/03/analiz-stanu-sg-ua-ta-implement-es2024.pdf>
31. Testov, P., Harbacheuk, K., Vasilyuk, O., Belkin, M., Romanov, O., Kuchenko, B., & Klepko, A. Overview of trends in environmental legislation violations by agricultural enterprises. Kyiv: EcoAction NGO. 2024. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2024/04/ohlyad-porush-sg-pidpryemstvamy2024.pdf>
32. Shuhui Wang, Yunqi Wang, Yujie Wang, Zhen Wang. Assessment of influencing factors on non-point source pollution critical source areas in an agricultural watershed. *Ecological Indicators*. Vol.141. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109084>
33. Ferreira, V., Albariño, R., Larrañaga, A., LeRoy, C. J., Masese, F. O., & Moretti, M. S. Ecosystem services provided by small streams: an overview. *Hydrobiologia*. 2023. Vol. 850, no. 12, P.2501-2535. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05095-1>
34. Huntington, T. G., Hooper, R. P., & Murdoch, P. S. Small watershed studies: Analytical approaches for understanding ecosystem response to environmental change. In *Proceedings of the Watershed '96 Conference—Moving Ahead Together, Technical Conference and Exposition*, p. 783-786. Tetra Tech, Inc. 1996. URL: <https://pubs.usgs.gov/publication/70205394>
35. Barbagli, A., Jensen, B. N., Raza, M., Schüth, C., & Rossetto, R. Assessment of soil buffer capacity on nutrients and pharmaceuticals in nature-based solution applications. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26, no. 1, P.759-774. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3515-8>
36. Povar, I., & Spinu, O. Application of the buffer theory for evaluating attenuation and natural remediation of ionic pollutants in aquatic ecosystems. *Ecological Processes*. 2015. Vol. 4, P.1-10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13717-015-0043-z>
37. Stigliani, W. M. Changes in valued “capacities” of soils and sediments as indicators of nonlinear and time-delayed environmental effects. *Environmental Monitoring and Assessment*. 1988. Vol. 10, P.245-307. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00395083>
38. Hansen, B., Reich, P., Lake, P.S., & Cavagnaro, T. Minimum width requirements for riparian zones to protect flowing waters and to conserve biodiversity: a review and recommendations. Monash University, Melbourne. 2010. URL: https://www.ccmaknowledgebase.vic.gov.au/resources/RiparianBuffers_Report_Hansenetal2010.pdf
39. Valera, C. A., Pissarra, T. C. T., Filho, M. V. M., Valle Júnior, R. F. D., Oliveira, C. F., Moura, J. P., ... & Pacheco, F. A. L. The buffer capacity of riparian vegetation to control water quality in anthropogenic catchments from a legally protected area: A critical view over the Brazilian new forest code. *Water*. 2019. Vol. 11, no. 3, P.549. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11030549>
40. Lee, S. W., Hwang, S. J., Lee, S. B., Hwang, H. S., & Sung, H. C. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. *Landscape and Urban Planning*. 2009. Vol. 92, no. 2, P.80-89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.02.008>
41. de Mello, K., Taniwaki, R. H., de Paula, F. R., Valente, R. A., Randhir, T. O., Macedo, D. R., ... & Hughes, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 270, P. 110879. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>

42. de Mello, K., Valente, R. A., Randhir, T. O., dos Santos, A. C. A., & Vettorazzi, C. A. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. *Catena*. 2018. Vol. 167, P. 130-138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.027>
43. Gupta, S., Hengl, T., Lehmann, P., Bonetti, S., & Or, D. SoilKsatDB: global soil saturated hydraulic conductivity measurements for geoscience applications. *Earth System Science Data Discussions*. 2020. P. 1-26. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-13-1593-2021>
44. Selahvarzi, M., Naghedifar, S. M., Oliazadeh, A., & Loaiciga, H. A. Hierarchical pseudo-continuous machine-learning-based pedotransfer models for infiltration curves: An investigation on the role of regularization and ensemble modeling. SSRN. 2020. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4960426>
45. Laktionova, T. M., Medvedev, V. V., Savchenko, K. V., Bigun, O. M., Sheiko, S. M., & Nakisko, S. G. (2010). Structure and Usage Guidelines for the Database "Soil Properties of Ukraine" (Instruction). Kharkiv: Apostrof.
46. Fodor, N., Sándor, R., Orfanus, T., Lichner, L., & Rajkai, K. Evaluation method dependency of measured saturated hydraulic conductivity. *Geoderma*. 2011. Vol. 165, No. 1, P. 60-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.07.004>
47. Mac Mahon, J., Knappe, J., & Gill, L. Percolation testing of soils for on-site wastewater treatment. Environmental Protection Agency, Ireland. 2022. URL: https://www.epa.ie/publications/research/water/Research_Report-428.pdf
48. Leite, P. A., Di Prima, S., Schmidt, L. M., & Wilcox, B. P. A simple infiltrometer automated with a user-friendly pressure datalogger. *Vadose Zone Journal*. 2024. e20366. DOI: <https://doi.org/10.1002/vzj2.20366>
49. Meissner, R., Rupp, H., & Haselow, L. Use of lysimeters for monitoring soil water balance parameters and nutrient leaching. In: *Climate change and soil interactions*. Elsevier. 2020. P. 171-205. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00007-2>

Стаття надійшла до редакції 22.10.2024

Стаття рекомендована до друку 25.11.2024

M. T. MYKYTSEI

PhD student of the Department of Ecology

e-mail: mmtecoif@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2613-7729>

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

15, Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ivano-Frankivsk region, 76019, Ukraine

CONCEPTUAL BASIS FOR THE SEARCH AND ECO-DIAGNOSTICS OF RISK ZONES IN WATERSHEDS

Purpose. To develop and substantiate the conceptual basis of a new approach for ecological diagnostics of anthropogenic soil (land) pollution in “risk-critical zones” of ecological soil-water interactions within watersheds. This approach aims to optimize the integrated ecological management system, enhance nature protection, and improve environmental safety in Ukraine.

Methods. System analysis, comparative analysis-synthesis and evaluation to form a targeted spatial sampling; extrapolation and adaptive transfer of procedural-analytical approaches for diagnostic network selection; methods of conceptual design and visual representation.

Results. Based on a systematic analysis of publications from Google Scholar, Scopus, Web of Science, Springer, as well as domestic sources in the areas of soil and water pollution assessment with the identification of vulnerable (sensitive) territories and hot spots, priority management areas (APMA) and critical areas (CSA), an alternative conceptual basis for an approach to integrated environmental diagnostics of soil, surface and groundwater pollution is presented, which is preceded by an automated program search for hydrologically sensitive risk zones of ecological contact interaction of soil and water, which is important for ecological management and ecosystem restoration. The mechanism of spatial automated search of these zones is focused on the most vulnerable (hydrologically sensitive zones and territories), where the contact interaction of soil and water under conditions of soil pollution can create risks for the ecosystem and public health, starting from the scale of individual territorial communities.

Conclusions. Greater attention to hydrologically sensitive areas and soil-water interaction processes under conditions of pollution will allow controlling and reducing inter-environmental transfer of pollutants. The proposed concept in practical terms meets the goals of basin management and is designed to increase the environmental efficiency of land and water environmental policies as particularly important elements of managing the ecological safety of ecosystems.

KEYWORDS: automated program-driven search, monitoring, hydrologically sensitive zone, soil diagnostics, pollution transfer, ecosystem restoration

References

1. Yuan, L., Sinshaw, T., & Forshay, K. J. (2020). Review of watershed-scale water quality and nonpoint source pollution models. *Geosciences*, 10(1), 25. <https://doi.org/10.3390/geosciences10010025>
2. Wiering, M., Kirschke, S., & Akif, N. U. (2023). Addressing diffuse water pollution from agriculture: Do governance structures matter for the nature of measures taken?. *Journal of Environmental Management*, 332, 117329. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117329>
3. Nsenga Kumwimba, M., Zhu, B., Stefanakis, A. I., Ajibade, F. O., Dzakupasu, M., Soana, E., ... & Agboola, T. D. (2023). Advances in ecotechnological methods for diffuse nutrient pollution control: wicked issues in agricultural and urban watersheds. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1199923. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1199923>
4. Foster, S., & Bjerre, T. K. (2023). Diffuse agricultural pollution of groundwater: addressing impacts in Denmark and Eastern England. *Water Quality Research Journal*, 58(1), 14-21. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2022.022>
5. Locke, K. A. (2024). Impacts of land use/land cover on water quality: A contemporary review for researchers and policymakers. *Water Quality Research Journal*, 59(2), 89-106. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2024.002>
6. Dressing, S. A., Meals, D. W., Harcum, J. B., Spooner, J., Stribling, J. B., Richards, R. P., ... & O'Donnell, J. G. (2016). Monitoring and Evaluating Nonpoint Source Watershed Projects. United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 40, 2016-06.5 Retrieved from https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/nps_monitoring_guide_may_2016-combined_plain.pdf
7. SWD(2022). SWD/2022/167 final. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT Accompanying the proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on nature restoration. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52022SC0167>
8. Amin, M. M., Veith, T. L., Collick, A. S., Karsten, H. D., & Buda, A. R. (2017). Simulating hydrological and nonpoint source pollution processes in a karst watershed: A variable source area hydrology model evaluation. *Agricultural Water Management*, 180, 212-223. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.011>
9. McDowell, R., Kleinman, P. J., Haygarth, P., McGrath, J. M., Smith, D., Heathwaite, L., ... & Nash, D. (2024). A review of the development and implementation of the critical source area concept: A reflection of Andrew Sharpley's role in improving water quality. *Journal of Environmental Quality*. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20551>
10. Service, T., Cassidy, R., Atcheson, K., Farrow, L., Harrison, T., Jack, P., & Jordan, P. (2024). A national-scale high-resolution runoff risk and channel network mapping workflow for diffuse pollution management. *Journal of Environmental Management*, 368, 122110. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122110>
11. Qiu, Z., Lyon, S. W., & Creveling, E. (2020). Defining a topographic index threshold to delineate hydrologically sensitive areas for water resources planning and management. *Water Resources Management*, 34(11), 3675-3688. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02643-z>
12. Kenessov, B., Koziel, J. A., Bakaikina, N. V., & Orazbayeva, D. (2016). Perspectives and challenges of on-site quantification of organic pollutants in soils using solid-phase microextraction. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 85, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.04.007>
13. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2023). Analytical note on the state and prospects of development of the state environmental monitoring system. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Retrieved from <https://mepr.gov.ua>
14. Walter, M. T., Walter, M. F., Brooks, E. S., Steenhuis, T. S., Boll, J., & Weiler, K. (2000). Hydrologically sensitive areas: Variable source area hydrology implications for water quality risk assessment. *Journal of soil and water conservation*, 55(3), 277-284. <https://www.jswnonline.org/content/55/3/277>
15. Wang, Y., Lin, J., Wang, F., Tian, Q., Zheng, Y., & Chen, N. (2023). Hydrological connectivity affects nitrogen migration and retention in the land-river continuum. *Journal of Environmental Management*, 326, 116816. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116816>
16. Wang, Y., Yu, Y., Luo, X., Tan, Q., Fu, Y., Zheng, C., ... & Chen, N. (2024). Prioritizing ecological restoration in hydrologically sensitive areas to improve groundwater quality. *Water Research*, 252, 121247. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121247>
17. Giri, S., Qiu, Z., Prato, T., & Luo, B. (2016). An integrated approach for targeting critical source areas to control nonpoint source pollution in watersheds. *Water resources management*, 30, 5087-5100. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1470-z>
18. Thomas, I. A., Jordan, P., Mellander, P. E., Fenton, O., Shine, O., Ó hUallacháin, D., ... & Murphy, P. N. (2016). Improving the identification of hydrologically sensitive areas using LiDAR DEMs for the delineation and mitigation of critical source areas of diffuse pollution. *Science of the Total Environment*, 556, 276-290. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.183>
19. Jin, L., Higgins, S. J., Thompson, J. A., Strager, M. P., Collins, S. E., & Hubbard, J. A. (2024). SWAT Model Performance Using Spatially Distributed Saturated Hydraulic Conductivity (Ksat) and Varying-Resolution DEMs. *Water*, 16(5), 735. <https://doi.org/10.3390/w16050735>
20. Soares, M. F., Siqueira, T. M., Nunes, R. F., Pedrollo, O. C., Reichardt, K., Barros, W. S., & Timm, L. C. Artificial Neural Network Models to Examine the Relationship between Saturated Soil Hydraulic Conductivity and Co-Driven Factors at the Watershed Scale. Available at SSRN 4508940. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4508940>
21. Council of the European Union. (1991). Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal of the European*

- Communities, L 375, 1-8. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31991L0676>
22. Arauzo, M., Valladolid, M., & Andries, D. M. (2022). Would delineation of nitrate vulnerable zones be improved by introducing a new parameter representing the risk associated with soil permeability in the Land Use–Intrinsic Vulnerability Procedure?. *Science of the Total Environment*, 840, 156654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156654>
 23. Arauzo, M., & Martínez-Bastida, J. J. (2015). Environmental factors affecting diffuse nitrate pollution in the major aquifers of central Spain: groundwater vulnerability vs. groundwater pollution. *Environmental Earth Sciences*, 73, 8271-8286. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3989-8>
 24. Arauzo, M., Valladolid, M., & Martínez-Bastida, J. J. (2011). Spatio-temporal dynamics of nitrogen in river-alluvial aquifer systems affected by diffuse pollution from agricultural sources: Implications for the implementation of the Nitrates Directive. *Journal of Hydrology*, 411(1-2), 155-168. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.004>
 25. Orellana-Macías, J. M., Merchán, D., & Causapé, J. (2020). Evolution and assessment of a nitrate vulnerable zone over 20 years: Gallocanta groundwater body (Spain). *Hydrogeology Journal*, 28(6), 2207-2221. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02184-0>
 26. Richard, A., Casagrande, M., Jeuffroy, M. H., & David, C. (2018). An innovative method to assess suitability of Nitrate Directive measures for farm management. *Land Use Policy*, 72, 389-401. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.059>
 27. Worrall, F., Spencer, E., & Burt, T. P. (2009). The effectiveness of nitrate vulnerable zones for limiting surface water nitrate concentrations. *Journal of Hydrology*, 370(1-4), 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.036>
 28. Dniester Basin Water Resources Management Authority. (2022). River Basin Management Plan for the Dniester River (2025-2030). Retrieved from <https://vodaif.gov.ua>
 29. European Commission. (2022). Proposal for a Nature Restoration Law (CELEX:52022PC0304). European Commission. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022PC0304>
 30. Rykovska, O., Fray, O., & Mykhailenko, O. (2024). Analysis of the state of agriculture in Ukraine and the implementation of EU legislative acts related to agricultural and environmental issues (M. Belkin & A. Danylyak, Eds.). Kyiv: EcoAction. Retrieved from <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2024/03/analiz-stanu-sg-ua-ta-implement-es2024.pdf>
 31. Testov, P., Harbacheuk, K., Vasilyuk, O., Belkin, M. (Ed.), Romanov, O. (Ed.), Kuchenko, B. (Ed.), & Klepko, A. (Ed.). (2024). Overview of trends in environmental legislation violations by agricultural enterprises (15 pages). Kyiv: EcoAction NGO. Retrieved from <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2024/04/ohlyad-porush-sg-pidpryemstvamy2024.pdf>
 32. Shuhui Wang, Yunqi Wang, Yujie Wang, Zhen Wang. (2022). Assessment of influencing factors on non-point source pollution critical source areas in an agricultural watershed. *Ecological Indicators*. 141. 109084. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109084>
 33. Ferreira, V., Albariño, R., Larrañaga, A., LeRoy, C. J., Masese, F. O., & Moretti, M. S. (2023). Ecosystem services provided by small streams: an overview. *Hydrobiologia*, 850(12), 2501-2535. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05095-1>
 34. Huntington, T. G., Hooper, R. P., & Murdoch, P. S. (1996). Small watershed studies: Analytical approaches for understanding ecosystem response to environmental change. In *Proceedings of the Watershed '96 Conference—Moving Ahead Together, Technical Conference and Exposition* (pp. 783-786). Tetra Tech, Inc. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/publication/70205394>
 35. Barbagli, A., Jensen, B. N., Raza, M., Schüth, C., & Rossetto, R. (2019). Assessment of soil buffer capacity on nutrients and pharmaceuticals in nature-based solution applications. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(1), 759-774. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3515-8>
 36. Povar, I., & Spinu, O. (2015). Application of the buffer theory for evaluating attenuation and natural remediation of ionic pollutants in aquatic ecosystems. *Ecological Processes*, 4, 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13717-015-0043-z>
 37. Stigliani, W. M. (1988). Changes in valued “capacities” of soils and sediments as indicators of nonlinear and time-delayed environmental effects. *Environmental monitoring and assessment*, 10, 245-307. <https://doi.org/10.1007/BF00395083>
 38. Hansen, B., Reich, P., Lake, P. S., & Cavagnaro, T. (2010). Minimum width requirements for riparian zones to protect flowing waters and to conserve biodiversity: a review and recommendations. Monash University, Melbourne. Retrieved from https://www.ccmaknowledgebase.vic.gov.au/resources/RiparianBuffers_Report_Hansenetal2010.pdf
 39. Valera, C. A., Pissarra, T. C. T., Filho, M. V. M., Valle Júnior, R. F. D., Oliveira, C. F., Moura, J. P., ... & Pacheco, F. A. L. (2019). The buffer capacity of riparian vegetation to control water quality in anthropogenic catchments from a legally protected area: A critical view over the Brazilian new forest code. *Water*, 11(3), 549. <https://doi.org/10.3390/w11030549>
 40. Lee, S. W., Hwang, S. J., Lee, S. B., Hwang, H. S., & Sung, H. C. (2009). Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. *Landscape and urban planning*,

- 92(2), 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.02.008>
41. de Mello, K., Taniwaki, R. H., de Paula, F. R., Valente, R. A., Randhir, T. O., Macedo, D. R., ... & Hughes, R. M. (2020). Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 270, 110879. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>
 42. de Mello, K., Valente, R. A., Randhir, T. O., dos Santos, A. C. A., & Vettorazzi, C. A. (2018). Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. *Catena*, 167, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.027>
 43. Gupta, S., Hengl, T., Lehmann, P., Bonetti, S., & Or, D. (2020). SoilKsatDB: global soil saturated hydraulic conductivity measurements for geoscience applications. *Earth System Science Data Discussions*, 1-26. <https://doi.org/10.5194/essd-13-1593-2021>
 44. Selahvarzi, M., Naghedifar, S. M., Oliazadeh, A., & Loáiciga, H. A. (2024). Hierarchical Pseudo-Continuous Machine-Learning-Based Pedotransfer Models for Infiltration Curves: An *Investigation on the Role of Regularization and Ensemble Modeling*. Available at SSRN 4960426. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4960426>
 45. Laktionova, T. M., Medvedev, V. V., Savchenko, K. V., Bigun, O. M., Sheiko, S. M., & Nakisko, S. G. (2010). Structure and usage guidelines for the database "Soil Properties of Ukraine" (Instruction). Kharkiv: Apostrof,
 46. Fodor, N., Sándor, R., Orfanus, T., Lichner, L., & Rajkai, K. (2011). Evaluation method dependency of measured saturated hydraulic conductivity. *Geoderma*, 165(1), 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.07.004>
 47. Mac Mahon, J., Knappe, J., & Gill, L. (2022). Percolation Testing of Soils for On-site Wastewater Treatment. Environmental Protection Agency, Ireland. Retrieved from https://www.epa.ie/publications/research/water/Research_Report-428.pdf
 48. Leite, P. A., Di Prima, S., Schmidt, L. M., & Wilcox, B. P. (2024). A simple infiltrometer automated with a user-friendly pressure datalogger. *Vadose Zone Journal*, e20366. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20366>
 49. Meissner, R., Rupp, H., & Haselow, L. (2020). Use of lysimeters for monitoring soil water balance parameters and nutrient leaching. In *Climate change and soil interactions* (pp. 171-205). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00007-2>

The article was received by the editors 22.10.2024

The article is recommended for printing 25.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-05>

УДК (UDC): 504

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

доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: elena.gololobova@karazin.ua

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

Н. В. МАКСИМЕНКО¹, д-р геогр. наук, проф.,

професор кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: maksymenko@karazin.ua

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

В. Л. БЕЗСОННИЙ¹, канд. техн. наук, доц.,

доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти

e-mail: bezsonnyi@karazin.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

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

ОЦІНКА ЕКОЛОГО-МЕЛІОРАТИВНОГО СТАНУ ҐРУНТУ ТА ПОТЕНЦІЙНИХ РИЗИКІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РІЗНИХ ВИДІВ ПОЛИВУ ДЕКОРАТИВНИХ РОСЛИН

Мета. Оцінка еколого-меліоративного стану ґрунту й ймовірних ризиків при застосуванні різних видів зрошення: традиційного дощування та підґрунтового крапельного зрошення.

Методи. Польові, лабораторні аналітичні, методика Хакансона

Результати. Проаналізовано діагностичні ґрунтові показники, що характеризують ґрунтово-деградаційні процеси та ступінь їх розвитку на дослідних ділянках газону і туї, з застосуванням дощування та підґрунтового крапельного зрошення. Щодо стану ґрунту визначено: обидва типи зрошення (крапельне і дощове) позитивно впливають на щільність ґрунту; органічна речовина в ґрунті швидше розкладається, ніж утворюється; найшвидша деградація органіки спостерігається під газоном з крапельним зрошенням, що свідчить про нестачу доступного для рослин азоту; азот є основним лімітуючим фактором для росту рослин при обох видах зрошення. Також визначено що необхідно регулярно вносити азотні добрива під газон, особливо на початку вегетації; під туї достатньо невеликих доз азотних добрив навесні; для усунення дефіциту міді і цинку потрібні комплексні мікродобрива пролонгованої дії. Також необхідно контролювати якість води для зрошення, щоб уникнути забруднення ґрунту. Рівень забруднення ґрунту важкими металами низький.

Висновки. Обидва типи зрошення мають як позитивні, так і негативні сторони. Для отримання оптимальних результатів необхідно регулярно проводити аналіз ґрунту та вносити необхідні добрива. Особливу увагу слід приділяти якості води для зрошення. Існує невеликий ризик збільшення екологічного ризику з часом.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: підґрунтове крапельне зрошення, дощування, індекс екологічного ризику, діагностичний показник, ґрунт, мікроелементний статус, мікробіологічний показник

Як цитувати: Гололобова О. О., Максименко Н. В., Безсонний В. Л. Оцінка еколого-меліоративного стану ґрунту та потенційних ризиків при застосуванні різних видів поливу декоративних рослин. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 70-82. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-05>

In cites: Gololobova, O. O., Maksymenko, N. V., & Bezsonnyi, V. L. (2024). Assessment of the ecological and ameliorative condition of the soil and potential risks when using different types of irrigation of decorative plants. *Man and Environment. Issues of Neoeecology*, (42), 70-82. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-05> (in Ukrainian)

Вступ

Важливим складником сталого землекористування є реалізація системи заходів, що підвищують родючість ґрунтів. Системне управління потенціалом родючості ґрунтових ресурсів України спрямовано на

вирішення кількох ключових завдань, зокрема, збереження і примноження продуктивних, екологічних і соціальних функцій ґрунтів на необмежено тривалу перспективу і спрямовання сучасного процесу ґрунтоутво-

© Гололобова О. О., Максименко Н. В., Безсонний В. Л., 2024



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

рення за традиційним вектором розвитку [1]. Системний підхід ставить високі вимоги щодо енергоефективності, екологічної безпеки та економічної обґрунтованості технологій вирощування культур [2].

Сучасний стан ґрунтового покриву країни викликає серйозну стурбованість унаслідок широкого поширення деградаційних процесів. Найбільш характерними й поширеними типами деградації ґрунтів в Україні є дегуміфікація, зменшення вмісту рухомих поживних елементів (43 % загальної площі), переущільнення, знеструктурення (39 %), заплывання й кіркоутворення (38 %), водна ерозія (17 %), підтоплення, заболочування (14 %), забруднення радіонуклідами (11 %), вітрова ерозія (11 %), забруднення важкими металами, пестицидами та іншими токсикантами (8–10 %) тощо [3, 4, 5].

Отже, однією з найважливіших умов збереження біосфери є здійснення системи заходів, що забезпечують раціональне використання й відтворення родючості ґрунтів. Науковим колективом авторів ННЦ «Інститут Ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» розроблена Програма використання та охорони земель, метою якої є

реалізація державної політики України щодо забезпечення сталого розвитку землекористування, створення екологічно-безпечних умов проживання населення й впровадження господарської діяльності, охорона земель від виснаження, деградації та забруднення, відтворення та підвищення родючості ґрунтів, збереження функцій ґрунтового покриву, ландшафтного та біологічного різноманіття з урахуванням змін клімату. У Програмі передбачено вжити комплекс заходів з оптимізації структури земельних угідь, з протиерозійної організації агроландшафтів, екологічно безпечного застосування добрив, біопрепаратів і меліорантів, відтворення родючості і охорони ґрунтів на зрошувальних і осушених землях, вдосконаленню інформаційного та нормативно-методичного забезпечення з використанням сучасних досягнень у ГІС-технологіях та в методах використання дистанційних зондувань [6]. Методологічною основою реалізації сталого землекористування, зупинення деградації ґрунтового покриву повинен стати екологічний підхід, спрямований на мінімізацію ризику деградації агроландшафтів та їх основної складової – ґрунтів [7].

Методика, об'єкти та методи дослідження

Дослідження діагностичних показників ґрунту при застосуванні різних видів поливу проводилось на дослідних ділянках під насадженнями туї західної 'Brabant' (*Thuja occidentalis* 'Brabant'), під штучним та природним газоном, які розташовані у межах науково-експериментальної функціональної зони Дендрологічного парку Державного біотехнологічного університету.

За агроґрунтовим районуванням ґрунти дендропарку Державного біотехнологічного університету відносяться до Харківсько-Чугуївського агроґрунтового району (ґрунтово-екологічна провінція 8.6.б"), яка характеризується рівнинним рельєфом з мінімальною кількістю ксероморфно-еродованих ґрунтів. У ґрунтовому покриві поширені переважно чорноземи типові важко-суглинкового гранулометричного складу, запас гумусу складає 500–550 т/га. ГТК V–VII складає 1,00–1,10, ГТК VIII–IX – 0,81–0,90, опади XI–III – 170–180 мм [5, 11, 12]. Вологість ґрунту визначали та утримували на рівні 80 % від ГПВ за допомогою тензіометру українського виробництва Aquatec модель TS,

які забезпечують точність та достовірність показників вологості ґрунту, а також управління режимом поливу.

Результати дослідження за попередні роки, які охоплюють період 2019–2021 рр., висвітлені в публікаціях, у яких авторами представлені технологічні переваги підґрунтового крапельного зрошення (ПКЗ) під декоративні деревні насадження та декоративний злаковий газон, проаналізовані діагностичні ґрунтові показники, які змінюються під впливом обраного режиму зрошення, проведена бальна оцінка еколого-меліоративного стану ґрунту дослідних ділянок в умовах підґрунтового крапельного зрошення [8, 9, 10]. Представлено результати наукових досліджень етапу 2023 року «Моніторинг екологічних функцій ґрунтів сельбищних ландшафтів в умовах різних режимів зрошення» в межах виконання ПНД НААН 01 «Раціональне використання і стале управління ґрунтовими ресурсами, збереження родючості та здоров'я ґрунтів, захист їх від деградації».

Мета – оцінка еколого-меліоративного стану ґрунту дослідних ділянок та

потенційних ризиків при застосуванні різних видів зрошення: традиційного дощування та підґрунтового крапельного зрошення.

Методологічна складова дослідження полягала у визначенні ґрунтових діагностичних показників, яке проводили відповідно загальноприйнятих методик [13, 14, 15, 16, 17], мікробіологічні показники визначались згідно ДСТУ ISO 10381–6:2015 [18,19].

Визначення ґрунтових показників проводилось у лабораторії інструментальних методів досліджень ґрунтів Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», оцінка – згідно рекомендаціям щодо обстеження еколого-меліоративного стану земель в умовах краплинного зрошення [20].

Показник індексу екологічного ризику розраховано за методикою Хакансона [21].

Результати дослідження та обговорення

Оцінка щільності ґрунту при використанні дощування та підґрунтового краплинного зрошення. Щільність ґрунту є одним із визначальних показників агрофізичних властивостей ґрунту і вважається оптимальною за значення у межах 1,00–1,30 г/см³. Визначення щільності ґрунту по варіантах досліді проводилося згідно рекомендаціям [20] перед початком поливного періоду, результати представлені у таблиці 1. Результати показників рівноважної щільності

ґрунту вказують на їхнє оптимальне значення по варіантах досліді з використанням підґрунтового крапельного зрошення (ПКЗ), дощування, та для контрольного варіанту, де жодного виду зрошення ніколи не застосовувалось. Щільність ґрунту (табл.1) при застосуванні ПКЗ газону і туї становить 1,11, 1,12 г/см³ відповідно, при дощуванні – 1,19 г/см³. Бальна оцінка цього важливого діагностичного показника максимально сприятлива.

Таблиця 1

Щільність ґрунту по варіантах досліді, г/см³

Table 1

Soil density by experimental variants, g/cm³

Варіант	Щільність ґрунту г/см ³	Середнє	Бали [20]
ПКЗ газону	1,16	1,16	0
	1,12		
	1,14		
	1,20		
ПКЗ туї	1,11	1,12	0
	1,11		
	1,12		
	1,16		
Дощування	1,18	1,19	0
	1,22		
	1,17		
	1,17		
Контроль (природний газон без зрошення)	1,23	1,21	0
	1,19		
	1,21		
	1,20		

Оцінка екологічного стану ґрунту за мікробіологічними показниками. Ґрунтові мікроорганізми забезпечують стійке функціонування біогеохімічних циклів у ґрунті. Мікроорганізмам належить провідна роль у

трансформації та геохімічній міграції переважної кількості хімічних елементів, оскільки понад 70 елементів періодичної системи зазнають мікробіологічного впливу [7]. Мікроорганізми можуть позитивно впли-

вати на розкладання органічних речовин і рослинних залишків, підвищувати для рослин доступність фосфору, марганцю, цинку, міді, біологічну азотфіксацію, посилювати зростання рослин за рахунок продукування гормонів росту, захисту від корневих патогенів, підвищення використання поживних речовин, сприяти біодеградації пестицидів і забруднювачів. В той же час мікробіологічна спільнота постійно адаптується до умов навколишнього середовища і тому є чутливим показником якості ґрунту [22]. Видовий склад мікробного ценозу разом з фізичними,

фізико-хімічними і агрохімічними діагностичними показниками – важливий показник якості ґрунту. Під впливом зрошення змінюється видовий склад, чисельність та функціональна активність ґрунтової мікрофлори. За оптимальних умов функціонування мікробіоценозу ці зміни мають адаптивний характер і сприяють збереженню стійкості агроландшафтів [7].

Результати дослідження зразків ґрунту за мікробіологічними показниками, які відібрані на початку вегетації 2023 р., представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Діагностичні мікробіологічні показники ґрунту за різних режимів зрошення

Table 2

Diagnostic microbiological indicators of soil under different irrigation regimes

Варіанти	Мікроорганізми, що засвоюють азот, млн. КУО /г с. г.			Актино- міцети, млн. КУО/г с. г.	Гриби, тис. КУО/г с. г.	Оліготрофи, млн. КУО/г с. г.	Евтрофи, млн. КУО/г с. г.
	органі- чний	мінеральний					
		всього	бактерії				
ПКЗ туя	7,70	9,71	6,87	2,84	34,75	38,50	17,76
ПКЗ газон	10,26	18,65	10,62	8,03	26,43	27,18	29,17
Дощування	10,63	13,88	8,99	4,89	31,16	15,77	24,82
Контроль (при- родний газон без поливу)	13,75	24,55	14,73	9,82	73,55	38,37	39,03

Результати вказують, що кількість мікроорганізмів, які засвоюють органічні форми азоту для шару ґрунту 0–25 см, під впливом підґрунтового крапельного зрошення зменшилася з 13,75 до 10,26 млн КУО/г на газоні та до 7,70 млн КУО/г в ґрунті під туями. При застосуванні дощування кількість цієї групи мікроорганізмів теж зменшилася і складала 10,63 КУО/г. Згідно оцінки [23] ступень збагачення ґрунтів мікроорганізмами без зрошення дуже висока, при зрошенні – висока та дуже висока.

Кількість мікроорганізмів, які культивуються на КАА, виявилась вище на контролі: 24,55 млн КУО/г проти 18,62 млн КУО/г (ПКЗ газон), 13,88 КУО/г (дощування), 9,71 КУО/г (ПКЗ туї). Варіант без зрошення має дуже високий рівень збагачення ґрунту за кількістю мікроорганізмів, що асимілюють азот мінеральних сполук, варіанти з дощуванням, з ПКЗ газону, з ПКЗ туї – середньо-збагачений.

Спрямованість процесів мінералізації – синтезу органічної речовини є ключовим критерієм в оцінці заходів, орієнтованих на відтворення родючості ґрунтів, а також агроприйомів, застосування яких може призвести до деградації ґрунтової родючості. Оцінка спрямованості мікробіологічних процесів у ґрунті дозволяє зробити більш глибокий аналіз змін у структурі ґрунтово-біотичного комплексу, які відбуваються внаслідок антропогенного навантаження. Спрямованість мікробіологічних процесів визначають за допомогою коефіцієнту мінералізації та іммобілізації, який дає можливість охарактеризувати напруженість мінералізаційних процесів, індексу педотрофності, що характеризує ступінь освоєння органічної речовини ґрунту мікрофлорою, індексу оліготрофності, що характеризує ступінь оліготрофності мікробних ценозів ґрунту [24, 25]. Результати розрахунку діагностичних показників направленості мікробіологічних процесів представлені в табл. 3.

Таблиця 3.

Інтенсивність і спрямованість мікробіологічних процесів за комплексом розрахункових показників

Table 3

Intensity and direction of microbiological processes by a set of calculated indicators

Варіант	Оліготрофності	Мінералізації	МТОРГ*	СБП**, %
ПКЗ туя	2,17	1,26	13,80	60,36
ПКЗ газон	0,93	1,82	15,90	54,93
Дощування	0,64	1,31	18,76	47,56
Контроль (природний газон без поливу)	0,98	1,79	21,45	100,00

МТОРГ – Показник мікробної трансформації органічної речовини ґрунту.

СБП** – сумарний біологічний показник.

Оптимальне значення коефіцієнту мінералізації та іммобілізації вважається близьким до одиниці. У контрольному варіанті та на варіанті з підґрунтовим краплинним зрошенням визначено, що процеси синтезу органічної речовини поступаються процесам її деструкції, зокрема на контролі зазначений показник складає 1,79, на варіантах з підґрунтовим краплинним зрошенням туї – 1,26, газону 1,82, з використанням дощування 1,31. Найбільш повільніші процеси деструкції на варіантах з ПКЗ туї та дощуванням, що свідчить про більшу спрямованість мікробіологічних процесів у бік збереження запасів органічної речовини на вищезазначених варіантах. Найбільш інтенсивної трансформації органічної речовини зазнає ґрунт під газоном з ПКЗ, що вказує на дефіцит в ґрунті доступних для рослин форм азоту.

За результатами розрахунку індекс оліготрофності для контрольного варіанту складає 0,98, при підґрунтового краплинного зрошенні газону – 0,93, туї – 2,17, дощуванні – 0,64. Тобто, показник оліготрофності має значення менші за одиницю для варіантів з дощуванням, ПКЗ газону, контролю, що свідчить про достатню забезпеченість ґрунту доступними поживними речовинами на цих варіантах. При використанні ПКЗ оліготрофність ризосферного ґрунту збільшується більше ніж у два рази в порівнянні з контролем.

Коефіцієнт МТОРГ – показник мікробної трансформації органічної речовини ґрунту, значення якого на контролі максимальне, вказує, що найбільш повільніше процес деструкції відбувається на контролі. Найвище значення СБП – сумарний біологічний показник – визначено для конт-

рольного варіанту. Найбільш пригніченим відносно контролю (на 52,44 %) виявився мікробний ценоз ґрунту на варіанті з дощуванням (табл. 3).

Оцінка статусу поживного режиму ґрунту при використанні дощування та підґрунтового краплинного зрошення. Результати дослідження ґрунтових показників, які характеризують поживний режим ґрунту представлені в таблиці 4. Вміст мінерального азоту згідно угрупованню ґрунтів за цим показником [23] середній як на варіантах з ПКЗ газону та туї, так і на природному газоні (контролі) – 17,87 мг/кг, 17,68 мг/кг та 17,19 мг/кг відповідно. На варіанті з використанням дощування цей показник найгірший, він складає 11,96 мг/кг і згідно угрупованню рівень забезпеченості низький.

Стан фосфатного режиму добрий для газону, що зрошується підґрунтового, за угрупованням він відноситься до підвищеного, наближується до високого і складає 147,99 мг/кг ґрунту. На варіанті з підґрунтового зрошенням туї ступень забезпеченості рухомими формами фосфору дуже висока – 236,73 мг/кг, при використанні дощування рівень рухомого фосфору – високий, він складає 182,06 мг/кг ґрунту. Результати свідчать що досліджуваний ґрунт на контрольному варіанті має підвищений вміст доступного фосфору, його вміст складає 132,25 мг/кг ґрунту (табл. 4).

Рівень забезпеченості рухомими формами калію на контролі – підвищений (111,46 мг/кг), на варіантах з ПКЗ – дуже високий: 180,75 мг/кг на зрошуваному газоні, 316,31 мг/кг при ПКЗ під туї, на варіанті з дощуванням – високий (120,5 мг/кг) (табл. 4).

Таблиця 4

Бальна оцінка діагностичних показників поживного режиму ґрунту при застосуванні різних режимів зрошення, мг/кг ґрунту, шар ґрунту 0–25 см [20]

Table 4

Scoring of diagnostic indicators of the soil nutrient regime under different irrigation regimes, mg/kg of soil, soil layer 0-25 cm [20]

Варіант	Вміст P ₂ O ₅	Бал	Вміст K ₂ O	Бал	Вміст мінерального азоту	Бал
Газон ПКЗ	147,99	0	180,75	0	17,87	2
Туї ПКЗ	236,73	0	316,31	0	17,68	2
Дощування	182,06		120,5		11,96	5
Контроль (природний газон без поливу)	132,25	2	111,46	2	17,19	2

Оцінка мікроелементного статусу ґрунту по варіантах дослідю. Мікроелементи як кофактори ферментів відіграють важливу роль, тому вміст мікроелементів у ґрунтах повинен бути таким, щоб підтримувати нормальне функціонування екосистеми. Надлишковий вміст в ґрунті сполук фосфору пригнічує поглинання рослинами міді та

цинку, високий вміст сполук калію перешкоджає надходженню бору та марганцю, тому велике значення для забезпечення повноцінного мікроелементного живлення рослин має збалансоване макроелементне живлення [22]. Вміст рухомих форм мікроелементів по варіантах дослідю представлений в таблиці 5.

Таблиця 5

Мікроелементний статус ґрунту по варіантах дослідю

Table 5

Micronutrient status of soil by experimental variants

Варіант	Co	Cu	Fe	Mn	Zn
ПКЗ газону	0,53	0,19	1,30	7,05	0,87
ПКЗ туї	0,32	0,14	2,39	8,42	0,92
Дощування	0,06	0,22	1,47	6,69	0,46
Контроль (природний газон без поливу)	0,13	0,24	1,41	6,18	0,63

Оцінку забезпеченості ґрунту рухомими формами Mn, Cu, Co, Zn проводили за допомогою градації забезпеченості ґрунтів рухомими формами мікроелементів, екстрагованих ацетатно-амонійним буферним розчином (pH 4,8) [23]. Ґрунт контрольного варіанту за ступенем забезпеченості мікроелементами характеризується як:

- дуже високий – за Zn;
- середній – за Co;
- низький – за Mn;
- за Cu – дуже низький.

Результати вказують, що ґрунт на варіантах з підґрунтовым крапельним зрошенням газону і туї за ступенем забезпеченості

мікроелементами характеризується як:

- за Mn – середній;
- за Cu – дуже низький;
- за Co, Zn – дуже високий.

При використанні дощування результати такі:

- за Mn – низький;
- за Co, Cu – дуже низький;
- за Zn – високий.

Розподіл рухомого кобальту має нерівномірний характер, він коливається в межах 0,06–0,53 мг/кг. Вміст кобальту понад 0,15 мг/кг ґрунту є достатнім для нормального розвитку рослин [22]. Вміст міді більш рівномірний, він коливається у межах 0,14–

0,24, при цьому оптимальним вмістом забезпеченості рухомою формою цього елементу вважається 0,5 мг/кг і вище (до 3 мг/кг ґрунту). Оптимальним вмістом рухомих форм марганцю вважається діапазон концентрацій 10,0–100,0 мг/кг ґрунту для $pH > 6$. Невисокий вміст Zn (< 1 мг/кг) є доволі для [22]. Результати визначення рухомих форм цинку відображають цю зональну особливість, його вміст теж нижче оптимального, який знаходиться в межах 1,0–23,0 мг/кг ґрунту.

Залізо у живленні рослин не завжди розглядають як мікроелемент, але за абсолютним значенням вмісту цього елементу, який визначають екстрагуванням амонійно-ацетатним буферним розчином, його доречно відносити саме до мікроелементів [22]. Вміст рухомих форм заліза по варіантах досліджування знаходиться в межах 1,30–2,39, що є притаманним для ґрунтів Лісостепу, де він перебуває в межах від 1,00 до 3,00 мг/кг. Ефективними агроприйомами оптимізації мікроелементного статусу ґрунту є застосування комплексних мікродобрив пролонгованої дії, особливістю яких є поступове вивільнення есенціальних мікроелементів в ґрунтовий розчин, а також використання мікродобрив у хелатній формі з підвищеним

засвоєнням мікроелементів рослинами [6].

Значення діагностичних показників катіонно-аніонного складу водної витяжки ґрунту при застосуванні різних видів зрошення. Стан діагностичних показників катіонно-аніонного складу водної витяжки ґрунту при застосуванні різних варіантів зрошення та їх бальна оцінка представлені у таблиці 6.

Ступень засолення ґрунту за відношенням Ca/Na має значення більше за 2,5 як для зрошувальних варіантів, так й для природного газону без зрошення. Стан ґрунту за цим показником оцінюється як добрий. При цьому цей діагностичний показник демонструє високі значення на контрольному варіанті, на варіантах зрошення існує загроза засолення ґрунту, зокрема, відношенням Ca/Na знижується до 4,40 при застосуванні дощування до 3,60 при підґрунтового краплинному зрошенні газону.

Вторинну солонцюватість ґрунтів оцінювали за відсотковим вмістом $Na^{+}+K^{+}$ від суми поглинутих лужних катіонів. За цим показником стан незадовільний для усіх варіантів зі зрошенням, для контрольної ділянки відсотковий вміст $Na^{+}+K^{+}$ складає 4 % і відповідає задовільному стану.

Таблиця 6.

Стан діагностичних показників катіонно-аніонного складу водної витяжки ґрунту при застосуванні різних варіантів зрошення

Table 6.

The state of diagnostic indicators of cationic and anionic composition of soil water extract when applied under different irrigation options

Варіант	<u>pH водне</u> Бал	<u>Ca/Na</u> Бал	<u>Na⁺+K⁺</u> % від суми поглинутих катіонів Бал
Газон ПКЗ	<u>7,87</u> 2	<u>3,60</u> 0	<u>20,90</u> 10
Газон туї	<u>8,01</u> 2	<u>8,00</u> 0	<u>18,46</u> 10
Дощування	<u>8,05</u> 2	<u>4,80</u> 0	<u>14,63</u> 10
Контроль (природний газон без поливу)	<u>7,78</u> 0	<u>17,00</u> 0	<u>4,00</u> 5

Таким чином, стан діагностичних показників катіонно-аніонного складу водної витяжки ґрунту при застосуванні різних варіантів зрошення потребує контролю якості зрошувальних вод для зрошення за агрономічними і екологічними критеріями [26, 27].

Вміст важких металів по варіантах досліджу. Важкі метали змінюють цілу низку показників ґрунту, зокрема знижують pH, підвищують рухомість органічної речовини, кальцію магнію зменшують вміст рухомих форм фосфору, калію, цинку і міді. В ґрунтах, забруднених важкими металами, у 2,0–

2,7 рази зменшується вміст рухомого фосфору, у 1,4 рази рухомого калію, у 3,1 рази – рухомого цинку, до 3,6 разів – рухомої міді. До ґрунтів, техногенно забруднених важкими металами, відносять ґрунти, які за сумарним показником забруднення ґрунту важкими металами Z_c відповідають небезпечній та надзвичайно небезпечній категоріям. Сумарний показник забруднення ґрунту важкими металами Z_c – сума коефіцієнтів

перевищення концентрацій металів у ґрунті над їх фоновим вмістом – для небезпечній категорії ґрунтів знаходиться в межах понад 32–128 включно, для надзвичайно небезпечної категорії – понад 128 [22].

Значення коефіцієнтів концентрацій важких металів та сумарний показник забруднення Z_c по варіантах дослідів у шарі ґрунту 0–30 см представлені у таблиці 7.

Таблиця 7

Еколого-токсикологічний стан ґрунту по варіантах дослідів

Table 7

Ecological and toxicological state of the soil according to the experimental variants

Варіант	Коефіцієнти концентрацій важких металів									Z_c	Бали
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn		
ПКЗ газону	2,2	2,6	1,7	0,5	0,4	0,5	0,2	3,4	2,3	8,3	0
ПКЗ туї	1,5	1,6	2,0	0,4	0,7	0,6	0,6	1,6	2,4	5,2	0
Дощування	1,2	0,3	1,8	0,6	0,5	0,4	0,3	1,5	1,2	2,6	0
Контроль	1,4	0,7	1,6	0,7	0,4	0,4	0,4	1,2	1,7	2,8	0

Сумарний показник забруднення Z_c по всіх варіантах значно нижче значення 16, що свідчить про відсутність забруднення ґрунту важкими металами.

Індекс ризику екологічного забруднення (RI) визначається як сума потенційного ризику від кожного металу в ґрунті, з врахуванням його концентрації і токсичності. Для кожного металу розраховується його потенційний ризик E_i , який, у свою чергу, залежить від токсичності та концентрації металу в ґрунті, а також від його фонових значень, потім розраховується сумарний індекс ризику. Потенційний ризик розраховується як добуток коефіцієнта концентрації

відповідного важкого металу на його коефіцієнт токсичності, а сумарний ризик визначається як сума цих добутоків.

Для виявлення тенденції зміни величини індексу ризику екологічного забруднення порівняно з 2020 роком, на основі отриманих результатів коефіцієнтів концентрації важких металів 2020 та 2023 р. (табл. 7) розраховано коефіцієнти потенційного ризику для кожного елементу (таблиця 8). Для цього використовувались значення коефіцієнтів токсичності відповідно до Хакансона [19] ($Cd = 30$, $Co = 5$, $Cr = 2$, $Cu = 5$, $Fe = 1$, $Mn = 1$, $Ni = 5$, $Pb = 5$, $Zn = 1$).

Таблиця 8

Розрахунок індексу ризику екологічного забруднення важкими металами

Table 8

Calculation of the risk index of environmental pollution by heavy metals

Рік	Варіант	Cu	Fe	Mn	Ni	Co	Pb	Cr	Zn	Cd	Ризик (RI)
2020	ПКЗ туї	0,45	2,07	13,95	0,7	0,1	3,05	1,32	0,68	3,6	25,92
2020	ПКЗ газону	1,2	2,86	8,92	0,7	0,55	11,45	0,98	0,7	2,4	29,76
2020	Контроль	1,3	0,86	5,8	6,5	0,65	13,05	0,8	0,17	1,8	30,93
2023	ПКЗ туї	2	0,7	0,6	3	8	8	4	2,4	45	73,7
2023	ПКЗ газону	2,5	0,4	0,5	1	13	17	3,4	2,3	66	106,1
2023	Контроль	3,5	0,4	0,4	2	3,5	6	3,2	1,7	42	62,7
2023	Дощування	6	0,3	1,8	3	2,5	2	0,6	1,5	36	53,7

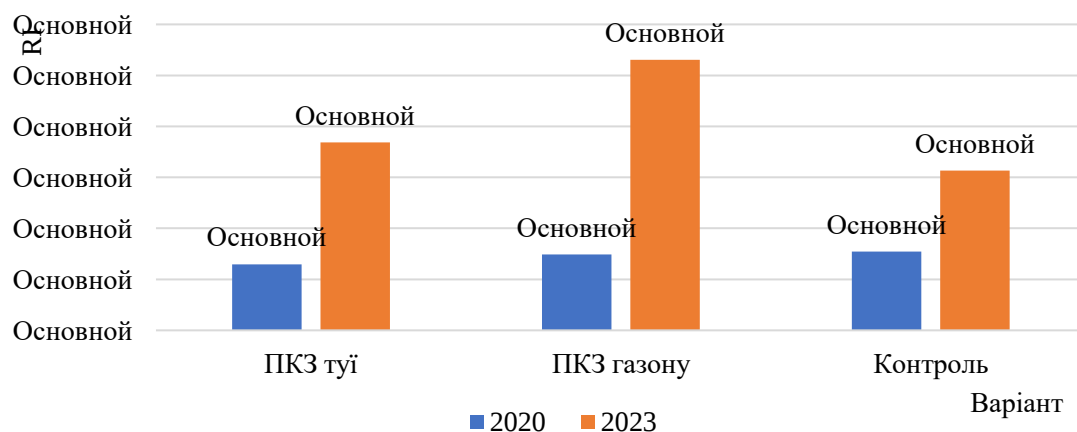


Рис. – Динаміка показника індексу ризику екологічного забруднення
Fig. – Dynamics of the environmental pollution risk index

Результати свідчать, що сумарний показник екологічного ризику для всіх варіантів дослідження є нижчим за граничне значення 150 [19], яке відповідає низькому рівню екологічного ризику, але спостерігається певна динаміка за роками спостережень (рис.).

Визначено, що у 2020 році індекс ризику (RI) для варіанта з підґрунтовим краплинним зрошенням туї становив 25,92, що свідчить про низький рівень екологічного ризику, у 2023 році RI зріс до 73,7, що відображає помітне зростання ризику і може бути пов'язано з накопиченням важких металів у ґрунті через використання цього виду зрошення протягом тривалого періоду. У 2020 році індекс ризику ПКЗ газону становив 29,76, що також вказує на низький рівень ризику, подібний до результатів для туї, проте у 2023 році RI для газону значно зріс до 106,1, що є суттєвим підвищенням і може свідчити про накопичення важких металів у ґрунті під впливом специфіки зрошення. У 2020 році індекс ризику для контрольного варіанта становив 30,93, що є дещо

вищим значенням, ніж у варіантах з ПКЗ, але все ще в межах низького ризику, у 2023 році RI також зріс до 62,7, що вказує на певне накопичення важких металів, хоча цей рівень залишається прийнятним і значно нижчим, ніж у варіанті з ПКЗ для газону. Для варіанта з дощуванням у 2023 році індекс ризику становив 53,7. Це значення є помірним і нижчим за показники для контрольного варіанта та варіантів з ПКЗ у 2023 році, і може свідчити про менший вплив на накопичення важких металів порівняно з підґрунтовим краплинним зрошенням.

У варіантах з ПКЗ (як для туї, так і для газону) відбулось значне зростання індексу ризику RI з 2020 до 2023 року, що вказує на можливе накопичення забруднювачів у ґрунті внаслідок тривалого застосування цього типу зрошення. Контрольний варіант та варіант з дощуванням у 2023 році демонструють відносно нижчий рівень екологічного ризику, що може бути обумовлено відсутністю інтенсивного зрошення на цих варіантах.

Висновки

Встановлено, що показники рівноважної щільності ґрунту стабільно сприятливі як при використанні підґрунтового крапельного зрошення, так і при дощуванні. Оцінка екологічного стану ґрунту за мікробіологічними показниками показала, що на варіантах з підґрунтовим краплинним зрошенням та дощуванням процеси синтезу органічної речовини поступаються процесам її деструкції. Найбільш повільніші процеси деструкції на варіантах з ПКЗ туї та з дощуванням. Найбільш інтенсивної трансформації органічної речовини зазнає ґрунт під газоном з ПКЗ, що вказує на дефіцит в ґрунті доступних для рослин форм азоту.

Оцінка статусу поживного режиму ґрунту при використанні дощування та підґрунтового краплинного зрошення вказує, що азот при застосуванні цих агроприйомів є елементом першого мінімуму, саме нестача мінерального азоту порушує найважливіші функції і розвиток рослин. Необхідним є внесення азотних добрив під газон на протязі всього періоду вегетації з проведенням сезонної корекції доз внесення від більш високих в першій половині вегетації до більш низьких у другій. Під туї необхідно внесення невеликих доз азотних добрив в весняний період активного росту рослин.

Визначення мікроелементного статусу ґрунту вказує, що вміст мікроелементів знаходиться в діапазоні значень, характерних для ґрунтів Лісостепової зони, яким притаманний дефіцит цинку та міді, для ліквідації якого необхідно застосування комплексних мікродобрив пролонгованої дії, а також використання мікродобрив у хелатній формі з підвищеним засвоєнням мікроелементів рослинами.

Стан діагностичних показників катіонно-аніонного складу водної витяжки ґрунту при застосуванні різних варіантів зрошення

потребує контролю якості вод для зрошення за агрономічними і екологічними критеріями.

Сумарний показник забруднення Z_c по всіх варіантах знаходиться в межах 2,6–8,8 (<16), що свідчить про відсутність забруднення ґрунту важкими металами.

Сумарний показник екологічного ризику для варіантів зі зрошенням є нижчим за граничне значення (<150), що відповідає низькому рівню екологічного ризику, але спостерігається певна динаміка його підвищення за роками спостережень.

Конфлікт інтересів

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

Відповідність проєкту

Дослідження виконане в межах реалізації ПНД НААН І «Рациональне використання і сталє управління ґрунтовими ресурсами, збереження родючості та здоров'я ґрунтів, захист їх від деградації» («Ґрунтові ресурси України: інформаційне забезпечення, рациональне використання, менеджмент, технології»). Завдання: 01.01.03.02.Ф «Розробити наукові основи управління родючістю гідродефіцитних ґрунтів в умовах змін клімату та земельних відносин» з темою на 2021–2025 р.р. «Діагностичні показники родючості зрошуваних ґрунтів зеленої інфраструктури сільбищних ландшафтів для сталого управління в умовах змін клімату» етапом «Моніторинг екологічних функцій ґрунтів сільбищних ландшафтів в умовах різних режимів зрошення»

Список використаної літератури

1. Моделі системного управління потенціалом родючості ґрунтів (на прикладі Харківської і Волинської областей) / за наук. ред. С. А. Балюка, Р. С. Трускавецького. Харків : «Стильна типографія», 2018. 116 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/326689403_Modeli_sistemnogo_upravlinna_potencialom_rodocosti_gruntiv_na_prikhadi_Harkivskoi_i_Volinskoi_oblastej#fullTextFileContent
2. Балюк С. А., Медведєв В. В., Захарова М. А. Стан ґрунтів України та шляхи підвищення їх родючості в умовах оптимізації земельних ресурсів України. Землеробство : міжвідомч. темат. наук. зб. Вип.85, 2013. С. 14–24. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2013_85_4
3. Балюк С. А., Кучер А. В., Анісімова О. В. Ґрунтові ресурси України: стан, проблеми й пріоритетні напрями їх вирішення. Рациональне використання ґрунтових ресурсів і відтворення родючості ґрунтів : організаційно-економічні, екологічні й нормативно-правові аспекти : колективна монографія / за ред. Акад. НААН С. А. Балюка, чл.-кор. АЕНУ А.В. Кучера. Х. : Смуґаста типографія, 2015, 432 с.
4. Балюк С. А., Кучер А. В., Максименко Н. В. Ґрунтові ресурси України: стан, проблеми й стратегія сталого управління. *Український географічний журнал*, 2021. № 2. С. 3–11. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.003>
5. Максименко Н. В., Балюк С. А., Кучер А. В., Пересадько В. А. Регіональні відмінності ґрунтів України для оцінки вартості екосистемних послуг. *Український географічний журнал*, 2022. № 2. С. 19–31. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.02.019>
6. Програма використання та охорони земель (ґрунтово-агрохімічні аспекти): за наук. ред. С. А. Балюка, М. М. Мирошніченка, Р. С. Трускавецького. Київ: Аграрна наука, 2023. 96 с. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-594-8>
7. Балюк С. А., Ладних В. Я., Воротинцева Л. І., Недошук О.А., Верніченко Г.А. Оцінка стійкості агроландшафтів і ґрунтів до впливу зрошення. Харків, 2013. 48 с. <https://issar.com.ua/shop/tovar-41/>
8. Гололобова О. О., Шовкун О. О. Оцінка еколого-меліоративного стану ґрунту за агрофізичними показниками при використанні підґрунтового краплинного зрошення Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (21–22 травня 2020 р., м. Київ) / Укладач Д. Е. Бенатов. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2020. С.40–42. URL: <https://ecoconference.kpi.ua/issue/view/13788/7485>
9. Шовкун О., Гололобова О. Оцінка діагностичних агрофізичних показників ґрунту при підґрунтовому краплинному зрошенні декоративних хвойних культур. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: матеріали IX Міжнародної наукової конференції молодих*

- вчених, м. Харків, 25–26 листопада 2021 р., ХНУ імені В. Н. Каразіна. С.67–68. URL: https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2021/12/stud_konf_2021.pdf
10. Maksymenko N, Gololobova O, Shovkun O. Subsurface Drip Irrigation as a Factor Ensuring Productive and Ecological Functions of Soils. V International Scientific Congress «Society of Ambient Intelligence – 2022» (ISCSAI 2022). Sustainable Development and Global Climate Change Kryvyi Rih, Ukraine. 2022, P. 126–134. <https://dx.doi.org/10.5220/0011345200003350>
 11. Ґрунтові ресурси Харківської області: стан, резерви продуктивної здатності: аналітична записка / укладачі: С. А. Балюк, Р. С. Трускавецький, М. М. Мірошніченко, В. Б. Соловей, А. В. Кучер, Г. Ф. Момот, Р. В. Акімова. Харків : «Стиль-Іздат», 2018. 52 с.
 12. Гололобов, В. В., Коваль, І. М., & Гололобова, О. О. (2023). Ревіталізація регулярних ландшафтів експозиційної зони дендропарку Державного біотехнологічного університету. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, (40), 66–84. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-06>
 13. ДСТУ 4287-2007 Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005-07-01]. Київ. 2005. 10 с. (Інформація та документація). URL: <https://environmentallab.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/dstu-4287-2004-yakist-gruntu.-vidbirannya-prob.pdf>
 14. Практикум із загального та меліоративного землеробства / за ред. Ю. В. Будьонного. Харків : ХНАУ, 2005. 286 с.
 15. ДСТУ 4729:2007 Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України. 2008. 12 с. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72836
 16. ДСТУ 4115-2002 Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. Вид. офіц. Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики. 2002. 9 с. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=58863
 17. ДСТУ 4770.1 – 9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 117 с. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=58849
 18. ДСТУ ISO 10381–6:2015. Якість ґрунту. Відбір проб. Частина 6. Настанови щодо відбору, оброблення та зберігання ґрунту для дослідження аеробних мікробіологічних процесів у лабораторії. (ISO 10381-6:2009, IDT) [Чинний від 2016-04-01]. Київ. 2017. 11 с. (Інформація та документація). URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73209
 19. ДСТУ 7847:2015. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом посіву на тверде (агаризоване) живильне середовище. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ. 2016. 15 с. URL: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=62729
 20. Рекомендації щодо обстеження еколого-меліоративного стану земель в умовах краплинного зрошення. Харків : ННЦІГА імені О. Н. Соколовського, 2012. 20 с. URL: <https://issar.com.ua/shop/tovar-100/>
 21. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Research. Vol. 14, Is. 8, 1980, P. 975–1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
 22. Оцінювання мікроелементного складу ґрунтів України для ведення органічного землеробства / за ред. А. І. Фатєєва, Я. В. Бородіної. Харків : Бровін О. В., 2020. 144 с. URL: <https://issar.com.ua/shop/tovar-151/>
 23. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт-рослина / за ред. А. І. Фатєєва, В. Л. Самохвалової. Харків : КП «Міськдрук», 2012. 146 с. URL: <https://issar.com.ua/shop/tovar-66/>
 24. Визначення спрямованості процесів мінералізації ↔ синтезу органічної речовини в агроценозах за біологічними показниками (науково-методичні рекомендації) / В. В. Волкогон, А. М. Москаленко, С. Б. Дімова, К. І. Волкогон, Ю. М. Халеп, О. В. Пиріг, Н. П. Штанько, Н. В. Луценко, В. П. Горбань, І. А. Земська, В. П. Сидоренко. Чернівці : видавець Брагинець О. В., 2020. 25 с.
 25. Симочко Л. Ю., Симочко В. В. Екологічні показники спрямованості мікробіологічних процесів у ризосфері озимої пшениці. *Науковий вісник Ужгородського університету: Біологія*. 2006 (19). С. 218–221. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/15747>
 26. ДСТУ 2730 : 2015 Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. Видання офіційне. Київ ДП «УкрНДНЦ», 2016. 9 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10395-zahyst_dovkillya_yakist_pryrodnoyi_vody_dlya_zroshen.pdf
 27. ДСТУ 7591 : 2014 Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії. Видання офіційне. Київ ДП «УкрНДНЦ», 2015. 16 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10449-dstu_7591_2014_zroshennya_yakist_vody_dlya_system_kr.pdf

Стаття надійшла до редакції 15.10.2024

Стаття рекомендована до друку 22.11.2024

O. O. GOLOLOBOVA¹, PhD (Agriculture),

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

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

Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: maksymenko@karazin.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

V. L. BEZSONNYI¹, PhD (Technical),

Associate Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education
e-mail: bezsonnyi@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>

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

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL AND AMELIORATIVE CONDITION OF THE SOIL AND POTENTIAL RISKS WHEN USING DIFFERENT TYPES OF IRRIGATION OF DECORATIVE PLANTS

Purpose. Assessment of the ecological and reclamation state of the soil and the probable risks when using different types of irrigation: traditional sprinkling and subsurface drip irrigation.

Methods. Field, laboratory analytical, Hakanson's method

Results. Diagnostic soil indicators characterizing soil degradation processes and the degree of their development were analyzed in the experimental plots of lawn and thuja, using sprinkling and subsurface drip irrigation. Regarding the state of the soil, it was determined: Both types of irrigation (drip and rain) have a positive effect on soil density; organic matter in the soil decomposes faster than it is formed; the fastest degradation of organic matter is observed under the lawn with drip irrigation, which indicates a lack of nitrogen available to plants; nitrogen is the main limiting factor for plant growth with both types of irrigation. It is also determined that it is necessary to regularly apply nitrogen fertilizers to the lawn, especially at the beginning of the growing season; small doses of nitrogen fertilizers in the spring are sufficient for thuja; complex microfertilizers of prolonged action are required to eliminate copper and zinc deficiencies. It is also necessary to monitor the quality of irrigation water to avoid soil contamination. The level of soil contamination with heavy metals is low.

Conclusions. Both types of irrigation have both positive and negative sides. To obtain optimal results, it is necessary to regularly conduct soil analysis and apply the necessary fertilizers. Particular attention should be paid to the quality of irrigation water. There is a small risk of increasing environmental risk over time.

KEYWORDS: *subsoil drip irrigation, sprinkling, soil, diagnostic indicator, microelement status, microbiological indicator, environmental risk index*

References

1. Baliuk, S. A. & Truskavetsky, P. S. (2018). Models of systematic management of soil fertility potential (on the example of Kharkiv and Volyn regions) Kharkiv: «Stylish Printing House», 116. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/326689403_Modeli_sistemnogo_upravlinna_potencialom_roducost_i_gruntiv_na_priklyadi_Harkivskoi_i_Volynskoi_oblastej#fullTextFileContent (in Ukrainian)
2. Baliuk, S. A., Medvedev, V. V. & Zakharova, M. A. (2013). The state of soils of Ukraine and ways to increase their fertility in the context of optimization of land resources of Ukraine. *Agriculture: interdepartmental thematic scientific collection*. (85). 14–24. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2013_85_4 (in Ukrainian)
3. Baliuk, S. A., Kucher, A. V. & Anisimova, O. V. (2015). Soil resources of Ukraine: status, problems and their solution priority areas. Rational use of soil resources and of soil fertility restoration: organizational, economic, ecological and legal aspects: collective monograph. Kharkiv: Smuhasta typohrafiya, (in Ukrainian)
4. Balyuk, S. A., Kucher, A. V., & Maksymenko, N. V. (2021). Soil resources of Ukraine: state, problems and strategy of sustainable management. *Ukr. Geogr. Zh.*, 2, 3-11. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.003> (In Ukrainian)
5. Maksymenko, N. V., Baliuk, S. A., Kucher, A. V., Peresadko, V. A. (2022). Regional differences of soils of Ukraine to assess the cost of ecosystem services. *Ukr. geogr. z. N.* (2), 19–31. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.02.019>
6. Baliuk, S., Miroshnichenko, M. & Truskavetskyi, R. (2023). Land use and protection Program (soil and agrochemical aspects). Kyiv: Agrarna nauka. 96. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-594-8> (in Ukrainian)
7. Baliuk, S. A., Ladnykh, V. Y., Vorotyntseva, L. I., Nedotsyuk, O. A. & Vernichenko, G. A. (2013). Assessment of the sustainability of agrolandscapes and soils to the impact of irrigation. Kharkiv. Retrieved from <https://issar.com.ua/shop/tovar-41/> (in Ukrainian)
8. Gololobova, O. O. & Shovkun, O. O. (2019). Assessment of the ecological and ameliorative state of the soil by agrophysical indicators when using subsoil drip irrigation. Handbook of the XXI international science conference «Ecology. Human. Society» (21–22 May, 2020 Kyiv, Ukraine). D. Benatov (Ed.). Kyiv: NTUU «Igor

- Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», P.40–42. Retrieved from <https://ecoconference.kpi.ua/issue/view/13788/7485>
9. Shovkun, O. O. & Gololobova, O. O. (2021). Evaluation of diagnostic agrophysical parameters of soil under subsoil drip irrigation of ornamental conifers. Ecology, Neoeology, Environment Protection and Balanced Natural Management. Proceedings Of The 9th International Scientific Conference young Scientists. November 25–26, 2021, Kharkiv, Ukraine. 67–68. Retrieved from https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2021/12/stud_konf_2021.pdf (in Ukrainian)
 10. Maksymenko, N., Gololobova, O., & Shovkun, O. (2022). Subsurface Drip Irrigation as a Factor Ensuring Productive and Ecological Functions of Soils. V International Scientific Congress «Society of Ambient Intelligence – 2022» (ISCSAI 2022). Sustainable Development and Global Climate Change Kryvyi Rih, Ukraine. 126–134. <https://dx.doi.org/10.5220/0011345200003350>
 11. Baliuk, S. A., Truskavetsky, P. S., Miroschnychenko, M. M., Solovey, V. B., Kucher, A. V., Momot, G. F. & Akimova, R. V. (2018). Soil resources of the Kharkiv region: state, reserves of productive capacity: analytical note. Kharkiv: «Style-Idat». (in Ukrainian)
 12. Gololobov, V. V., Koval, I. M., & Gololobova, O. O. (2023). Revitalization of regular landscapes of the Arboretum exposition zone of the State Biotechnology University. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (40), 66–84. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-06> (in Ukrainian)
 13. DSTU 4287-2007 Soil quality. Sampling. (2007). [Effective from 2005-07-01]. Kyiv. (Information and documentation). Retrieved from <https://environmentallab.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/dstu-4287-2004-yakist-gruntu.-vidbirannya-prob.pdf>
 14. Budyonnyi, Y. V. (Ed.). (2005). Workshop on general and reclamation agriculture. Kharkiv: KHNAU. (in Ukrainian)
 15. DSTU 4729:2007 Soil quality. (2008), Determination of nitrate and ammonium nitrogen in the modification of the NSC IGA named after A.N. Sokolovsky. Published by the official. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 12. Retrieved from https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72836
 16. DSTU 4115-2002 Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the modified Chirikov method. (2002). Published by the official. Kyiv: State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy., 9. Retrieved from https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=58863
 17. DSTU 4770.1 - 9:2007. Soil quality. (2008). Determination of the content of mobile manganese compounds (zinc, cadmium, iron, cobalt, copper, nickel, chromium, lead) in soil in a buffered ammonium acetate extract with pH 4.8 by atomic absorption spectrophotometry. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, Retrieved from https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=58849
 18. DSTU ISO 10381-6:2015. Soil quality. (2017). Sampling. Part 6. Guidelines for the selection, handling and storage of soil for the study of aerobic microbiological processes in the laboratory. (ISO 10381-6:2009, IDT) [Effective from 2016-04-01]. Kyiv. (Information and documentation). Retrieved from https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73209
 19. DSTU 7847:2015. Determination of the number of microorganisms in soil by sowing on solid (agarized) nutrient medium. (2016), [Effective from 2016-07-01]. Published by the official. Kyiv. Retrieved from https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=62729 (in Ukrainian)
 20. Recommendations for the survey of ecological and reclamation condition of lands under drip irrigation. (2012). Kharkiv: NSC «Institute of soil science and agrochemistry named after A. N. Sokolovsky», 20. Retrieved from <https://issar.com.ua/shop/tovar-100/> (in Ukrainian)
 21. Hakanson, L. (1980) An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975–1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
 22. Fateev, A. I. & Borodina Y. V. (Eds.). (2020). *Evaluation of microelement composition of soils of Ukraine for organic farming*. Kharkiv: Brovin O. V., 144. Retrieved from <https://issar.com.ua/shop/tovar-151/> (in Ukrainian)
 23. Fateev, A. I. & Samokhvalova, V. L. (Eds.). (2012). *Diagnosis of the state of chemical elements of the soil-plant system*. Kharkiv: KP Miskdruk, 146. Retrieved from <https://issar.com.ua/shop/tovar-66/> (in Ukrainian)
 24. Volkohon, V., Moskalenko, A., Dimova, S., Volkohon, K., Halep, Y., Pirig, O. (2020). Determination of the direction of mineralization processes ↔ synthesis of organic matter in agrocenoses by biological indicators (scientific and methodological recommendations). Publisher Bragynets O. V. (in Ukrainian)
 25. Simochko, L. Yu. & Simochko, V. V. (2006). Ecological indicators of the direction of microbiological processes in the rhizosphere of winter wheat. Scientific Bulletin of Uzhhorod University: *Biology*. (19), 218–221. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/15747> (in Ukrainian)
 26. DSTU 2730: 2015 Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria. (2016). Edition official. Kiev SE «UkrNDNC». Retrieved from https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10395-zahyst_dovkilliya_yakist_pryrodnoyi_vody_dlya_zroshen.pdf (in Ukrainian)
 27. DSTU 7591:2014 Water quality for drip irrigation systems. Agronomic, environmental and technical criteria. (2015). Edition official. Kyiv SE «UkrNDNC»,. Retrieved from https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10449-dstu_7591_2014_zroshennya_yakist_vody_dlya_system_kr.pdf (in Ukrainian)

The article was received by the editors 15.10.2024

The article is recommended for printing 22.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-06>

УДК (UDC): 504.055

Л. Ф. ЧОРНОГОР¹, д-р фіз.-мат. наук, проф., член-кор. НАН України,
завідувач кафедри космічної радіофізики

e-mail: Leonid.F.Chernogor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5777-2392>

А. Н. НЕКОС¹, д-р географ. наук, проф.,

завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти

e-mail: alnekos999@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

А. В. ТІТЕНКО¹, канд. географ. наук, доц.,

директор навчально-наукового інституту екології

e-mail: titenko@karazin.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8477-0672>

Л. Л. ЧОРНОГОР¹,

студент навчально-наукового інституту екології

e-mail: L.L.Chornohor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-8850>

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

майдан Свободи 6, 61022, м. Харків, Україна

ПАРАМЕТРИ ТА ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ КАТАСТРОФІЧНИХ ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ: МОДЕЛЮВАННЯ, КІЛЬКІСНІ ОЦІНКИ

Кліматичні умови та активізація бойових дій на сході України у 2024 р. (серпень і вересень) призвели до горіння великих за площею масивів лісів і трав'янистих покривів, що потребує оцінки наслідків.

Методи. Системний аналіз, багатофакторний аналіз, математичне моделювання.

Мета. Обчислення основних параметрів пожеж в екосистемах України, що мали місце влітку-восени 2024 р., та оцінка їхніх екологічних наслідків.

Результати. Обчислено головні енергетичні параметри лісових і трав'янистих пожеж, викликаних літньою спекою і військовими діями в Україні в 2024 р. Наприкінці серпня – на початку вересня горів фактично весь схід України. Всього в Україні полум'ям було охоплено близько 43 тис. га. Згоріло близько 500 кт деревини та 350 кт трави. Викиди диму, сажі, оксидів азоту в рази перевищували фонові значення мас цих речовин. Інжекція поліароматичних вуглеводнів перевищувала фонові значення у 570, мікрочастинок PM_{2.5} – у 14 разів, потужність акустичного випромінювання – у 30 разів. Викиди CO, SO_x не перевищували декількох десятків відсотків. Поширенню пожеж у екосистемах, крім військових дій, сприяла висока температура повітря, відсутність дощів та вітер.

Висновки. Розрахунки та математичне моделювання показали, що наслідки горіння лісових масивів і трав'янистих покривів в Україні в 2024 р. були катастрофічними. Обґрунтовано, що більшість пожеж викликані військовими діями на території України. Екологічна ситуація суттєво ускладнилася під дією пилової бурі, що надійшла з Казахстану та Середньої Азії. Короточасні та тривалі екологічні наслідки дуже значні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: лісова пожежа, горіння трави, екосистема, енергетичний параметр, інжекція, продукт горіння, хімічний елемент, екологічні наслідки

Як цитувати: Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Чорногор Л. Л. Параметри та екологічні наслідки катастрофічних пожеж в Україні: моделювання, кількісні оцінки. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 83-94. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-06>

In cites: Chernogor, L. F., Nekos, A. N., Titenko, G. V., & Chornohor, L. L. (2024). Parameters and environmental consequences of catastrophic fires in Ukraine: modeling, quantitative estimates. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (42), 83-94. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-06> (In Ukrainian)

Вступ

Пожежам в екосистемах традиційно приділяється велика увага [1–22]. Кожного року серпень-вересень в Україні є найбільш

шим пожежонебезпечний для екосистем. У 2024 р. ці місяці стали особливо небезпечними. Для цього було декілька причин. По-

© Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Чорногор Л. Л., 2024



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

перше, літо 2024 р. стало найбільш спекотним за всю історію спостережень. Тут свою роль зіграли як глобальне потепління, так і вплив явища Ель-Ніньо. Температура повітря в денний час в Україні сягала 35°C, а швидкість вітру 35 км/год. По-друге, дощів у серпні-вересні практично не було. Рівень опадів не перевищував третини від норми. Формувалися значні за площею сухості з трави, чагарників тощо. По-третє, активізація бойових дій на сході України призвела до безперервного горіння великих за площею масивів лісів і трав'янистих покривів. За даними супутникових спостережень (ресурс FIRMS), горів фактично весь схід України (рис. 1).

На кінець серпня – початок вересня тільки площа лісових пожеж у Донецькій і Харківській областях сягала 1520 га. Трава на площі 100–500 м² горіла одночасно в 90 займаннях. Наприклад, через обстріл Руської Лозової загорілася трава на площі 2 га. В-четвертих, гасіння пожеж дуже ускладнено або було неможливим в результаті бойових дій і їхніх наслідків (мінувань, підривів тощо). За даними ДСНС за 8 місяців 2024 р. зафіксовано 38 тис. пожеж у екосистемах. Це вдвічі більше, ніж за той же час у 2023 р. Безпрецедентними були значення індексу пожежної небезпеки, який сягав 50000.

Приклад горіння лісів у влітку – восени в 2924 р. в Україні показані на рис. 2.

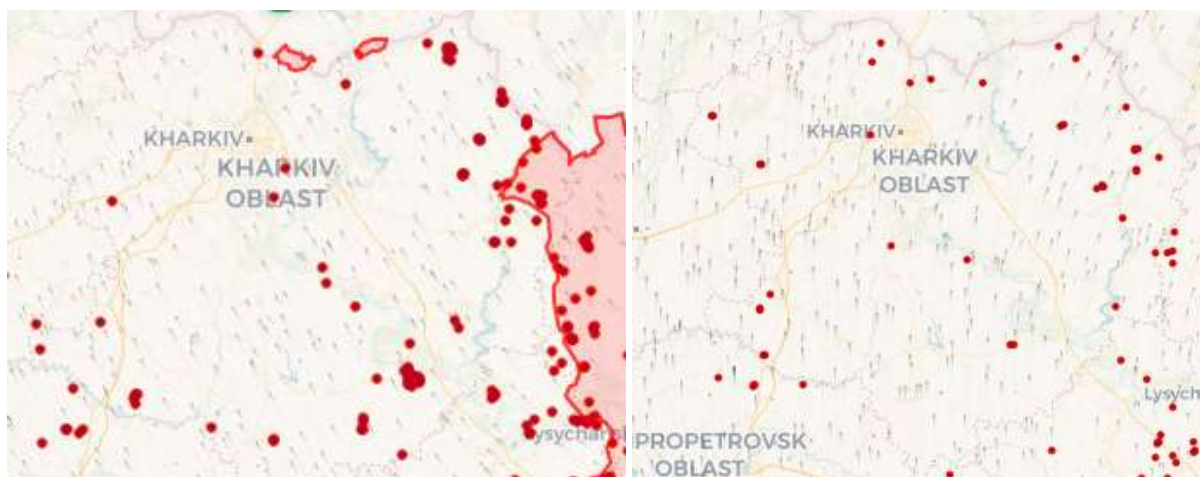


Рис. 1. – Лісові пожежі в Харківській області 9 вересня (ліворуч) та 15 вересня 2024 р (праворуч). Червоним кольором показано осередки пожеж [<http://surl.li/ecuxra>]

Fig. 1. – Forest fires in Kharkiv region on September 9(left) and September 15, 2024 (right). Fires are shown in red [<http://surl.li/ecuxra>]



Рис. 2. – Горіння лісів в Україні в серпні – вересні 2024 р. [<http://surl.li/gatchz>]

Fig. 2. – Forest fires in Ukraine in August – September 2024 [<http://surl.li/gatchz>]

Мета роботи – обчислення основних параметрів пожеж в екосистемах України,

що мали місце влітку-восени 2024 р., та оцінка їхніх екологічних наслідків.

Матеріали та засоби

Для кількісних оцінок екологічних наслідків інтенсивних пожеж в екосистемах України використовувалася методологія, розроблена авторами [4 – 6]. Окремі цифрові дані про пожежі та їхні світлини запозичувалися з системи Internet.

Як і в попередніх наших роботах, головним параметрами екосистем, що постраждали від пожеж, будемо вважати площу S ,

пройдену вогнем, масу згорілих матеріалів m , питому масу горючих матеріалів μ , питому енергію горіння q , час вигорання τ , швидкість переміщення фронту горіння (за відсутності вітру) v [4 – 6]. При горінні лісових масивів у середньому $\mu = 10 \text{ кг/м}^2$, $q = 20 \text{ МДж}$, $\tau = 2.5 \cdot 10^3 \text{ с}$, $v = 3 \text{ м/с}$. Під час горіння трави $\mu = 1 \text{ кг/м}^2$, $q = 20 \text{ МДж/кг}$, $\tau = 200 \text{ с}$, $v = 5 \text{ см/с}$ [4–6].

Результати обчислень енергетичних параметрів горіння

Горіння лісу. Горіння великих лісових масивів на сході України спостерігалось на межі серпня-вересня 2024 р. Пожежа виникла на Донеччині. Горів Національний природний парк "Святі гори". Потім пожежа перекинулася на Харківську область. Вогонь пройшов площу біля 5 тис. га. Пожежа продовжувалася близько 5 діб (впродовж $\Delta t \approx 5 \cdot 10^5 \text{ с}$). За даними ДСНС тільки за перший тиждень вересня на Харківщині виявлено 498 загорянь, у 23 випадках горіли ліси, в інших – трава. За цей час в Україні вирувало більше 30 тис. пожеж в екосистемах.

Горіння великих масивів лісових масивів супроводжується виділенням тепла (енергії горіння E потужністю P), генерацією теплового випромінювання з густиною потоку Π_T , потужністю P_T та енергією E_T , а також акустичного випромінювання з густиною потоку Π_a , потужністю P_a та енергією E_a .

Для енергії та потужності горіння маємо наступні співвідношення [4 – 6]:

$$E = mq = \mu Sq, \quad P = q dm/dt = Sq d\mu/dt \quad (1)$$

де dm/dt та $d\mu/dt$ – часові похідні від маси та питомої маси продуктів горіння.

Для густини потоку теплового випромінювання за температури горіння $T = 1000 \text{ К}$ маємо

$\Pi_T \approx \sigma T^4 \approx 56.76 \text{ кВт/м}^2$, де $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ – стала Стефана–Больцмана. Тут враховано, що $T^4 \gg T_0^4$, де $T_0 \approx 300 \text{ К}$. Тоді

$$P_T = \Pi_T S, \quad E_T = P_T \Delta t. \quad (2)$$

Для акустичного випромінювання

$$P_a = \eta_a P, \quad E_a = \eta_a E, \quad (3)$$

де $\eta_a \approx 3 \cdot 10^{-3}$ – коефіцієнт перетворення теплової енергії в акустичну енергію.

Результати підрахунків основних енергетичних параметрів горіння лісових екосистем за співвідношенням (1)–(3) наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Основні енергетичні параметри лісових пожеж (характерний час вигорання – 2500 с)

Table 1

Main energy parameters of forest fires (typical burnout time is 2500 s)

Площа пожежі, га	100	200	300	500	1000	1500	2000	5000
Маса згорілих матеріалів, кг	10	20	30	50	100	150	200	500
Енергія горіння, ПДж	0,2	0,4	0,6	1	2	3	4	10
Потужність горіння, ГВт	80	160	240	400	800	1200	1600	4000
Енергія теплового випромінювання, ПДж	28,5	57	85,5	142,5	285	428	570	1425
Потужність теплового випромінювання, ГВт	57	114	171	285	570	855	1140	2850
Енергія акустичного випромінювання, ТДж	0,6	1,2	1,8	3	6	9	12	30
Потужність акустичного випромінювання, ГВт	0,24	0,48	0,72	1,2	2,4	3,6	4.8	12

З табл. 1 можна визначити, що зі збільшенням площі лісового масиву від 100 до 5000 га маса згорілої деревини збільшується від 10 до 500 кт. При цьому енергія та середня потужність горіння зростають відповідно від 0,1 до 5 ПДж і від 40 до 2000 ГВт. Енергія та потужність теплового випромінювання збільшується відповідно від 6,8 до 204 ПДж і від 13,6 до 680 ГВт. Значними є величини акустичної енергії та потужності, які сягали відповідно значень від 60 до 3000 ТДж і від 120 до 6000 МВт.

Далі порівняємо, між собою густини потоку енергії горіння $\Pi = \mu q = 80 \text{ кВт/м}^2$, теплового випромінювання $56,7 \text{ кВт/м}^2$ і акустичного випромінювання $0,24 \text{ кВт/м}^2$. До-

дамо, що густина потоку сонячного випромінювання на поверхні землі на широтах України складає близько $0,6 \text{ кВт/м}^2$. Це означає, лісові пожежі суттєво впливають на екосистеми.

Горіння трави. За 8 місяців 2024 р. в Україні згоріло більше 35 тис. га трави. Звичайно, питома енергія горіння приблизно у 5 разів менше для трави, ніж для деревини. Крім того, питома маса трави на порядок менше питомої маси деревини. Але через великі площі трави, пройдені вогнем, вплив горіння трави на екосистеми є суттєвим.

Результати розрахунків основних енергетичних параметрів горіння трави в Україні в 2024 р. за співвідношенням, подібним до (1)–(3), наведено у табл. 2.

Таблиця 2

**Основні енергетичні параметри трав'яних пожеж
(характерний час вигорання – 200 с)**

Table 2

**Main energy parameters of grass fires
(typical burnout time is 200 s)**

Площа пожежі, га	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	3	5	10
Маса згорілих матеріалів, т	1	2	3	5	10	20	30	50	100
Енергія горіння, ТДж	0,02	0,04	0,06	0,1	0,2	0,4	0,6	1	2
Потужність горіння, ГВт	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	3	5	10
Енергія теплового випромінювання, ГДж	4,6	9,2	13,8	23	46	92	138	230	460
Потужність теплового випромінювання, МВт	23	46	69	115	230	460	690	1150	2300
Енергія акустичного випромінювання, ГДж	0,06	0,12	0,18	0,3	0,6	1,2	1,8	3	6
Потужність акустичного випромінювання, МВт	0,3	0,6	0,9	1,5	3	6	9	15	30

Із табл. 2. видно, що за сумарної площі одночасних трав'яних пожеж ~ 10 га дія горіння трави на екосистеми була значною. При цьому, за сто діб ($\sim 10^7$ с) в атмосферу ло інжектровано 2 ТДж тепла за середньої потужності 10 ГВт, теплового випромінювання з енергією 460 ГДж потужністю близько 2,3

ГВт та акустичного випромінювання з енергією 6 ГДж за потужності 30 МВт.

Всього за 8 місяців 2024 р. трав'яні пожежі пройшли площу 35 тис. га. При цьому згоріло 350 кт рослинності, виділилося 6,4 ПДж тепла та 19,2 ТДж акустичної енергії.

Результати обчислень інжекттованих в атмосферу продуктів горіння

Горіння лісу. Результати обчислень інжекттованих в атмосферу основних продуктів горіння наведено у табл. 3. До основних продуктів горіння віднесено дим, вуглекислий газ, чадний газ, сажу, вуглеводні, оксиди сульфату, оксиди азоту, а також мікрочастинки розміром менше 2,5 мікрона (PM 2,5) і поліароматичні вуглеводні (ПАВ).

Із табл. 3 можна бачити, що при зростанні площі лісової пожежі від ~ 100 до 5000

га маса диму зростає від 0,4 до 20 кт, маса CO_2 – від 22,6 до 1130 кт, маса CO – від 1 до 50 кт, маса C – від 30 т до 1,5 кт, маса вуглеводнів – від 0,4 до 20 кт, маса оксидів сульфату – від 10 до 500 т, маса оксидів азоту – від 30 до 1500 т, маса мікрочастинок – від 0,1 до 5 кт і маса ПАВ – від 0,2 до 10 т.

Таким чином, викиди продуктів горіння лісових масивів були дуже значними.

Таблиця 3

Маса інжекттованих в атмосферу продуктів горіння лісових масивів

Table 3

Mass of forest combustion products injected into the atmosphere

Площа пожежі, га	100	200	300	500	1000	1500	2000	5000
Маса диму, кг	0,4	0,8	1,2	2	4	6	8	20
Маса CO ₂ , кг	22,6	45,2	67,8	113	226	339	452	1130
Маса CO, кг	1	2	3	5	10	15	20	50
Маса С, кг	30	60	90	150	300	450	600	1500
Маса вуглеводнів, кг	0,4	0,8	1,2	2	4	6	8	20
Маса SO _x , т	10	20	30	50	100	150	200	500
Маса NO _x , т	30	60	90	150	300	450	600	1500
Маса мікрочастинок PM 2,5, кг	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	5
Маса ПАВ, т	0,2	0,4	0,6	1	2	3	4	10

Горіння трави. Результати оцінки мас інжекттованих в атмосферу продуктів горіння трав'яних масивів наведено у табл. 4.

Із цієї таблиці видно, що в результаті одночасного горіння трави на площі від 0,3 до 10 га викиди диму сягають від 0,04 до 4 т,

CO₂ – від 2,26 до 226 т, CO – від 0,1 до 10 т, С – від 3 до 300 кг, вуглеводнів – від 0,04 до 4 т, SO₄ – від 1 до 100 кг, NO_x – від 3 до 300 кг, мікрочастинок – від 10 до 1000 кг і ПАВ – від 0,02 до 2 кг.

Таблиця 4

Маса інжекттованих в атмосферу продуктів горіння трав'янистих покривів

Table 4

Mass of grassland combustion products injected into the atmosphere

Площа пожежі, га	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	3	5	10
Маса диму, т	0,04	0,08	0,12	0,2	0,4	0,8	0,12	2	4
Маса CO ₂ , т	2,26	4,52	6,78	11,3	22,6	45,2	67,8	113	226
Маса CO, т	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	3	5	10
Маса С, кг	3	6	9	15	30	60	90	150	300
Маса вуглеводнів, т	0,04	0,08	0,12	0,2	0,4	0,8	0,12	2	4
Маса SO _x , кг	1	2	3	5	10	20	30	50	100
Маса NO _x , кг	3	6	9	15	30	60	90	150	300
Маса мікрочастинок PM 2,5, кг	10	20	30	50	100	200	300	500	1000
Маса ПАВ, кг	0,02	0,04	0,06	0,1	0,2	0,4	0,6	1	2

За сумарної площі $S = 35000$ га і маси згорілої трави 350 кг мали місце наступні маси викидів: диму – 14 кг, вуглекислого газу – 791 кг, чадного газу – 35 кг, сажі – 1,05 кг, вуглеводнів – 14 кг, оксидів сульфату –

0,35 кг, оксидів азоту – 1,05 кг, мікрочастинок – 3,5 кг та ПАВ – 7 т.

Ці дані свідчать, що викиди продуктів горіння трав'янистих покривів за минулі 8 місяців 2024 р. були значними.

Результати обчислень інжекттованих в атмосферу хімічних елементів

Під час пожеж у природних екосистемах мають місце викиди, перш за все, наступних хімічних елементів: N, K, Ca, Fe, Zn, Cr, і Br. Дещо менші викиди таких елементів: Mn, Pb, Sr, Se та ін.

Горіння лісу. Результати обчислень (табл. 5). визначають, що найбільшу масу

мають викиди азоту. При збільшенні площі лісу, пройденої вогнем, від 100 до 5000 га маса N зростає від 0,5 до 25 кг. В той же час маса K – лише від 7 до 350 кг, маса Ca – від 6 до 300 кг, маса Fe – від 2 до 50 кг, маса Zn – від 0,5 до 25 кг, маса Cr – від 0,4 до 20 кг і маса Br та Mn – від 0,15 до 7,5 кг.

Таблиця 5

Маса інжектіваних хімічних елементів при лісових пожежах

Table 5

Mass of injected chemical elements in forest fires

Площа пожежі, га	100	200	300	500	1000	1500	2000	5000
Маса N, кг	0,5	1	1,5	2,5	5	7,5	10	25
Маса K, кг	7	14	21	35	70	105	140	150
Маса Ca, кг	6	12	18	30	60	90	120	300
Маса Fe, кг	2	4	6	10	20	30	40	50
Маса Zn, кг	0,5	1	1,5	2,5	5	7,5	10	25
Маса Cr, кг	0,4	0,8	1,2	2	4	6	8	20
Маса Br, кг	0,15	0,30	0,45	0,75	1,5	2,25	3	75
Маса Mn, кг	0,15	0,30	0,45	0,75	1,5	2,25	3	75
Маса Pb, кг	0,06	0,12	0,18	0,30	0,60	0,90	1,2	3
Маса Rb, кг	0,04	0,08	0,12	0,20	0,40	0,60	0,80	2
Маса Sr, кг	0,03	0,06	0,09	0,15	0,30	0,45	0,60	1,5
Маса Se, кг	0,03	0,06	0,09	0,15	0,30	0,45	0,60	1,5

Горіння трави. Обчислені значення мас хімічних елементів наведено у табл. 6. Із табл. 6 визначено, що при збільшенні площі одночасного горіння трави від 0,1 до 10 га маса викидів N зростає від 50 до 5000 кг. Викиди всіх інших елементів є значно меншими. Маса K змінюється лише від 0,7 до 70 мг, маса Ca – від 0,6 до 60 мг, маса Fe – від 0,2 до 20 мг, маса Zn – від 0,05 до 5 мг, маса

Cr – 0,04 до 4 мг, а маса Br та Mn – від 0,005 до 1,5 мг. Маса викидів інших елементів є ще меншою.

За площі в 35000 га сумарні викиди були досить значними, а саме N – 17,5 кг, K – 245 кг, Ca – 210 кг, Fe – 70 кг, Zn – 1,75 кг, Cr – 1,4 кг, Br та Mn – 0,5 кг. Маса інжектіваних в атмосферу інших хімічних елементів помітно менше.

Таблиця 6

Маса інжектіваних хімічних елементів при трав'яних пожежах

Table 6

Mass of injected chemical elements during grass fires

Площа пожежі, га	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	3	5	10
10Маса N, кг	50	100	150	250	500	1000	1500	2000	5000
Маса K, мг	0,7	1,4	2,1	3,5	7	14	21	35	70
Маса Ca, мг	0,6	1,2	1,8	3	6	12	18	30	60
Маса Fe, мг	0,2	0,4	0,6	1	2	4	6	10	20
Маса Zn, мг	0,05	0,10	0,15	0,25	0,5	1	1,5	2,5	5
Маса Cr, мг	0,04	0,08	0,12	0,20	0,40	0,80	1,2	2	4
Маса Br, мг	0,015	0,030	0,045	0,075	0,15	0,30	0,45	0,75	1,5
Маса Mn, мг	0,015	0,030	0,045	0,075	0,15	0,30	0,45	0,75	1,5
Маса Pb, мг	0,006	0,012	0,018	0,030	0,06	0,12	0,18	0,30	0,60
Маса Rb, мг	0,004	0,008	0,012	0,020	0,04	0,08	0,12	0,20	0,40
Маса Sr, мг	0,003	0,006	0,009	0,015	0,03	0,06	0,09	0,15	0,30
Маса Se, мг	0,003	0,006	0,009	0,015	0,03	0,06	0,09	0,15	0,30

Обговорення. Екологічні наслідки

Енергетика процесів. Екологічні наслідки. Під час горіння лісів і трав виділялося приблизно 16 ПДж тепла. Для порівняння – все населення України споживає за добу близько 16 ПДж усіх видів енергії. Густина потоку теплового випромінювання під час горіння лісових масивів і трав'янистих покриттів було відповідно ~57 та ~23 кВт/м². Такого

значення достатньо для поширення фронту горіння навіть за відсутності вітру. Наявність вітру значно пришвидшувала рух фронту горіння.

Сумарна енергія акустичного випромінювання внаслідок пожеж наближалася до 40 ТДж за фонового значення цієї енергії на території України 35 ТДж. Це означає, що

енергія акустичного випромінювання перевищила фонові значення приблизно на 140%. Потужність акустичного випромінювання у 30 разів перевищувала фонове значення. Важливо, що більша частина енергії акустичного випромінювання прийшла на інфразвуковий діапазон. Коливання цього діапазону вухами людини не сприймаються, але негативно впливають на її самопочуття людини, її нервову систему, викликаючи необґрунтоване відчуття тривоги, паніки, страху тощо.

Викиди продуктів горіння. Екологічні наслідки. Результати порівняння головних параметрів горіння лісових масивів і трав'янистих покривів, що призводять до значних екологічних наслідків, з фоновим значенням цих параметрів наведено у табл. 7.

Із табл. 7 видно, що викиди диму перевищили фонові значення майже вшестеро, викиди сажі – більш ніж вчетверо, викиди

оксидів азоту – майже в 1,5 рази, випромінювання акустичної енергії – майже в 1,4 рази.

Відносно збільшення викидів чадного газу, вуглеводів, оксидів, сульфату складало десятки відсотків. Найбільшим було зростання маси мікрочастинок РМ 2,5 (приблизно у 14 разів) і особливо маси ПАВ (у 570 разів). Дуже незначними були викиди вуглекислого газу (близько 0,03%).

З екологічної та медичної точок зору найбільш небезпечними були викиди диму та сажі, що містили мікрочастинки РМ 2,5, та викиди ПАВ. Важливо, що мікрочастинки, що утворилися під час пожеж, піднімаються з потоками нагрітого повітря вгору на сотні метрів, переміщується вітром на відстані від сотень до тисяч кілометрів і існують в атмосфері впродовж декількох місяців. Зменшення концентрації мікрочастинок відбувається за рахунок опадів, яких так не вистачало в серпні – вересні 2024 р.

Таблиця 7

Параметри екологічних наслідків горіння лісових масивів і трав'янистих покривів в Україні в 2024 р.

Table 7

Parameters of environmental consequences of forest and grassland burning in Ukraine in 2024

Параметр	Фонове значення над Україною	Викиди при горінні лісу	Викиди при горінні трави	Відносне збільшення, %
Маса диму, кг	6	20	14	567
Маса CO ₂ , Мт	2760	0,113	0,79	0,03
Маса CO, кг	600	50	35	14,2
Маса С, кг	0,6	1,5	1,05	425
Маса вуглеводів, кг	6000	20	14	0,57
Маса SO _x , кг	3	0,5	0,35	28,3
Маса NO _x , кг	2,4	2,5	1,05	148,3
Маса мікрочастинок РМ 2,5, кг	0,6	5	3,5	1417
Маса ПАВ, т	0,03	10	7	5,7·10 ⁴
Акустична енергія, ТДж	35	30	19,2	140,6
Акустична потужність, ГВт	0,4	12	0,03	3·10 ³

Як відомо, мікрочастинки диму та сажі з розміром менше 2,5 мікрона здатні приводити до низки захворювань дихальної системи та серця. За даними ВООЗ щороку через підвищеної концентрації таких частинок у світі додатково помирає більше 0,1 млн людей.

Як уже вказувалося, на межі серпня-вересня 2024 р., горів фактично весь схід України. При цьому маса мікрочастинок склала не менше 2 кг. За площі 4·10⁴ км² та товщини атмосферного шару з мікрочастинками 100 м

без врахування дії вітру маємо середню концентрацію цих частинок 50 мг/м³. Це в 5 тис. разів перевищує гранично допустиму концентрацію (0,01 мг/м³). За рахунок вітру площа запилення збільшилася до 2·10⁶ км², а концентрація частинок зменшилася до 1мг/м³.

Обговоримо екологічні наслідки інжекції ПАВ. До ПАВ належать сполуки, що містять два або більше конденсованих бензольних кільця в молекулі з молекулярною масою 128-276. Інжекція канцерогенних ПАВ, бензола, формальдегіда, фенола та важких

металів призводить до онкологічних захворювань, мутагенної та теригенної дії на біологічні об'єкти та людину, зокрема. За даними ВООЗ, інжекція ПАВ призводить до збільшення на ~10% онкологічних захворювань і пухлини мозку в людини. Нагадаємо, що викиди ПАВ під час пожеж в Україні у 570 разів перевищили фонові значення.

Шкідлива дія сполук SO_x і NO_x загально відома. Під час пожеж їхня концентрація суттєво збільшувалася. Тим паче це відноситься до викидів С та CO .

Екологічні наслідки горіння лісів. Горіння великих лісових масивів призводить до порушення лісових і прилеглих до лісів екосистем. При цьому суттєво скорочується біорізноманіття, зменшується чисельність представників флори та фауни, в тому числі, що належать до Червоної книги. Загибель лісів призводить до зникнення малих річок і озер, до обміління більших річок і озер, до порушення водного балансу в цілому. Деякі населені пункти можуть залишитися без води, яку вони споживають з колодязів. Водойми забруднюються попелом і сажею.

До цього необхідно додати ризики екологічних небезпек для населення, втрати будівель і майна, необхідність евакуації під час лісових пожеж, втрати здоров'я та смертність людей.

Під час горіння лісових масивів страждають на глибину до 50 см ґрунти та все, що в них знаходиться, гинуть корисні ґрунтові мікроорганізми, збільшується ймовірність ерозії ґрунту, може помітно знижуватись родючість ґрунту.

Екологічні наслідки горіння трав'янистих покривів. На перший погляд інтенсивність горіння трави значно менше інтенсивності горіння лісів. Тому і екологічні наслідки повинні бути значно меншими. Але це не зовсім так. Під час горіння трав'янистих

масивів гинуть багато комах, їхні личинки, куколки, божі корівки, жулички, дощові черв'яки та ін. Важливо, що перераховані біоорганізми приймають участь в утворенні ґрунтів. Під час пожеж спалюється солі важких елементів, що осіли на листях, гумусний шар ґрунту. Плодючість землі зменшуються на термін більше семи років. Після пожеж збіднюється видовий склад лугової рослинності та тваринного світу. Територія, що звільнилася від пожежі, захоплюється бур'янами. Крім корисної мікрофлори, комах і інших дрібних біооб'єктів, гинуть їжаки, птахи, жаби, плазуни, дрібні ссавці. Під час пожеж згорає органіка, що забезпечує пухкість ґрунту, його вологоємність, здатність утримувати елементи мінерального живлення, випаровуються азотисті речовини. Після трав'янистих пожеж знижується родючість ґрунту, підсилюється його ерозія.

Від згорання трави страждають кущі та дерева. Важливо, що разом з травою може згорати токсичне побутове сміття, залишки добрив і ядохімікатів. При цьому утворюються леткі токсичні органічні та неорганічні сполуки.

Екологічна ситуація різко погіршувалася через наявність великої кількості продуктів вибухів. Саме ці вибухи й викликали масштабні трав'яні пожежі.

З 29 вересня 2024 р. на декілька днів екологічна ситуація різко погіршилася внаслідок пилової бурі, що прийшла в Україну з Казахстану та Узбекистану. При цьому в східній частині України концентрація пилу в атмосфері збільшилася від $0,03 \text{ мг/м}^3$ до 5 мг/м^3 . Прозорість атмосфери при цьому за питомого коефіцієнта екстинкції $3 \cdot 10^2 \text{ м}^2/\text{кг}$, товщини атмосферного шару 1000 м зменшилася в 5 – 5,5 разів. Продукти горіння разом з пилом призвели до вкрай небезпечної ситуації для екосистем і людини зокрема.

Висновки

Горіння лісових масивів і трав'янистих покривів в Україні на межі літо - осінь 2024 р. було катастрофічними. Найбільше постраждали повітря, ґрунти, флора та фауна в східній частині країни. Викиди диму, сажі, оксидів азоту в рази перевищували фонові значення мас цих речовин. Зокрема, інжекція ПАВ перевищувала фонові значення у 570, мікрочастинок $PM_{2,5}$ – у 14 разів, потужність акустичного випромінювання – у 30 разів.

Обґрунтовано, що більшість пожеж були викликані військовими діями на території України. Поширенню пожеж у екосистемах, крім військових дій, сприяла висока температура повітря, відсутність дощів та вітер.

Короткочасні та тривалі екологічні наслідки були дуже значними. Масштабні пожежі, викликані військовими діями, кваліфікуються як екоцид.

Конфлікт інтересів

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

Список використаної літератури

1. Drysdale D. (2011). An Introduction to Fire Dynamics, (Zrd d.). Neck. DOI: <https://doi.org/10.1029/2012JG002128>
2. Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко, Г. В., Чорногор Л. Л. Екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж в Україні навесні – влітку – восени 2020 р. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2021. № 24. С. 79-90. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-07>
3. Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко А. В., Чорногор Л. Л. Екологічні наслідки горіння лісових масивів у північній півкулі в 2020 р.: результати моделювання та кількісних розрахунків. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2021. № 25. С. 42-54. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-04>
4. Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Чорногор Л. Л. Моделювання параметрів великомасштабних лісових пожеж. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2022. № 26. С. 43-54. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-04>
5. Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Чорногор Л. Л. Математичні моделі для оцінки екологічних наслідків впливу пірогенного фактору на лісові екосистеми. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2022. № 27. С. 51-62. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-04>
6. Chernogor, L., Nekos, A., Titenko, G., Chernogor, L. Ecological consequences of the large forests fires in the northern hemisphere during 2020. Sustainable development of natural and economic systems: theory, methodology, and practice: collective monograph. / Under the general edition of Lidiia Horoshkova, Iegen Khlobystov. Poland: Bilostok. С. 259–276. ISBN 978-83-953142-4-7
7. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы и исследования. Херсон: Гринь Д.С., 2011. 458 с.
8. Vacchiano G., Foderi C., Berretti R., Marchi E., Motta R. Modeling anthropogenic and natural fireignitions in an inner-alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2018. Vol. 18. No 3. P. 935–948. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-935-2018>
9. Буц Ю.В. Систематизація процесів пірогенної релаксації екогеосистем в умовах техногенного навантаження. *Екологічна безпека*. 2018. №1(25). С. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.7-12>
10. Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Некос А.Н. Природна пожежа в Рівненському заповіднику та її аналіз. *VinSmartEco: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Вінниця, 16-18 травня 2019 р.)*. Вінниця, 2019. С. 25–26.
11. Buts Y., Asotskyi V., Krainyuk O., Ponomarenko R. Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2019. No 28(3). P. 409–416. DOI: <https://doi.org/10.15421/111938>
12. Буц Ю.В. Науково-методологічні основи релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження. Автореф. ... докт. техн. наук. Суми, 2020. 46 с. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266>
13. Adámek M., Jankovská Z., Hadincová V., Kula E., Wild J. Drivers of forest fire occurrence in the cultural landscape of Central Europe. *Landscape Ecology*. 2018. Vol. 33. Iss. 11. P. 2031–2045. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0712-2>
14. Hebert-Dufresne L., Pellegrini A.F.A., Bhat U., Redner S. Edge fires drive the shape and stability of tropical forests. *Ecology letters*. 2018. Iss. 6. P. 794–803. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12942>
15. Rodríguez Trejo D.A., Martínez Muñoz P., Martínez Lara P.J. Fire effects on the trees of a tropical pine forest and a tropical dry forest at Villaflores, Chiapas, Mexico. *Ciência Florestal*. 2019. Vol. 29, Iss. 3. P. 1033– 1047. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509833952>
16. Zhang G., Wang M., Liu K. Forest Fire Susceptibility Modeling Using a Convolutional Neural Network for Yunnan Province of China. *International Journal of Disaster Risk Science*. 2019. Vol. 10. Iss. 3. P. 386–403. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00233-1>
17. McLauchlan K.K., Higuera P.E., Miesel J., Rogers B.M., Schweitzer J., Shuman J.K., Tepley A.J., Varner J.M., Veblen T.T., Adalsteinsson S.A., Balch J.K., Baker P., Batllori E., Bigio E., Brando P., Cattau M., Chipman M.L., Coen J., Crandall R., Daniels L., Enright N., Gross W.S., Harvey B.J., Hatten J.A., Hermann S., Hewitt R.E., Kobziar L.N., Landesmann J.B., Loranty M. M., Maezumi S.Y., Mearns L., Moritz M., Myers J.A., Pausas J.G., Pellegrini A.F.A., Platt W.J., Roozeboom J., Safford H., Santos F., Scheller R.M., Sherriff

- R.L., Smith K.G., Smith M.D., Watts A.C. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*. 2020. Vol. 108. №. 5. P. 2047–2069. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
18. Kelly A.J., Hodges K.E. Post-fire salvage logging reduces snowshoe hare and red squirrel densities in early seral stages. *Forest Ecology and Management*. 2020. Vol. 473. id: 118272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118272>
 19. Coogan S.C., Daniels L.D., Boychuk D., Burton P.J., Flannigan M.D., Gauthier S., Kafka V., Park J.S., Wotton B.M. Fifty years of wildland fire science in Canada. *Canadian Journal of Forest Research*. 2021. Vol. 51. No. 2. P. 283–302. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0314>
 20. Turner M.G., Braziunas K.H., Hansen W.D., Hoecker T.J., Rammer W., Ratajczak Z., Westerling A.L., Seidl R. The magnitude, direction, and tempo of forest change in Greater Yellowstone in a warmer world with more fire. *Ecological Monographs*. 2022. Vol. 92. № 1. id: e01485. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecm.1485>
 21. Holuša J., Koreň M., Berčák R., Resnerová K., Trombik J., Vaněk J., Szczygieł R., Chromek I. A simple model indicates that there are sufficient water supply points for fighting forest fires in the Czech Republic. *International journal of wildland fire*. 2021. Vol. 30. №. 6. P. 428–439. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF20103>
 22. Wilson N., Bradstock R., Bedward M. Detecting the effects of logging and wildfire on forest fuel structure using terrestrial laser scanning (TLS). *Forest Ecology and Management*. 2021. Vol. 488. id: 119037. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119037>

Стаття надійшла до редакції 20.09.2024

Стаття рекомендована до друку 18.11.2024

L. F. CHERNOGOR¹, DSc (Physics and Mathematics), Prof.,

Corresponding Member of NAS of Ukraine,

Head of the Space Radio Physics Department

e-mail: Leonid.F.Chernogor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5777-2392>

A. N. NEKOS¹, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

e-mail: alnekos999@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

G. V. TITENKO¹, PhD (Geography),

Head of Karazin Institute of Environmental Sciences

e-mail: titenko@karazin.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8477-0672>

L. L. CHORNOHOR¹,

Student of Karazin Institute of Environmental Sciences

e-mail: L.L.Chornohor@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-8850>

¹V. N. Karazin Kharkiv National University,

4, Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

PARAMETERS AND ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF CATASTROPHIC FIRES IN UKRAINE: MODELING, QUANTITATIVE ESTIMATES

Climatic conditions and the intensification of hostilities in the east of Ukraine in 2024 (August and September) led to the burning of large areas of forests and grasslands. A quantitative assessment of their consequences is necessary.

Methods. System analysis, multifactorial analysis, mathematical modeling.

Purpose. Calculation of the main parameters of fires in the ecosystems of Ukraine, which took place in the summer-autumn of 2024, and assessment of their ecological consequences.

The results. The main energy parameters of forest and grass fires caused by the summer heat and military operations in Ukraine in 2024 were calculated. In late August - early September, virtually the entire east of Ukraine was burning. A total of about 43,000 hectares were engulfed in flames in Ukraine. About 500 kt of wood and 350 kt of grass burned. Emissions of smoke, soot, and nitrogen oxides exceeded the background values of the masses of these substances many times over. The injection of polyaromatic hydrocarbons exceeded the background values by 570, PM 2.5 microparticles by 14 times, and the power of acoustic radiation by 30 times. CO, SOx emissions

did not exceed several tens of percent. The spread of fires in ecosystems, in addition to military operations, was facilitated by high air temperature, lack of rain and wind.

Conclusions. Calculations and mathematical modeling showed that the consequences of the burning of forests and grasslands in Ukraine in 2024 were catastrophic. It is substantiated that most of the fires were caused by military actions on the territory of Ukraine. The ecological situation became significantly more complicated under the influence of a dust storm that came from Kazakhstan and Central Asia. The short-term and long-term environmental consequences are very significant.

KEYWORDS: forest fire, grass burning, ecosystem, energy parameter, injection, combustion product, chemical element, environmental consequences

References

1. Drysdale, D. (2011). An Introduction to Fire Dynamics, (2nd ed.). Neck. <https://doi.org/10.1029/2012JG002128>
2. Chernogor, L.F., Nekos, A.N., Titenko, G.V., & Chornohor, L.L. (2021). Ecological Consequences of Large-Scale Forest Fires in Ukraine in Spring – Summer – Autumn 2020. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (24), 79–90. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-07> (In Ukrainian)
3. Chernogor, L.F., Nekos, A.N., Titenko, G.V., & Chornohor, L.L. (2021). Ecological Consequences from Forest Burning in the Northern Hemisphere in 2020: Results of Modeling and Quantitative Calculations. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (25), 42–54. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-04> (In Ukrainian)
4. Chernogor, L.F., Nekos, A.N., Titenko, G.V., & Chornohor, L.L. (2022). Simulation of large-scale forest fire parameters. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (26), 43–54. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-04> (In Ukrainian)
5. Chernogor, L.F., Nekos, A.N., Titenko, G.V., & Chornohor, L.L. (2022). Mathematical models for estimate of the ecological consequences of the impact of the pyrogenic factor on forest ecosystems. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (27), 51–62. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-04> (In Ukrainian)
6. Chernogor, L., Nekos, A., Titenko, G., & Chernogor, L. (2020). Ecological consequences of the large forest fires in the northern hemisphere during 2020. Sustainable development of natural and economic systems: theory, methodology, and practice: collective monograph. Horoshkova, L. & Khlobystov, Ie. (Eds.) Poland: Bilostok. 259-276. ISBN 978-83-953142-4-7
7. Khodakov V.E., & Zharikova M.V. (2011). Forest fires: methods and research. Kherson: Hryn D.S. (In Ukrainian)
8. Vacchiano G., Foderi C., Berretti R., Marchi E., & Motta R. (2018). Modeling anthropogenic and natural fire-ignitions in an inner-alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(3), 935–948. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-935-2018>
9. Buts, Y.V. (2018). Systematization of processes of pyrogenic relaxation of ecosystems under conditions of anthropogenic load. *Ecological safety*, 1(25), 7–12. <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.7-12> (In Ukrainian)
10. Krainiuk, O.V., Buts, Y.V., & Nekos, A.N. (2019). Natural fire in the Rivne Reserve and its analysis. VinSmartEco: materials of the international scientific and practical conference (Vinnytsia, May 16-18, 2019). Vinnytsia, 25-26. (In Ukrainian)
11. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., & Ponomarenko, R. (2019). Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 28(3), 409–416. <https://doi.org/10.15421/111938>
12. Buts, Y.V. (2020). Scientific and methodological bases of relaxation of ecosystems under anthropogenic load of pyrogenic origin. Master's thesis. Sumy. Retrieved from <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266> (In Ukrainian)
13. Adámek, M., Jankovská, Z., Hadincová, V., Kula, E., & Wild, J. (2018). Drivers of forest fire occurrence in the cultural landscape of Central Europe. *Landscape Ecology*. 33(11), 2031–2045. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0712-2>
14. Hebert-Dufresne, L., Pellegrini, A.F.A., Bhat, U., & Redner, S. (2018). Edge fires drive the shape and stability of tropical forests. *Ecology letters*, (6), 794–803. <https://doi.org/10.1111/ele.12942>
15. Rodríguez Trejo, D.A., Martínez Muñoz, P., & Martínez Lara, P.J. (2019). Fire effects on the trees of a tropical pine forest and a tropical dry forest at Villaflores, Chiapas, Mexico. *Ciência Florestal*. 29(3), 1033–1047. <https://doi.org/10.5902/1980509833952>
16. Zhang, G., Wang, M., & Liu, K. (2019). Forest Fire Susceptibility Modeling Using a Convolutional Neural Network for Yunnan Province of China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10(3), 386–403. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00233-1>

17. McLauchlan, K.K., Higuera, P.E., Miesel, J., Rogers, B.M., Schweitzer, J., Shuman, J.K., Tepley, A.J., Varner, J.M., Veblen, T.T., Adalsteinsson, S.A., Balch, J.K., Baker, P., Batllori, E., Bigio, E., Brando, P., Cattau, M., Chipman, M.L., Coen, J., Crandall, R., Daniels, L., Enright, N., Gross, W.S., Harvey, B.J., Hat-ten, J.A., Hermann, S., Hewitt, R.E., Kobziar, L.N., Landesmann, J.B., Loranty, M. M., Maezumi, S.Y., Mearns, L., Moritz, M., Myers, J.A., Pausas, J.G., Pellegrini, A.F.A., Platt, W.J., Roozeboom, J., Safford, H., Santos, F., Scheller, R.M., Sherriff, R.L., Smith, K.G., Smith, M.D., & Watts, A.C. (2020). Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108(5), 2047–2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
18. Kelly, A.J., & Hodges, K.E. (2020). Post-fire salvage logging reduces snowshoe hare and red squirrel densities in early seral stages. *Forest Ecology and Management*, 473, 118272. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118272>
19. Coogan, S.C., Daniels, L.D., Boychuk, D., Burton, P.J., Flannigan, M.D., Gauthier, S., Kafka, V., Park, J.S., & Wotton, B.M. (2021). Fifty years of wildland fire science in Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(2), 283–302. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0314>
20. Turner, M.G., Brazian, K.H., Hansen, W.D., Hoecker, T.J., Rammer, W., Ratajczak, Z., Westerling, A.L., & Seidl, R. (2022). The magnitude, direction, and tempo of forest change in Greater Yellowstone in a warmer world with more fire. *Ecological Monographs*, 92(1), e01485. <https://doi.org/10.1002/ecm.1485>
21. Holuša, J., Koreň, M., Berčák, R., Resnerová, K., Trombik, J., Vaněk, J., Szczygieł, R., & Chromek, I. (2021). A simple model indicates that there are sufficient water supply points for fighting forest fires in the Czech Republic. *International journal of wildland fire*, 30(6), 428–439. <https://doi.org/10.1071/WF20103>
22. Wilson, N., Bradstock, R., & Bedward, M. (2021). Detecting the effects of logging and wildfire on forest fuel structure using terrestrial laser scanning (TLS). *Forest Ecology and Management*, 488, 119037. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119037>

The article was received by the editors 20.09.2024

The article is recommended for printing 18.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-07>

UDC: 502.15:712.4]:911.375.5(437.6)

N. V. MAKSYMENKO, DrS (Geography), Prof.,

Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management,

e-mail: maksymenko@karazin.ua

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

V. N. Karazin Kharkiv National University,

4, Svobody Square Kharkiv, 61022, Ukraine

M. BIHUŇOVÁ, PhD,

Engineer of the Horticulture and Landscape Engineering Faculty,

Institute of Landscape Architecture

e-mail: bihunova.maria@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1826-1172>

Slovak University of Agriculture in Nitra,

Tulipánová 7, Nitra 949 01, Slovakia

GREEN INNOVATIONS IN URBAN LANDSCAPE: OPPORTUNITIES TO USE SLOVAKIA'S EXPERIENCE

Purpose. To analyze the results of an internship at the Slovak Agricultural University in Nitra, which was aimed at studying the possibility of introducing green industrial innovations into urban landscapes under the project of the International Visegrad Fund "Green Innovations in Urban Landscape Ecology".

Results. The experience of creating an interactive living laboratory of green innovations "ReImaGIne Living Lab" was studied and the possibilities of implementing this methodology in Kharkiv were analyzed. The scenarios of transformation of open space into a sustainable multifunctional city park are investigated. The project on the use of green and blue infrastructure elements in the construction of the Nivy bus station in Bratislava is analyzed and the availability of green infrastructure elements in Slovak cities is assessed.

Conclusion. In order to implement green innovations in Ukraine, which are widely represented in Slovakia, it is necessary to modernize the training of specialists through new teaching models, as well as the introduction of the principles of sustainable development in the educational process.

KEYWORDS: *green infrastructure, innovation, urban landscape, project, visegrad fund, sustainable development, educational process*

Як цитувати: Maksymenko N. V., Bihuňová M. Green innovations in urban landscape: opportunities to use Slovakia's experience. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 95-112. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-07>

In cites: Maksymenko, N. V., & Bihuňová, M. (2024). Green innovations in urban landscape: opportunities to use Slovakia's experience. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (42), 95-112. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-07>

Introduction

The scientific direction of studying the Concept of Green Infrastructure in Kharkiv began to be implemented after the implementation of the International Visegrad Fund project "GAP - Green and Blue Infrastructure in Post-Soviet Cities: Learning from the Legacy and Linking to the V4 Experience", in which the authors of this article participated. Karazin University has carried out a number of scien-

tific studies to develop the project, the results of which were presented at conferences and published. The works are mainly devoted to theoretical foundations of the green infrastructure concept [1 – 6], analyzing the current situation in the cities of Ukraine and Europe with the provision of green infrastructure to the population [6 – 12], as well as assessment of individual green infrastructure components and

© Maksymenko N. V., Bihuňová M., 2024



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

their environmental quality [13 – 25]. At the same time, there is a need to change the current state of affairs for the better.

The Faculty of Horticulture and Landscape Engineering at the Slovak Agricultural University in Nitra is a European leader in this field. The study of methodologies and experience in implementing new green infrastructure projects is the main prerequisite for developing a program for the post-war restoration of urban landscapes in Kharkiv (Ukraine). To do this, it is necessary to train specialists who are famil-

iar with the methods and techniques of forming green space in urban landscapes. That is why we have implemented an educational and scientific internship project. **The main purpose** of the article is to analyze the results of an internship at the Slovak Agricultural University in Nitra, which was aimed at studying the possibility of introducing green industrial innovations into urban landscapes under the project of the International Visegrad Fund "Green Innovations in Urban Landscape Ecology".

Results and discussion

The study of the experience of studying, modeling and practical implementation of the green infrastructure concept at the Slovak Agricultural University in Nitra can be divided into 3 components:

1. Acquaintance with the structure, specifics and best practices of the faculties, institute and university as a whole;
2. Learning - science – practice.

Let's take a closer look at each internship site and consider the possibilities of using their experience to develop green innovations in Ukraine.

1. Acquaintance with the structure, specifics and best practices of the faculties, institute and university as a whole

1.1. Institute of Landscape Architecture. At the Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, the territories adjacent to the building are widely used to practice gardening and agricultural skills. I inspected the experimental sites that are actively used in research

on horticulture and landscape management (Fig. 1).

"ReImaGIne Living Lab". According to the internship program, I got acquainted with the experience of creating an interactive living laboratory of green innovations "ReImaGIne Living Lab" (Fig. 2). It was created and operates with the support of Norwegian grants to innovate the landscape and garden architecture curriculum through new learning models based on the principles of "project-based research," "co-design," and "evidence-based design."

1.2. Visit to the Envirocentrum. Education and awareness raising in the field of climate change and extreme weather events is the main mission of the new Envirocentrum, which was opened on April 19, 2024, at the Faculty of Horticulture and Landscape Engineering (FZKI) of the Slovak University of Agriculture.



Fig. 1 – Experimental plots around the building of the Institute of Landscape Architecture

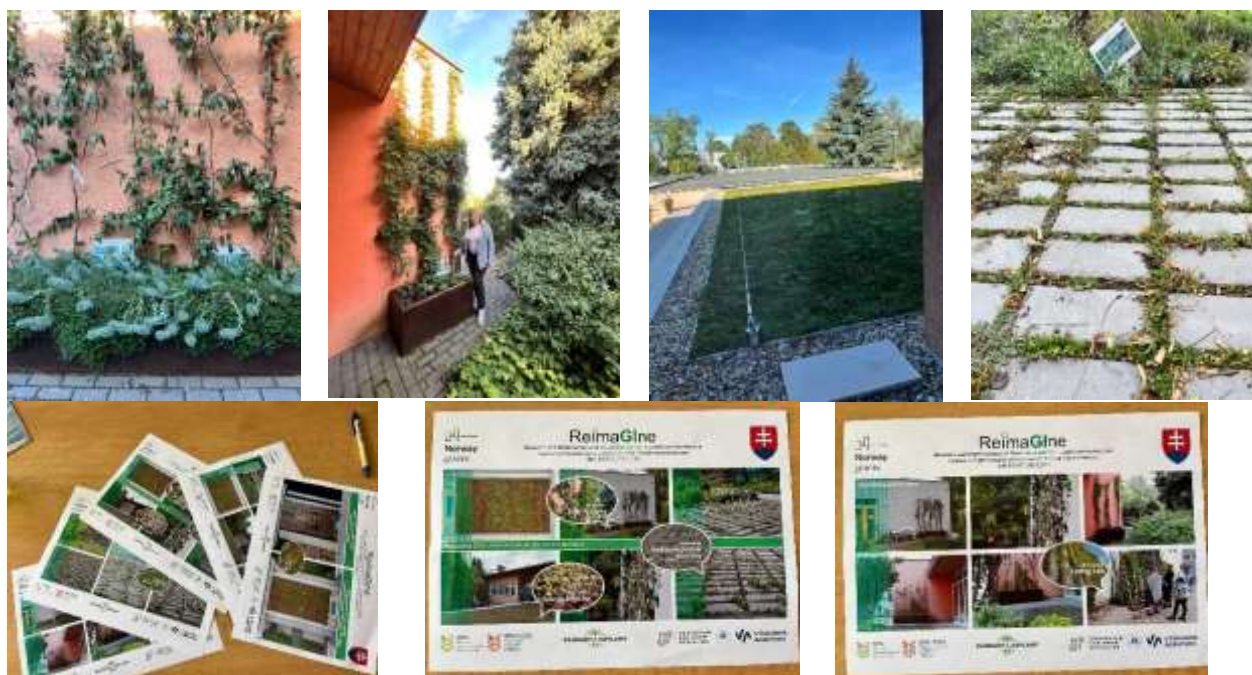


Fig. 2 – Interactive living laboratory of green innovations “ReimaGine Living Lab” by the ReImaGine project with the support of Norwegian grants

The main theme of the Envirocentrum is adaptation to climate change, which causes weather extremes such as droughts and floods. It serves not only students of the faculty and university, but also high school and elementary school students who conduct experimental excursions here. It is also open to the professional public. They can learn about the functions and impact of water on the environment through various models and demonstrations. For example, they will learn how a river channel changes over time or how a flood wave is formed. The Envirocentrum conducts meteorological observations and experiments on the rate of rainwater infiltration through different types of soil, with different vegetation cover, etc. (Fig. 3.).

The excursion to Envirocentrum inspired me to implement similar ecological models for the educational process in my country.

1.3. *Visiting to the AgroBioTech Research Center SUA in Nitra.* The AgroBioTech Research Center SUA in Nitra was established within the project “Creation of the research center AgroBioTech” ITMS 26220220180. This university research center was realized with the support of EU funds

from the Operational Program: Research and Development.

The AgroBioTech Research Centre (ABT RC) of the Slovak University of Agriculture in Nitra is a university-wide, specialized facility which performs concentrated innovative research in the relevant fields aimed at conducting new methods and procedures in research, especially within applied research, with the express goal of transferring its results into practice.

The ABT RC is equipped with state-of-the-art research infrastructure, thereby enabling the centre to conduct research at the highest level, applicable in practice, and consistent with the core needs of the priorities of agrobiological, the processing technology of agricultural products and the agri-food industry, biotechnology, genetic technologies, agroecology, bioenergetics, and bioeconomy.

Prof. Miroslava Kačániová introduced the work of the laboratories and showed me how they conduct the experiments (Fig. 4):

- Laboratory of Genetic Analysis
- Laboratory of Microscopic Analysis
- Laboratory of Spectroscopic Analysis
- Laboratory of Cell biology and cytogenetics.



Fig. 3 – Excursion to Envirocentrum



Fig. 4 – The AgroBioTech Research Center SUA in Nitra

1.4. Botanical Garden. Botanical Garden, which I regularly visited throughout my internship, is the place to study biological diversity, conduct research and educational work at the university. This gave me the opportunity to observe flora in different weather conditions and get acquainted with the work of pollinating insects, in particular *Macroglossum lapidoptera*.

The Botanical Garden of the Slovak Agricultural University in Nitra is a model of a natural space organization that combines educational, scientific and recreational func-

tions. The garden space is designed taking into account the principles of landscape architecture aimed at preserving biodiversity, supporting ecosystem services and ensuring comfort for visitors. Not only university students, but also all visitors have the opportunity to increase their knowledge about nature, since all areas have information stands (Fig. 5).

Key elements of space organization

Thematic sectors – The garden is divided into several thematic zones, each of which represents a separate group of plants or ecosystem.



Fig. 5 – Information support for visiting the Botanical Garden

For example, there are sectors with local flora, as well as with exotic plants, which introduce visitors to the richness of the plant world. Such a division not only facilitates navigation, but also creates conditions for educational activities (Fig. 6).

– *Water elements* – The garden has a small reservoir, which serves both to aesthetically improve the space and to maintain biodiversity. Water elements also create a favorable microclimate, humidifying the air and adding coolness on hot days (Fig. 7).

– *Path and navigation systems* – The paths are located in such a way that visitors can freely move between different sectors without disturbing the natural landscape. The navigation system includes information stands and signs that help navigate the garden and learn more about each plant zone.

– *Educational and research areas* – An educational trail with eighteen plant models. The nature trail presents innovative approaches to the design and care of herbaceous communities to the public, taking into account climate change. Information stands are placed for those who

do not come on the excursion, but wish to explore the nature trail without a guide. In some parts of the garden, there are well-equipped areas for conducting scientific research and practical classes for students. Experiments on plant acclimatization, research of soil and climatic conditions are carried out here, enabling students to gain practical experience (Fig. 8).

– *Recreational areas* – Cozy places with comfortable benches, gazebos and observation decks have been created for visitors to relax. These areas allow you to enjoy the views of the garden and create pleasant environment for relaxation. A logical extension of the recreational area of the Botanical Garden is an aviary for ungulates, which can be observed (Fig. 9).

The garden maintains an ecological balance through sustainable plant care methods. A rainwater harvesting system provides irrigation during dry periods, and organic fertilizers and compost contribute to the natural nutrition of the soil. In addition, the garden widely uses local plants, which minimizes the need for water and fertilizers.



Fig. 6 – Thematic sectors



Fig. 7 – Water elements



Fig. 8 – Educational and research zone



Fig. 9 – Recreation area

The university's Botanical Garden plays an important role in environmental education, offering students and researchers conditions for practical training. It is a platform for studying flora, ecological processes, as well as for raising public awareness of the importance of preserving biodiversity.

2. Education - Science - Practice

This internship area is dedicated to studying the experience of scientific research and practical work carried out by the institute, its employees, graduates and partners - landscape architects. In addition, during these activities, an information bank was formed on the forms, methods and means of organizing green infrastructure in the urban landscape.

2.1. Visiting lecture to the resort of Sliač. An excursion to the Sliač resort led by Prof. Ing. Viera Paganová, PhD, for master's and

postgraduate students allowed them to get acquainted with the natural conditions of the resort and methods of maintaining them.

The Sliač resort in Slovakia is a unique example of combining the natural environment with medical infrastructure, emphasizing the importance of preserving natural landscapes for maintaining human health. Located in a picturesque valley between the cities of Zvolen and Banská Bystrica, Sliač is known for its mineral springs and favorable climate.

Key natural features

- Mineral springs – The resort is famous for its healing springs, in particular, carbonic waters with temperatures of about 33°C. These springs contain a unique composition of minerals, which makes them especially useful in treatment of cardiovascular diseases. The landscape design around the springs preserves its natural

appearance and creates an atmosphere of tranquility (Fig. 10).

- **Forest landscapes** – The resort is surrounded by mixed forests rich in coniferous and deciduous tree species, which form a natural barrier, protecting the area from noise and pollution. These forests create optimal conditions for recreation, providing clean air and shade for walks even on hot days (Fig. 11).

- **Garden and park infrastructure** – The landscape design of the resort includes various walking routes, gazebos and recreation areas, which are inscribed in the natural relief.

Architectural and landscape solutions

- **Functional zones** – The resort is divided into zones for active recreation and quiet walks. Landscape architects have made the

most of the natural relief, creating routes with panoramic views. This contributes to health improvement both through physical activity and through aesthetic pleasure.

- **Greening and landscape art** – Landscape elements, such as flower arrangements, sculptures and water bodies, are located in such a way as to harmoniously complement the natural landscapes. At the same time, the principles of sustainable landscaping minimizing interference with the ecosystem and ensuring the durability of the landscape, are observed here.

- **Eco-educational routes** – The resort offers educational routes where visitors can get acquainted with the ecological features of local ecosystems and microclimate. This is an important aspect that increases the environmental



Fig. 10 – Mineral waters



Fig. 11 – Forest and garden landscapes of the Sliač resort

awareness of vacationers and contributes to the preservation of nature.

Sliač is an example of preserving the natural environment in conditions of developed recreational infrastructure. The resort's landscape solutions reflect a modern approach to nature management, which contributes to environmental protection and also creates favorable conditions for recreation and treatment.

2.2. Seminar "*The Right Tree in the Right Place*". Participation in the seminar, held on October 17 by Ing. Marcel Raček, PhD. as

part of the activities of the public organization Association of Garden Design and Landscaping (www.szkt.sk) under the leadership of Ing. Mária Bihuňová, PhD, provided a lot of information regarding green infrastructure. The seminar discussed issues of urban green infrastructure, in particular projects aimed at improving the quality of life in cities through greening (Fig. 12). The seminar covered issues of landscape architecture, organization of horticultural exhibitions, quality control of trees, and consideration of potential risks when transporting plant material.



Fig. 12 – Seminar "Spravny strom na spravne miesto"

The second part of the seminar – practical – was held in the park area of Nitra. The park is an excellent example of modern green space that harmoniously combines the natural environment with cultural and social functions. Located near the historic center, it serves as an important place of recreation for residents and guests of the city, as well as a platform for cultural events and educational programs (Fig. 13).

Key characteristics of the park:

– *Diversity of plant associations* – the park has created several botanical zones, where local and foreign plant species are presented.

Thanks to this, the park contributes to the maintenance of local biodiversity, and provides visitors with the opportunity to get acquainted with the diversity of flora that enriches the ecosystem of the urban environment.

– *Water elements* – the park has natural and artificial reservoirs, which not only add aesthetics, but also provide the necessary microclimate, reducing the temperature in summer. These water bodies also serve as important ecosystems for waterfowl, insects and other species, which enriches the ecological environment.



Fig. 13 – Practical lesson in the park

– *Infrastructure for recreation and education* – there are walking paths, bicycle routes, playgrounds and recreation areas for different age groups.

– *Green architecture* – the park is equipped with elements of green architecture, such as environmentally friendly benches, solar lighting, as well as garbage cans for waste sorting. This contributes to the environmental education of visitors and is an example of a sustainable approach to the development of urban infrastructure.

Thus, the park in Nitra is an example of how a modern approach to landscape architecture and ecological planning can create sustainable urban spaces that contribute to an improved quality of life. Water features and green infrastructure make this park an exemplary place that supports biodiversity and promotes environmental awareness among the population.

2.3. Excursion to Bratislava

The educational excursion to Bratislava led by Ing. Mária Biľušová, PhD and Doc. Ing. arch Roberta Štěpánková, PhD for students and

postgraduates was aimed at demonstrating ecological solutions in the urban landscape, in particular the bowl park, the ecological roof of the "Nivy" bus station, the arrangement of green roofs in business districts and the "Smart City" concept.

The first location was a city park organized according to the principle of an inverted pyramid. It is located below the level of the surrounding urban space. It looks like a bowl, on the flat bottom of which there are green spaces, ponds, paths and places for sports training. The park is surrounded by green slopes and stairs along the perimeter, adapted for seating of vacationers. The park serves as a place for relaxation, walks with children and sports. In addition, it creates a comfortable microclimate in the urban environment (Fig. 14).

According to the previous internship program, we investigated the ecological roof of the bus station "Nivy" in Bratislava – an innovative example of using green roofs to integrate ecological infrastructure into the urban environment. Located in a new district of Bratislava, this roof combines recreational, ecological and energy-saving functions (Fig. 15).



Fig. 14 – Park Jama

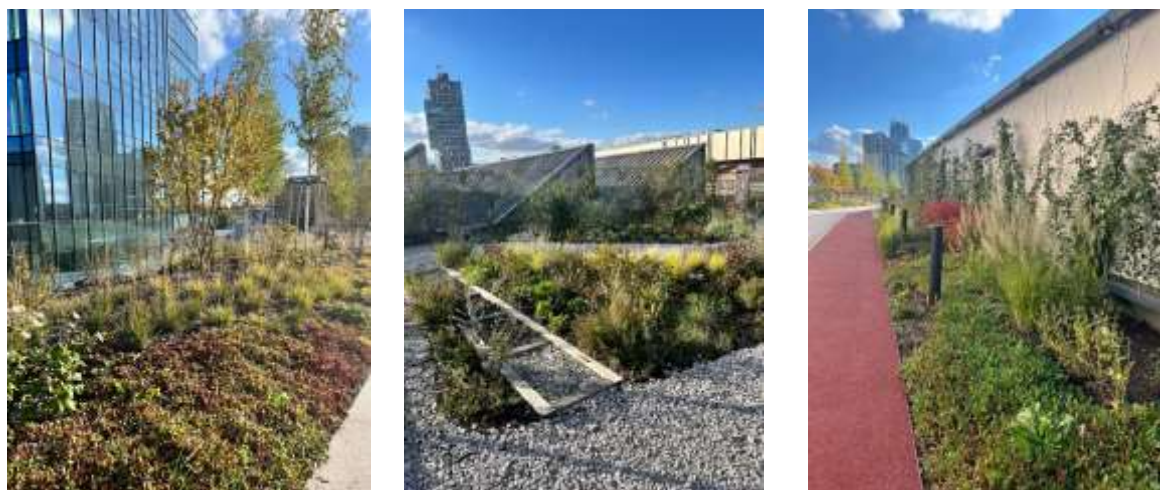


Fig. 15 – Ecological roof of the Nivy bus station in Bratislava
Key features of an ecological roof

- Biodiversity and greenery – the roof is covered with a variety of plants, including native species, which provide habitat for insects and birds. Thanks to this, the roof supports local biodiversity, even in urban conditions. Greening also creates a natural barrier that absorbs noise and dust, improving air quality.

- Water management – the roof is equipped with a rainwater collection system, which prevents excessive water from entering the city sewer system. The water is used to irrigate the green areas, and some of it evaporates, cooling the air and reducing the temperature on the roof. This helps reduce the urban heat island effect.

- Energy conservation – green areas on the roof help reduce the cost of air conditioning the building. Vegetation provides thermal insulation, which is an important factor in reducing energy consumption. It also increases the comfort of station visitors and helps reduce the carbon footprint.

- Recreational area for city residents – the roof is designed to be attractive to visitors: there are pedestrian paths, places to relax, as well as small corners with observation decks. This creates a unique space where residents can enjoy a green environment right in the city center, which contributes to improving the quality of life.

The ecological roof of the Nivy bus station is an excellent example of how green innovations can be effectively integrated into the transport infrastructure. It contributes to the maintenance of urban biodiversity, improves

air quality, and reduces the heat load on the city. In addition to the environmental benefits, this project increases the environmental awareness of the population and popularizes the idea of sustainable development, offering residents and visitors access to green space even in densely built-up areas.

During the excursion to Bratislava, we visited a new district of the city built according to the Smart City concept. The main ecological component of the district has become underground parking lots, the roofs of which are green zones of the inter-building space (Fig. 16).

From the engineering point of view, the arrangement of this territory requires significant efforts of architects and landscape architects, since:

- It is necessary to create a smart system for draining excess rainwater;
- To equip a smart system for drip irrigation of vegetation;
- To select plant material, namely the composition of the grass cover, which is able to withstand significant anthropogenic load, to be natural for this territory;
- To select and plant a tree stand with restrictions for the root system, due to the presence of underground parking;
- To equip a playground using environmentally friendly materials, taking into account drainage and avoiding the possibility of injury to children.

An expert Ing Jana Adámková, PhD spoke about all these design features



Fig. 16 – Smart city

2.4. *Presentations from Slovak and Czech landscape architects.* Meetings with professionals - practitioners, who presented their projects on urban greening in Slovakia and blue-green infrastructure in Vienna (Austria).

The presentation by the University of Nitra graduate **Ing. Júlia Straňáková**, who works at **RUDBECKIA**, describes key aspects of landscape architecture in urban spaces in Slovakia, including work with private, reserved and public areas (Fig. 17). It covers different types of locations: from private gar-

dens and corporate sites to public parks, squares, playgrounds and historical areas.

Key elements and stages of design:

– Community participation – the speaker emphasizes the importance of a participatory process in urban environment management, involving the community through surveys and public discussions. This makes it possible to collect feedback from residents, take into account their needs and wishes to create a comfortable urban environment.



Fig. 17 – At a meeting with Ing. Júlia Straňáková

- Design requirements – The projects encompass an integrated approach to urbanism, architecture and modular green infrastructure elements. In particular, it includes the provision of recreation areas, playgrounds and sports grounds, as well as prioritizing environmental elements such as mod-green infrastructure for water management.

- Preparatory work and surveys – Significant attention is paid to geodetic, hydrogeological and dendrological surveys to accurately analyze the soils, groundwater and tree conditions in the project area. Important steps include data collection, pollution assessment, and determining safe conditions for green infrastructure development.

- Detailing of zones and concepts – Projects include the development of graphic concepts for zones for various purposes: playgrounds, sports areas, recreation areas, and places for social events and meetings. These zones are designed for different age groups, including the needs of people with limited mobility.

- Reconstruction of historical sites – Special attention is paid to the restoration of historical sites while preserving cultural heritage. Each site is offered a different concept, such as creating symbolic alleys or installing architectural elements reminiscent of the city's history.

The work of the RUDBECKIA design bureau, which was represented by the speaker, demonstrates a systematic approach to creating an environmentally friendly and comfortable urban environment. The use of modern methods of assessment and community involvement creates the basis for the development of functional and environmentally oriented urban spaces that promote social connections and maintain biodiversity.

Presentation “The Blue-Green Transformation of Vienna” by Ing. Petr Forchtgott from the Czech Association of Landscape Architects, demonstrates an innovative approach to the development of the urban environment, in particular by integrating green and blue (water) components into the urban landscape (Fig. 18).



Fig. 18 – Lecture by Ing. Petr Forchtgott (Czech Association of Landscape Architects)

Key components of the transformation:

- Blue-Green Infrastructure – Vienna is actively implementing solutions that combine greenery with water management, creating adaptive spaces that help reduce the effects of climate change, such as rising temperatures and frequent flooding.

- Parks and green spaces system – The presentation highlights various parks (e.g. Helmut-Zilk-Park, Rudolf-Bednar-Park) that serve as recreational areas and function as ecological corridors. These areas support biodiversity and create conditions for efficient cooling of the city.

- Innovative architectural solutions – Particular attention is paid to facilities that combine business and sustainability, such as the IKEA City Store with a green roof that simultaneously serves to reduce energy consumption and improve air quality. Such projects contribute to the greening of urban areas and infrastructure.

- Restoration of water bodies – The project includes measures to preserve and clean up water bodies such as Donauinsel. This not only supports the recreational function of the water bodies, but also improves the state of local ecosystems.

– Sustainable urban spaces – Districts such as Seestadt Aspern are being developed as examples of “city-within-a-city” where the principle of ecological balance is paramount. Such projects take into account accessibility, sustainability, climate change adaptability, and the integration of public spaces for social interaction.

Vienna's Blue-Green Transformation project is an exemplary example of an integrated approach to creating a sustainable urban environment where technology and nature-based solutions contribute to a better quality of life. This presentation can serve as an inspiration for other cities seeking to combine environmental and social goals to shape a sustainable future.

Conclusions

The internship in Nitra was an extremely useful experience for deepening my knowledge in the field of environmental science and landscape architecture. The program was carefully designed and allowed me

to get acquainted with modern European approaches to environmental monitoring, organization of urban green infrastructure and the use of landscape architecture to improve the quality of life in urban areas.

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.

References

1. Hrechko, A. (2021). Possibilities of implementing a green-blue infrastructure strategy to solve the problem of drainage in small towns. In *Environmental protection: collection of scientific articles of the XVII All-Ukrainian scientific Taliev readings* (pp. 29-30). V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2021/11/taliev-2021.pdf> (in Ukrainian)
2. Gololobova, O. O., & Nevecherya, O. V. (2023). Implementation of modern environmental greening trends for the student park design project. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (28), 58-70. URL <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-05> (in Ukrainian).
3. Hrechko, A.A. (2023). The use of green infrastructure elements for biodiversity conservation in cities. *Proceedings of the V (XVI) International Conference of Young Scientists Scientific: Basis for the conservation of biotic diversity* (pp.23-24). Lviv. (in Ukrainian).
4. Maksymenko, N. V., & Burchenko, S. V. (2019). Theoretical Basis of the Green Infrastructure Strategy: International Experience. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (31), 16-25. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-02> (in Ukrainian).
5. Gololobova, O. O., & Gololobov, V. V. (2024). The use of cultivars of the *Berberis thunbergii* species for the purposes of green construction. *Prceedings of the III International Scientific and Practical Conference: Green Construction*, (2024, April 16-17, pp. 97-99). Kyiv, National University of Construction and Architecture. (in Ukrainian).
6. Green & Blue infrastructure in post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience. (2022). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18778>
7. Kleshch, A.A., Hrechko, A.A., & Kuraksa, D.A. (2022). Green infrastructure of Chuhuiv city in the conditions of war: main changes and general characteristics of the current state. *Environmental protection: collection of scientific articles of the XVIII All-Ukrainian scientific Taliev readings* (pp. 91-95). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2022/12/taliev-2022.pdf> (in Ukrainian).
8. Lenevych, O. I., Hrechko, A. A., & Martyniuk, M. (2021). Green and blue infrastructure of small towns (on the example of Yaremche, Ukrainian Carpathians). *Environmental protection: collection of scientific articles of the XVII All-Ukrainian scientific Taliev readings* (pp. 107-111.). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2021/11/taliev-2021.pdf> (in Ukrainian).
9. Gololobova, O. O., Goncharova, A. E., & Rudenko, D. M. (2021). Implementation of modern approaches to landscape design for the formation of green infrastructure of the city of Kharkiv. *Environmental protection:*

- collection of scientific articles of the XVII All-Ukrainian scientific Taliev readings (pp. 12-14.). V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2021/11/taliev-2021.pdf> (in Ukrainian).
10. Gololobova O. O., & Gololobov V. V. (2024). Proposals for the formation of compositional, stylistic and coloristic organization of the urban landscape. International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of Greening of Settlements: Education, Science, Art of Landscape Formation", June 06-07, Ternopil Regional Communal Institute of Postgraduate Pedagogical Education. P. P.113-115. (in Ukrainian).
 11. Maksymenko, N. V., Titenko, G. V., & Aleksandrova, D. O. (2023). Features of the of the Katowice city green infrastructure: problems and prospects. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (28), 42 - 57. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-04> (in Ukrainian)
 12. Hrechko A. A. (2023). GIS modeling of green infrastructure of small towns for the revitalization of post-military urban landscapes. Sustainable development: environmental protection. Energy saving. Balanced use of natural resources. VIII International Youth Congress, (2023, March 02-03, p. 139), Ukraine, Lviv: Lviv Polytechnic National University, Retrieved from <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2023/feb/29834/zbirnikviiiimizhnarodniymolodizhnykonnegres02-04032023.pdf> (in Ukrainian).
 13. Hrechko, A. A. (2022). Experience and benefits of using green roofs as an element in green infrastructure. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (26), 32-42. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-03> (in Ukrainian).
 14. Kalynovskyi, O., & Hrechko, A. (2022). Inventory of green areas ensuring functioning of green infrastructure. *Proceedings of the V International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence – 2022 (student sections)*, Praha, OKTAN PRINT, 23–25. <https://doi.org/10.46489/CPIS-070422>
 15. Hrechko, A. (2024). The impact of military operations on the elements of green infrastructure in the cities of Kharkiv region. *Proceedings of the III International Internet Conference: Actual problems of formal and non-formal education in environmental monitoring and conservation*, (Kharkiv, 2024, April 26, pp. 29-30). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/06/akt-probl-form-i-neform-osv-z-monit-dovk-ta-zapov-spr-2024.pdf> (in Ukrainian).
 16. Hrechko, A. A., Korobkina, N., & Burchenko, S. (2024). Green stops as an element of urban green and blue infrastructure. Environmental protection: a collection of scientific articles of the XX All-Ukrainian scientific Taliev readings. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 108-112 c. (in Ukrainian).
 17. Maksymenko, N., Burchenko, S., Utkina, K., & Buhakova, M. (2021). Influence of green infrastructure objects for quality of surface runoff (on the example of green roofs in Kharkiv). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 274-284. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-20>
 18. Gololobova, O., Telegina, N., & Tolstyakova, V. (2015). Effect of silicon- potassium foliar application on content of nutrients and the detox-effect in urban green areas. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (3-4(24), 103-109. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5563> (in Ukrainian).
 19. Gololobova, O., Telegina, N., & Tolstyakova, V. (2017). Detox Effect From Si-K Foliar Top-Dressing In Green Urban Plantations Of Aesculus Hippocastanum L. And Tilia Cordata Mill. AGROBIODIVERSITY for improving nutrition, health and life quality. Nitra, Slovakia, №. 1. P. 133–137. <http://dx.doi.org/10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.133-137>
 20. Maksymenko, N. V., Gololobova, O. O., Koval, I. M., & Kalynovskyi, O. I. (2021). Monitoring of the Condition of Green Plantations in Shevchenkivskyi District of Kharkiv (on The Example of Bittle Chestnut (Aesculus Hippocastanum L.). *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (36), 56-71. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-05> (in Ukrainian).
 21. Maksymenko, N. V., Burchenko, S. V., Shpakivska, I. M., & Krotko, A. S. (2022). Evaluation of the carbon capacity of single breed wood stands – elements of the green infrastructure of Kharkiv. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (38), 73-84. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-38-07> (in Ukrainian).
 22. Gololobov, V. V., Koval, I. M., & Gololobova, O. O. (2023). Revitalization of regular landscapes of the Arboretum exposition zone of the State Biotechnology University. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (40), 66-84. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-06> (in Ukrainian).

23. Nevecherya O., & Gololobova, O. (2023). Alternative options for the formation of the park's biological diversity. *Proceedings of the VI International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence – 2023* (student sections, pp. 369-376). Praha, OKTAN PRINT/ <https://doi.org/10.46489/ISCSAI-23-30>
24. Maksymenko, N. V., & Gololobova, O. O. (2023). Ecological and aesthetic aspects of the organization of public use areas by means of green infrastructure. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, 39, 99-109. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-09> (in Ukrainian)
25. Burchenko, S., Hrechko, A., Korobkina, N. (2024). Development of a chatbot for informing the population about green infrastructure. In *Environmental protection: collection of scientific articles of the XX All-Ukrainian scientific Taliev readings* (pp.226-229). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. (in Ukrainian)
26. Tóth, A., Hus, M., Moravcik, L., Buhunova, M.,...& Evans, Rh. (2024). Zelené inovácie v krajinskej architektúre: Kurikulárny dokument zameraný na inováciu študijného programu krajinná a záhradná architektúra a integráciu zelených priemyselných inovácií. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/382367477_Zelene_inovacie_v_krajinskej_architekture_Kurikularny_dokument_zamerany_na_inovaciju_studijneho_programu_krajinna_a_zahradna_architektura_a_integraciu_zelenych_priemyselných_inovácií#fullTextFileContent
27. Biľušová, M., & Králik, B. (2023). Recreational potential of Radošinka Microregion: landscape – architectural proposal of the cyclo route. In Křtiny Jitka Fialová (Ed.). *Public recreation and landscape protection – with environment hand in hand?*, 232-236. <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-904-4-0232>
28. Paganová, V., & Kuczman, G. (2024). Landscape-Architectural Design in the recreation area Nová Duchonka / Public recreation and landscape protection – with environment hand in hand/ 15 <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-963-1-0189>
29. Biľušová M., Supuka J., Tóth A., Šinka K., & Kuczman G. (2021). Urban Green Areas and Woody Plant Composition: Dwelling Space Quality Factor in the Klokočina Housing Estate. *Ekológia* (Bratislava) 40(1), 80-90. <https://doi.org/10.2478/eko-2021-0010>

The article was received by the editors 12.10.2024

The article is recommended for printing 25.11.2024

Н. В. МАКСИМЕНКО, д-р географ. наук, проф.,

завідувачка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: maksymenko@karazin.ua ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,

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

М. BIĽUŠOVÁ, PhD,

інженер, факультет садівництва і ландшафтної інженерії

Інституту ландшафтної архітектури

e-mail: bihunova.maria@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1826-1172>

Словацький аграрний університет в Нітрі,

вул. Тюльпанова 7, Нітра, 949 01, Словаччина

ЗЕЛЕНІ ІННОВАЦІЇ В МІСЬКОМУ ЛАНДШАФТІ: МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОСВІДУ СЛОВАЧЧИНИ

Мета. Аналіз результатів стажування в Словацькому аграрному університеті в Нітрі що спрямоване на вивчення можливості впровадження зелених індустриальних інновацій в урбо-ландшафти за проектом Міжнародного Вишеградського фонду «Зелені інновації в екології міського ландшафту».

Результати. Вивчено досвід створення інтерактивної живої лабораторії зелених інновацій "ReImaGIne Living Lab" та проаналізовано можливості втілення цієї методики м. Харкові. Досліджено сценарії трансформації відкритого простору в сталий багатофункціональний місь-

кий парк. Проаналізовано проект з використання елементів зеленої та блакитної інфраструктури при спорудженні автовокзалу Nivu в Братиславі та зроблено оцінку доступності елементів зеленої інфраструктури в словацьких містах.

Висновки. Для втілення в Україні зелених інновацій, що широко представлені в Словаччині необхідно модернізувати підготовку фахівців через нові моделі викладання, а також впровадження принципів сталого розвитку в освітній процес.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: зелена інфраструктура, інновації, урболандшафт, проєкт, Вишеградський фонд, сталий розвиток, освітній процес

Список використаної літератури

1. Гречко А. А. Можливості впровадження стратегії зелено- блакитної інфраструктури для вирішення проблеми водовідведення в малих містах. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2021. С. 29-30. URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2021/11/taliev-2021.pdf>
2. Гололобова, О. О., & Невечеря, О. В. Впровадження сучасних екологічних трендів озеленення в дизайн-проект студентського парку. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2023. Вип. 28. С. 58-70. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-05>
3. Гречко А. А. Використання елементів зеленої інфраструктури для збереження біорізноманіття у містах. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності: матеріали V (XVI) міжнар. конф. молодих учених (Львів, 18-19 жовтня 2023 р.)*. Львів, 2023. С. 23-24.
4. Максименко Н. В., Бурченко С. В. Теоретичні основи стратегії зеленої інфраструктури: міжнародний досвід. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Харків: Вид-во ХНУ, 2019. С. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-14>
5. Гололобова О. О., Гололобов В. В. Використання культиварів виду *Berberis thunbergii* для цілей зеленого будівництва. III Міжнародна науково-практична конференція «Green Construction» («Зелене будівництво») 16–17 квітня 2024 року. Київський національний університет будівництва і архітектури. С.97–99.
6. Green & Blue infrastructure in post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience : collective monograph = Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 2022. 400 p. URI: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18778>
7. Клещ А. А., Гречко А. А., Куракса Д. А. Зелена інфраструктура м. Чугуїв в умовах війни: основні зміни та загальна характеристика поточного стану. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна. 2022. С. 91-95. URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2022/12/taliev-2022.pdf>
8. Леневиц О. І., Гречко А. А., Мартинюк М. О. Зелено-голуба інфраструктура малих міст (на прикладі м. Яремче, Українські Карпати). *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. С. 107-111. URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2021/11/taliev-2021.pdf>
9. Гололобова О. О., Гончарова А. Є., Руденко Д. М Реалізація сучасних підходів ландшафтного дизайну для формування зеленої інфраструктури міста Харкова. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. С. 12–14. URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2021/11/taliev-2021.pdf>
10. Гололобова О. О., Гололобов В. В. Пропозиції до формування композиційно-стильової та колористичної організації міського ландшафту. Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, мистецтво формування ландшафту», 06-07 червня 2024 р., Тернопільський обласний комунальний інститут післядипломної педагогічної освіти. С. С.113–115.
11. Максименко Н. В., Тітенко Г. В., Александрова Д. О. Особливості формування зеленої інфраструктури міста Катовіце: проблеми та перспективи. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2023. Вип. 28. С. 42 - 57. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-04>
12. Гречко А. А. ГІС-моделювання зеленої інфраструктури малих міст для ревіталізації постмілітарних урболандшафтів. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансова-*

- не природокористування. VIII Міжнародний молодіжний конгрес, 02-03 березня 2023, Україна, Львів: Збірник матеріалів — Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2023. С.139
13. Гречко А. А. Досвід та переваги застосування зелених дахів як елементу зеленої інфраструктури. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Серія «Екологія»*, 2022, Випуск 26. с. 32-42. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-03>
 14. Kalynovskyi O., Hrechko A. Inventory of green areas ensuring functioning of green infrastructure. Congress proceedings - V International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence – 2022 (student sections), Praha, OKTAN PRINT, 2022, P. 23–25. DOI: <https://doi.org/10.46489/CPIS-070422>
 15. Гречко А. Вплив військових дій на елементи зеленої інфраструктури у містах Харківської області. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи* : зб. тез доповідей III Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 26 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024.с. 29-30. URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/06/akt-probl-form-i-neform-osv-z-monit-dovk-ta-zapov-spr-2024.pdf>
 16. Гречко А. А., Коробкіна Н. Ю., Бурченко С. В. Зелені зупинки як елемент міської зелено-блакитної інфраструктури. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. 108-112 с.
 17. Maksymenko, N., Burchenko, S., Utkina, K., & Buhakova, M. (2021). Influence of green infrastructure objects for quality of surface runoff (on the example of green roofs in Kharkiv). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 274-284. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-20>
 18. Гололобова О. О., Телегіна Н. Є., Толстякова В. В. Дія кремнієво-калійного листового підживлення на вміст біогенних елементів та детокс-ефект в міських зелених насадженнях. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2015. №3–4. С. 103–109. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5563/5118>
 19. Gololobova O., Telegina N., Tolstyakova V. Detox Effect From Si-K Foliar Top-Dressing In Green Urban Plantations Of Aesculus Hippocastanum L. And Tilia Cordata Mill. *AGROBIODIVERSITY for improving nutrition, health and life quality*. Nitra, Slovakia, 2017. №. 1. P. 133–137. DOI: <http://dx.doi.org/10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.133-137>
 20. Максименко, Н. В., Гололобова, О. О., Коваль, І. М., & Калиновський, О. І. (2021). Моніторинг стану зелених насаджень Шевченківського району м. Харків (на прикладі гіркокаштану (*Aesculus Hippocastanum* L.)). *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 36, 56-71. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-05>
 21. Максименко, Н. В., Бурченко, С. В., Шпаківська, І. М., & Кротько, А. С. (2022). Оцінка вуглецевої ємності монопородних деревостанів – елементів зеленої інфраструктури м. Харків. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 38, 73-84. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-38-07>
 22. Гололобов В.В., Коваль І.М., Гололобова О.О. (2023). Ревіталізація регулярних ландшафтів експозиційної зони дендропарку Державного біотехнологічного університету. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, (40), 66–84. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-06>
 23. Nevecherya O., Gololobova O. (2023). Alternative options for the formation of the park's biological diversity. Congress proceedings – VI International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence – 2023 (student sections), Praha, OKTAN PRINT, 2023. P. 369-376. DOI: <https://doi.org/10.46489/ISCSAI-23-30>
 24. Максименко, Н. В., & Гололобова, О. О. (2023). Еколого-естетичні аспекти організації територій суспільного використання засобами зеленої інфраструктури. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 39, 99-109. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-09>
 25. Бурченко С. В., Гречко А. А., Коробкіна Н. Ю. Розробка чат-боту про інформування населення про зелену інфраструктуру. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. 226-229 с.
 26. Tóth, A., Hus, M., Moravcik, L., Buhunova, M.,...& Evans, Rh. Zelené inovácie v krajinej architektúre: Kurikulárny dokument zameraný na inováciu študijného programu krajinná a záhradná architektúra a integráciu zelených priemyselných inovácií. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/382367477_Zelene_inovacie_v_krajinej_architekture_Kurikularny_dokument_zameran_na_inovaciju_studijnego_programu_krajinna_a_zahradna_architektura_a_integraciu_zelenych_priemyselných_inovácií#fullTextFileContent

27. Bihuňová M., Králik B. Recreational potential of Radošinka Microregion: landscape – architectural proposal of the cyclo route . *Public recreation and landscape protection – with environment hand in hand?* vol: 14 9.–11. 5. 2023 Křtiny Jitka Fialová (Ed.). P. 232-236. DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-904-4-0232>
28. Paganová V., Kuczman G. Landscape-Architectural Design in the recreation area Nová Duchonka. Public recreation and landscape protection – with environment hand in hand. 2024. Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-963-1-0189>
29. Bihuňová M., Supuka J., Tóth A., Šinka K., Kuczman G. Urban Green Areas and Woody Plant` Composition: Dwelling Space Quality Factor in the Klokočina Housing Estate. *Ekológia* (Bratislava) 2021.Vol.40. N 1. P. 80-90. DOI: <https://doi.org/10.2478/eko-2021-0010>



The publication was prepared in the framework of International Visegrad Fund project “GREEN INNOVATIONS IN URBAN LANDSCAPE ECOLOGY”. Responsibility for the information and views set out in this publication lies entirely with the author.

Стаття надійшла до редакції 12.10.2024
Стаття рекомендована до друку 25.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-08>

UDC (УДК): 597.2/5: 639.2.053.3

L. A. HOROSHKOVA¹, DSc (Economy), Prof.,

Professor of the Department of Ecology

e-mail: goroshkova69@gmail.com

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

Y. D. KORNIICHUK¹,

Student

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

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

¹National university of "Kyiv-Mohyla academy"

2, Skovorody, Str., Kyiv 04070, Ukraine

ENVIRONMENTAL THREATS AND RISKS TO PROTECTED AREAS IN THE CONTEXT OF WAR (CASE STUDY OF MOLOCHNYI LYMAN)

Purpose. The study of the ecological state of Molochnyi Lyman, which is a state-level reserve, part of the Pryazovskyi National Nature Park, and a wetland of international importance protected under the Ramsar Convention.

Methods. System analysis, remote sensing data were used, specifically satellite images from Landsat 5, Landsat 8, Sentinel-2, and the software tool Google Earth Engine.

Results. The biodiversity of Molochnyi Lyman is characterized and the impact of the salinity level on its biodiversity is analyzed. Natural and anthropogenic factors affecting the ecological state of Molochnyi Lyman are examined. Special attention is paid to the analysis of the conditions ensuring water exchange with the Sea of Azov and the consequences of its absence for the biodiversity of the water body. The state and dynamics of commercial fish catches in the Sea of Azov (Zaporizhzhia region) and the factors influencing the state of fish resources are analyzed. The impact of the war on the ecological situation in Molochnyi Lyman is assessed, and ways and possibilities to overcome the crisis ecological consequences of the occupation of the territory at the stage of post-war recovery are identified.

Conclusions. The main ecological problems of Molochnyi Lyman are identified: increased salinity, reduced water surface area and biodiversity, as well as siltation of the channels connecting the lagoon with the Sea of Azov. It is proven that the preservation of the lagoon requires stable water exchange and optimal salinity levels, which will ensure favorable conditions for fish spawning and migration, as well as maintain high ecosystem productivity. With the onset of the war, the situation has become more complicated, with additional environmental challenges arising due to inaction, which will require further efforts to restore the biodiversity of Molochnyi Lyman and the Sea of Azov in the future.

KEY WORDS: *Molochnyi Lyman, Sea of Azov, biodiversity, ecological situation, water salinity, water exchange, fish resources*

Як цитувати: Horoshkova L. A., Korniiichuk Y. D. Environmental threats and risks to protected areas in the context of war (case study of Molochnyi Lyman). *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 113-136. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-08>

In cites: Horoshkova, L. A., & Korniiichuk, Y. D. (2024). Environmental threats and risks to protected areas in the context of war (case study of Molochnyi Lyman). *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (42), 113-136. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-08>

© Horoshkova L. A., Korniiichuk Y. D., 2024



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

Introduction

Molochnyi Lyman is a coastal estuary in southeastern Ukraine, on the coast of the Sea of Azov. Its role and significance are multifaceted; it is a nature reserve of national importance, part of the Pryazovskyi National Natural Park (NNP), and a wetland of international importance protected under the Ramsar Convention. The estuary has significant ecological importance as it is home to many species of fish, birds, and other animals. It is part of the Azov-Black Sea migratory route used by numerous bird species during migration. The estuary is also part of the Pryazovskyi National Natural Park, which contributes to the conservation of natural ecosystems and biodiversity in the region. At the same time, the estuary has economic significance, as it is an important resource for fishing, where commercial fishing of species such as shad, bream, pike-perch, and

others is conducted. Additionally, Molochnyi Lyman attracts tourists with its natural beauty and recreational opportunities. Unfortunately, there are a number of ecological problems with Molochnyi Lyman that have been attempted to be resolved over the years. With the onset of the war and the occupation of that part of Zaporizhzhia region where the Pryazovskyi NNP is located, these problems have been compounded by those created by the occupiers as a result of their activities in the protected area, as well as their inaction regarding its protection and development. The aforementioned reasons define the relevance of researching the condition of Molochnyi Lyman in retrospect, including the consequences of the occupation of the territory, which already today have catastrophic significance.

Objects and Research Methods

During the research process, both general scientific methods (analysis and synthesis, induction and deduction, analytical grouping) and specialized methods (abstraction, modeling, etc.) were utilized for studying phenomena and

processes. Additionally, remote sensing data were used, specifically satellite images from Landsat 5, Landsat 8, Sentinel-2, and the software tool Google Earth Engine. The object of the study is Molochnyi Lyman.

Results and Discussion

Molochnyi Lyman is located in Northern Pryazovia. Its upper part is fed by the Molochna, Taschenak, and Dzhekelnya rivers, and its lower part is connected to the Sea of Azov, with its shores shaped by aggradation and progradation processes. The area of Molochnyi Lyman is 2200 hectares [1, 2].

Until the 15th century, Molochnyi Lyman was a bay of the Sea of Azov, meaning it was in an open state. It was closed from the end of the 15th century until World War II [3]. After the beginning of World War II, military actions led to the destruction of the embankment, and the estuary became semi-open. The channel width was 400 meters, which facilitated the formation of the Stepanivka mouth. By the 1960s, siltation began, raising the issue of closing this channel and constructing a new one with locks. However, while construction was underway, there were changes in the hydrochemical and hydroecological

indicators of the water body [2]. The construction of the new channel did not solve the siltation issue and, due to a poorly chosen site for construction, even accelerated the process of shell deposit accumulation. The semi-open state of Molochnyi Lyman lasted until 1972, and it has been in a semi-closed state to the present day (due to temporary connections and closures) [3]. Throughout this century, problems have arisen due to the reduction in the water surface area and depth, accompanied by an increase in the water body's salinity.

Starting in 2003, the water surface area began to decrease due to low precipitation, river flow, and channel siltation. Under closed estuary conditions, the salinity in some areas can reach even 104 g/dm³. In an open state, the estuary's water salinity reaches up to 25 g/dm³, and under isolated conditions, the salinity fluctuates between 70-90 g/dm³. Between 2005-2014, the

area of Molochnyi Lyman decreased by 7.716 thousand hectares. For optimal functioning, it is necessary for up to 100 million cubic meters of water to flow into the estuary annually [2]. However, the most ecologically stable state of the water body is observed in a semi-open state, which is when biodiversity is at its broadest. To support such a stable state, the use of dredging ships and various types of pulp pipelines is optimal. The deposits extracted could be processed into sand or shell [3]. In 2011, the channel to the sea was cleared, and water exchange was restored, but after 1.5 months, the channel silted up again. The salinity of the water increased, creating favorable conditions only for marine species of fish, but unacceptable for freshwater species. In July 2012, a project was developed for an artificial channel to connect the estuary with the sea. The water level began to rise, and salinity decreased [4]. But from the second half of 2014, the channel was cleared again, allowing for water inflow [2].

In 2015, studies showed that the salinity of the water varied: the minimum near the mouth of the channel (15 ‰), over 30 ‰ in most parts of the estuary, and over 50 ‰ in the east. The water surface area of Molochnyi Lyman with stable connection to the Sea of Azov is 20,000 hectares, and 12-15 thousand hectares without connection to the sea. In 2020, Molochnyi Lyman was almost filled with water to optimal levels. Due to the strong current in the channel, shad and atherina entered the estuary for spawning. In the southern part of the estuary, rootmouth jellyfish and aurelia, which are brought by the sea, were encountered. After clearing the shell deposits in 2019, various species of fish returned in 2020, including the important commercial species – shad. In the future, it is necessary for the channel to be stable and to allow the passage of seawater into the estuary to maintain a salinity of at least 17-19 ‰, for effective spawning grounds and migratory processes [4].

However, the recent absence of clearing this connection directly affects the hydrological and hydrochemical state of Molochnyi Lyman and the hydrobionts of this water body. Changes in the hydrochemical composition of the estuary affect the quantity of biota and their species diversity. The hydrology of the water body is influenced by a number of abiotic factors, as well as, as mentioned earlier, the Molochna River and the connectivity with the Sea of Azov. The estuary is

isolated from the Sea of Azov by sandy-shell deposits. The length of the estuary is 36 kilometers, and its width varies from 4 to 9 km. The maximum depth of the estuary reaches 3 meters under conditions of stable connection with the Sea of Azov. The minimum depth of 1.5 meters is observed when separated from the sea and at high evaporation levels. Over the past years, Molochnyi Lyman, due to isolation from the sea, has lost approximately 75% of its total volume, significantly affecting the water-salt balance. The most drained areas are located along the left bank, as well as in the upper and lower parts of the estuary, particularly between the villages of Hirsivka and Mordvynivka, along the spit, in the area of Oleksandrivska bay and Lake Molochnyi, due to the position of the bottom. In the 1950s, the channel had a width of over 400 m and a depth of more than 3.5 m. In the 1970s, the width was up to 20 meters, and the depth up to 2.5 meters, while in 2014, after dredging with a clam-shell excavator, its width was no more than 20 m, and the depth was 2.5 m. The shallows of the coastal zone prevent seawater from entering the channel, and it only fills during strong storms. Also, in this zone, sand and shell deposits actively move along the shore. Water exchange depends on flood and ebb currents, which are caused by wind, in the case that the water level in the sea and the estuary is the same. Strong eastern and southern winds cause water surges, while northern and western winds cause ebbs. The large amplitude of these fluctuations is due to the fact that the near-mouth part of the water area is far from the nodal line of the sea and is located on its western part. These processes are most pronounced from January to April and November. The height of the surge affects the current speed in the transition zone from the sea to the estuary. Under the conditions of constructing a channel over 400 meters in 1943 and smaller channels in the 1970s, the water level in Molochnyi Lyman reached the water level of the Sea of Azov. To achieve the same water level in the estuary and the sea, it takes 3 months considering all influencing factors for clearing the connection that connects the estuary and the sea. It should also be considered that to reduce the level of salinity, it is necessary to enlarge the connecting channel with the sea to remove excess salts and make the estuary suitable for the migration, spawning, and fattening of hydrobionts [1].

The climate is moderately continental. In winter, the climate is influenced by the Siberian anticyclone, and in summer, by the Azores anticyclone. The weather conditions themselves are affected by the circulation of air masses [4]. From 1969 to 2011, there was an increase in the sum of positive temperatures, over 15 degrees Celsius, which directly affects the evaporation of water in Molochnyi Lyman. In addition to temperature, the hydrology of the estuary is also influenced by the flow of the Molochna River. However, the flow and tributaries are regulated. The hydrology of Molochnyi Lyman is also affected by an anthropogenic component, such as an artificially created connection, which is silted with shell-sand deposits [2].

In the open state, when it is connected to the sea, bioproductivity is high, water salinity ranges from 17-25 g/l, and the diversity and number of hydrobionts are significant. In the closed state, when the estuary is separated from the sea, salinity increases to 30-90 g/l, which negatively affects the hydrobionts and reduces the productivity of the water body. In this case, biodiversity decreases, water salinity changes, fish productivity decreases, the risk of fish kills increases, and the diversity of the ornithofauna decreases [5,6].

The ecological connection between the sea and the estuary allows the mixing of waters with different salinities. Common consequences of disrupting this connection include the loss of natural habitats, increased turbidity, the influx of nutrients, changes in the dynamics of the estuary and its connections, and loss of biodiversity. Through conservation measures to maintain the connection between the estuary and the sea and to support ecological balance, it is possible to save wetlands from degradation and to maintain a stable and optimal level of salinity [7]. Additionally, estuaries may be threatened by the influx of biogenic substances, which can occur due to excessive anthropogenic impact (wastewater rich in organics) [8]. In light of this, it is necessary to review the situation with regulated rivers that supply Molochnyi Lyman with fresh waters.

It is also necessary to consider the concepts of ecohydrology, which propose integrated management of estuarine ecosystems through an understanding of the interconnections between physicochemical features, ecological niches, and community desires. This approach includes analyzing natural processes and anthropogenic

impacts with the goal of sustainable management of water resources and ecosystem conservation. The core principles include regulating hydrological processes, supporting ecological functioning through interactions in ecosystems, considering feedback loops between biological and physicochemical systems, as well as the impact of human activities on these processes. The proposed solutions involve the use of comprehensive management measures, including control of water resources and hydraulic infrastructure, to restore the ecosystem and ensure sustainable development [9-12].

Characteristics of the biodiversity of Molochnyi Lyman.

Ichthyofauna. Molochnyi Lyman plays a crucial role in the spawning and fattening of ichthyofauna. This water body supports the natural reproduction of commercially important fish species such as *Liza haematocheilus* and *Platichthys luscus*. It is also conducive to the spawning of other fish species such as *Neogobius melanostomus*, *Neogobius fluviatilis*, and *Zosterisessor ophiocephalus*. In terms of the impact of hydrochemical indicators on ichthyofauna, there are species changes in biodiversity, while quantitative indicators remain stable. Due to hydroecological changes in Molochnyi Lyman, there is a decrease in the population of *Percarina demidoffii*, *Esox luceus*, *Acipenseridae*, *Neogobius eurycephalus*, *Trachurus ponticus*, *Scardinus erythrophthalmus*, *Alosa maeotica*, *Mullus ponticus*, *Pegusa lascaris*, *Neogobius ratan*, *Syngnathus nigrolineatus*, *Neogobius syрман*, and *Carassius gibelio*. The reduction in water level, increase in land area, and increased salinity of the water body reduce the species diversity of ichthyofauna [5,6]. Molochnyi Lyman is an important zone for spawning (of shad and flounder) and a site for the fattening (of gobies, sea roach, shad, Black Sea mullets, syngnaths). The year 2002 was one of the most critical in terms of salinity and water levels, impacting the aquatic inhabitants. There was also a negative impact on the surrounding avifauna due to the merging of islands with the mainland. Species like the needlefish, spiny dogfish, and marbled goby were under the threat of extinction, while the rest of the species were in a critically depressed state [13]. In 2018, siltation occurred again, preventing water from the Sea of Azov from entering the estuary, which increased the salinity of the water

to over 60 ‰. In 2019, the channel was restored, allowing water from the Sea of Azov to flow into Molochnyi Lyman again. In 2021, gobies, shads, and mullets began to spawn. In 2021, the salinity of the estuary reached 42.5‰ in the north and 47.7‰ in the middle, making it an ultra-saline water body, as the salinity exceeded 40‰. The pH values fluctuated between 8.2 and 8.6. However, the aeration conditions were well suited for those ichthyofauna species that prefer medium to high oxygen levels, as it contained 5.8-7.9 mg/l of oxygen at temperatures of 21.8-22 degrees Celsius [4].

In Molochnyi Lyman, according to researchers, there are 8 fish species listed in the Bern Convention, 2 species in the IUCN Red List, and 1 species in the Red Book of Ukraine. In the southern part of the estuary, the presence of Azov shemaya was noted; however, excessive silting already in 2002 disrupted its migratory paths. Ichthyofauna listed in conservation lists and observed in Molochnyi Lyman include: Azov shemaya (Red Book of Ukraine); Common carp and Snakehead goby (IUCN); Azov shemaya, Common sabrefish, Southern spiny stickleback, Potbellied seahorse, Syrman goby, Sand goby, Snakehead goby, and Blunt-snouted clingfish (Bern Convention). Among all the water bodies in the northwestern zone of the Sea of Azov, Molochnyi Lyman has the least diversity of fish species. Studies have shown the detrimental effect of increased water salinity on rare fish species. Specifically, the level of salinity, i.e., mineral substances, affects the ichthyofauna under protective status as a limiting factor. This, in turn, requires immediate response to the current situation around Molochnyi Lyman to prevent the loss of natural spawning, migration, and fattening areas for diadromous and semi-diadromous fish. Moreover, this is caused not only by silting of the channel but also by the regulation of the Molochna River [14].

Coastal fish species that predominated in observations in 2021 included *Proterorhinus semilunaris*, *Atherina boyeri pontica*, *Mugil soiyu*, *Neogobius fluviatilis*, and *Zosterisessor ophiocephalus*. Also encountered was the ctenophore *Mnemiopsis*. Regarding an interesting commercial object from the goby family, in 2020, species such as *Proterorhinus semilunaris*, *Zosterisessor ophiocephalus*, and *Neogobius fluviatilis* were observed. Since *Zosterisessor*

ophiocephalus spends all its life stages in the estuary, this species is the most common for commercial fishing at present, and its biomass is the largest. The connection of the sea with the estuary will ensure the development of populations of each of the mentioned species from the goby family. The preservation of Molochnyi Lyman is also important because it is a crucial water body for such an acclimatized commercial species as shad [4]. The best salinity levels for fish diversity are close to 25 g/dm³. Under such conditions, optimal development of ichthyofauna is possible. The estuary's ecosystem suffers from an unsuccessful anthropogenic hydrological regime, which necessitates the restoration of the connection between the estuary and the sea to maintain this unique area with rare species of biota [13].

Zooplankton and zoobenthos. Zooplankton is represented by the genera *Acartia*, *Artemia*, *Canuella*, and *Brachionus*. Also present in Molochnyi Lyman were *Oscillatoria*, *Prorocentrum*, *Peridinium*, *Coscinodiscus*, *Thalassiosira*, *Nitzschia*. Molochnyi Lyman is a very important site for the spawning of commercial fish species, particularly shad. As for the animals represented in the plankton, the majority are members of ultra-saline ecological groups. The most common are *Acartia tonsa* and *Acartia clausi*. *Canuella perplexa* and *Brachionus quadridentatus* were also found in large numbers. Dominant species that thrive in ultra-saline waters include *Artemia salina* and *Artemia calina*, which have a wide range of salinity tolerance – euryhaline. In the pelagic zone, gastropods, foraminifera, and polychaetes were encountered. The zoobenthos is largely represented by *Chironomus salinarius*, *Gammaridae*, and *Cerastoderma*. The biomass of the zoobenthos was low [4].

Invertebrate animals of Molochnyi Lyman are of particular interest for study due to the constant changes in the connection with the Sea of Azov, as the ecological state of the water body frequently changes [15]. There are about 88 species of benthic invertebrates. Approximately 50 species of mollusks and 30 species of crustaceans have been studied. The center of the estuary is the saltiest, while the northern and southern parts are less saline. Salinity correlates with biomass, which is higher in the southern and northern parts of the estuary, with the largest share accounted for by mollusks. When the estuary is separated from the sea, there is an increase in water salinity,

a decrease in species diversity, and a drop in biomass [13]. In 2019, 75 taxa of zoobenthos were recorded in the Sea of Azov, Molochnyi, and Utyuk estuaries. However, in Molochnyi Lyman, only 2 species were present because the amount of water was extremely low and there was an increase in salinity levels. Therefore, residents of very saline waters, *Chironomus plumosus* and *Artemia salina*, were found there. The salinity of the water that year reached 60-120‰. Molochnyi Lyman was characterized by high indicators of abundance and biomass, but due to the increased salinity of the water, these indicators suffered significant reductions [16, 17].

Ornithofauna. Molochnyi Lyman is a unique area for stopovers, wintering, and settlement of birds, which is why it is classified as a wetland and is protected. 15 bird species are listed by the IUCN, 259 species are protected under the Bern Convention, 147 species under the Bonn Convention, 96 species are protected by the Agreement on the Conservation of African-Eurasian Migratory Waterbirds, 41 species are under CITES protection, and 44 species are protected by the Red Book of Ukraine. This protected area is home to about 20,000 individuals of wetland birds [5,6]. Over the last century, 269 diverse species have been identified at Molochnyi Lyman, 57 of which are listed in the Red Book of Ukraine. Birds are attracted to this area by the food base and favorable nesting conditions. Hydrological changes affecting Molochnyi Lyman significantly impact bird nesting. In particular, a large number of terns, gulls, and cormorants have lost nesting sites as the Long and Horseshoe islands have disappeared. The decrease in freshwater inflow increases salinity, which hinders the normal existence of these species. Increased areas of dry land and disappearing stretches in the northern part of the estuary (which belongs to the wetlands) affect the reduction of areas where gray geese, herons, ducks, foxes, terns, and passerines can nest. The disappearance of salt marshes on the coast leads to the loss of natural habitats for red-listed species (*Recurvirostra avosetta*, *Haematopus ostralegus*, *Himantopus himantopus*, *Charadrius alexandrinus*, *Glareola pratincola*). For these reasons, the number of birds in the area protected by the Ramsar Convention has decreased. The number of bird species in the Wetlands of International Importance has halved from 1998 to 2012.

Meanwhile, the reproduction rates of birds in this protected area have decreased to levels ranging from 0 to 30%. The cause of this phenomenon is precisely the reduction in water levels. The quantity and species diversity have decreased due to high salinity and the lack of a food base. During the nesting period, Molochnyi Lyman does not meet the criteria of the Ramsar List. In the post-nesting period, the number of birds meets the criteria of the Ramsar Convention, but there is a change in their taxonomic groups. Molochnyi Lyman is losing its Ramsar criteria [5, 6]. Additionally, there are ornithological sites within the Pryazovskiy National Nature Park, mostly near or within Molochnyi Lyman (Mordvynivka Depression, Stepanivka Spit, the delta of the Molochna River). There are also entomological sites close to Molochnyi Lyman on the right bank of the estuary and on Stepanivka Spit [18].

Flora. The flora of the studied region consists of Holarctic and European-Mediterranean species. The hydrophyton includes elements of coastal-aquatic and aquatic cenoses. The study area contains a large number of representatives from the families Magnoliopsida and Liliopsida, which include subendemic species unique to this area. The islands of the studied territory feature confinative subendemics, more characteristic of the Pryazovia region. This also highlights the uniqueness of this region and the necessity for further conservation and maintenance efforts. The sea receded from Pryazovia in the Miocene epoch, and since then, it has been a place for flora development. The region of southern Ukraine, between the Dnieper riverbed and Molochnyi Lyman, was a site for the development of terrestrial flora during the Quaternary period. This fact confirms the presence of localized South Black Sea steppe endemism. In the Holocene, species from the Pontic center spread to the studied territory, including *Galatella villosa*. The flora of the area belongs to the feather grass-tussock grass zone. On the islands of Molochnyi Lyman, there are fragments of *Ammophiletea* and *Cakiletea maritimae* associations, which constitute so-called littoral vegetation. In the area of Molochnyi Lyman, unique species such as *Asparagus pallasii* and *Tamarix gracilis*, which are unique to Ukraine and the world, have been found. Species such as *Astragalus borysthenticus* and *Asparagus pallasii* are found only on the islands of the studied area. Species of the genera

Stipa and *Tamarix* are dominants and subdominants of the studied region and are also considered rare phytocoenoses. The studied region requires special protection due to the presence of littoral endemics, halophytes, and coastal-aquatic vegetation (*Astrodaucus littoralis*, *Centaurea odessana*) [19]. In the second half of the 20th century, studies of the algal flora in Molochnyi Lyman identified 63 species in the phytoplankton and 100 species in the phytobenthos [20, 21]. The phytoplankton is represented by Dinoflagellates, Diatomaceous algae, Cyanobacteria, and Green algae. The coast is characterized by the presence of *Cladophora*, while in the deeper part of the estuary, *Thalassiosira*, *Nitzschia*, *Prorocentrum*, *Peridinium*, *Coscinodiscus*, and *Oscillatoria* are encountered. The largest portion of the algae consisted of species such as *Cyclotella* sp., *Nitzschia tenuirostris*, *Campylodiscus* sp., *Nitzschia punctata* [4].

As noted above, the presence of a connection between Molochnyi Lyman and the Sea of Azov, and consequently the level of water salinity in the estuary, is the most influential factor affecting biodiversity in the estuary. Therefore, let's analyze the impact of salinity on the state of fish resources in the estuary in more detail.

Literature analysis shows that over its history, four main stages (states of connection) of Molochnyi Lyman with the Sea of Azov can be distinguished:

1) Open estuary (until the 15th century), when it was a bay of the Sea of Azov and the salinity level of the water corresponded to the level of seawater [22];

2) Closed estuary (from the end of the 15th century to 1943), when it was a salt lake and the water salinity level ranged from 25‰ in 1929 to 60‰ and more in 1939;

3) Semi-open estuary (from 1943 to 1972), when there was a possibility of water exchange with the Sea of Azov through a wide channel (for some time – two), hence the water salinity level was 14.0 - 22.6‰ [22];

4) Semi-closed estuary (from 1972 to 2019), when water exchange with the Sea of Azov occurred through one artificial channel, which periodically silted up with sand, the water salinity level fluctuated from 34.2 to 96‰.

Throughout this time, rivers flowed into Molochnyi Lyman, primarily the Molochna River, but its flow level gradually decreased.

According to research results [23], at the beginning of the 20th century, the sandy-shell spit between Molochnyi Lyman and the Sea of Azov was eroded, and more freshwater from the sea entered the estuary. This occurred in 1909, 1929, 1931-1932, and 1940. However, each time the channel existed for no more than a year, it was again filled with sandy-shell deposits, and Molochnyi Lyman became closed again.

In 1943, during World War II, German troops deliberately blew up the spit, creating a channel that was deep enough, and further eroded during autumn storms and spring – it did not silt up. From that moment, for a certain period, the estuary again became a semi-open water body.

In the mid-20th century, according to N.O. Alexeyev, the main methods of water exchange for Molochnyi Lyman were: the inflow of sea water through one (two) channels, evaporation from the water surface (depending on temperature), stormwater runoff into the water area from its shores, wind-driven and seiche flows, and the inflow of fresh water (rivers Molochna (formerly Sutin), Taschenak, Dzhekelnya and their tributaries) [22].

During this period, sea water entered through the main channel, up to 400 meters wide, and also through a second flow – the so-called "Stepanivske mouth," which ensured the influx and circulation of sufficient water to maintain a lower salinity level. This continued until 1965 when the processes of shallowing of the first mouth and silting of the second intensified. Unfortunately, over time, it turned out that the decision to create a new channel instead of deepening the existing one was mistaken. Initially, in 1972, Molochnyi Lyman again became closed during the construction period. However, the new channel did not solve the problem, as the chosen location proved to be unsuitable; it quickly filled with sandy-shell deposits and required periodic dredging, which continued until 2003. In the following years, dredging and clearing were conducted sporadically, thus accelerating the processes of shallowing of Molochnyi Lyman, reducing its area, and increasing the water salinity level.

The main sources of freshwater supply were and remain rivers, the characteristics of which are presented in Table 1.

Table 1

Characteristics of the rivers flowing into Molochnyi Lyman

Name of the river	Length of the river, km	Watershed area, km ²	Number of tributaries	Total length of tributaries, km
Molochna	197,0	3450,0	80	178,0
Taschenak	62,2	467,8	3	36,0
Dzhekelnya	34,8	228,0	-	-

But, today, these steppe rivers have almost lost their significance as a source of fresh water replenishment for the estuary due to shallowing and regulated surface runoff: numerous ponds and reservoirs have been created along their channels and floodplains. According to [2], over the years, the level of surface runoff has fluctuated between 13.87 - 154.96 million m³, averaging 53.46±5.45 million m³.

The period from 1972 to 2019 was the most challenging for the biodiversity of the estuary, as due to the instability of water exchange, fluctuations in water levels, there were periodic dryings of shallow areas, and the water receded hundreds of meters from the shore, consequently – as a result - the level of salinity also fluctuated. During this period, differences in the hydrochemical and hydrological state of the upper, middle, and lower parts of the estuary, which had existed up to that time, virtually disappeared, making the water body's ecosystem unstable in terms of dynamics and species composition.

From 2001 to 2013, Molochnyi Lyman periodically became closed (in 2001, 2002, 2006, 2007, 2008). For example, in 2001, the shad that entered Molochnyi Lyman for spawning due to the silting of the channel could not return to the sea and died in tons in the estuary. Instead of deepening the channel, a new channel project was developed in the Pryazovia area.

As a result, from 2003 to 2013, the water area of Molochnyi Lyman decreased from 21,269 hectares in 2003 to 14,229 hectares in 2013. Accordingly, the salinity of the estuary increased from 30.0‰ in 2003 to 82.5‰ – 104‰ in 2013.

These negative changes led to a significant reduction in the species richness of fish several times. Thus, according to field research by Demchenko V., in 2012 only 4 fish species were registered – mullet, shad (*Liza haematocheilus*), Black Sea flounder (*Platichthys*

flesus), grass snakehead goby (*Zosterisessor ophiocephalus*), and Black Sea silverside (*Atherina pontica*).

Another critical situation occurred in the summer of 2017, when about 17,000 individuals of shad, weighing from 0.5 to 3 kg each, died in Molochnyi Lyman.

Therefore, from the beginning of 2018 to December 2019, comprehensive work was carried out to clear the connecting channel and restore the semi-open state of Molochnyi Lyman, which led to a decrease in the water salinity level and created conditions for the recovery of population numbers of the main commercial fish of the Azov Sea.

Unfortunately, periodic silting of the channel between Molochnyi Lyman and the Sea of Azov poses a significant threat to the biodiversity of both the estuary and the sea.

The state of fish resources in the Sea of Azov significantly depends on providing conditions for the spawning and fattening of fish in Molochnyi Lyman. We have conducted studies on the situation regarding the commercial fishing of fish resources in the Sea of Azov.

First and foremost, this concerned fish such as shad. An analysis of shad catch in the Sea of Azov was conducted for the years 2010 – 2021. In 2022 – 2023, with the onset of the war, fishing activities in the Sea of Azov ceased due to the occupation of the territory (Fig. 1).

As we can see, from 2010 to 2013, both the catch volumes and the corresponding limits were decreasing, and in 2014 – 2015, the catch level reached catastrophically low values. A gradual improvement in the situation occurred during 2020 – 2021. Let us explain the reasons for these changes.

The decrease in shad catch by 2014 occurred due to the gradual silting of the channel between the sea and the estuary and the complication of fish spawning. In 2014 - 2015, the channel was partially cleared, and Molochnyi Lyman was reconnected with the Sea of Azov.

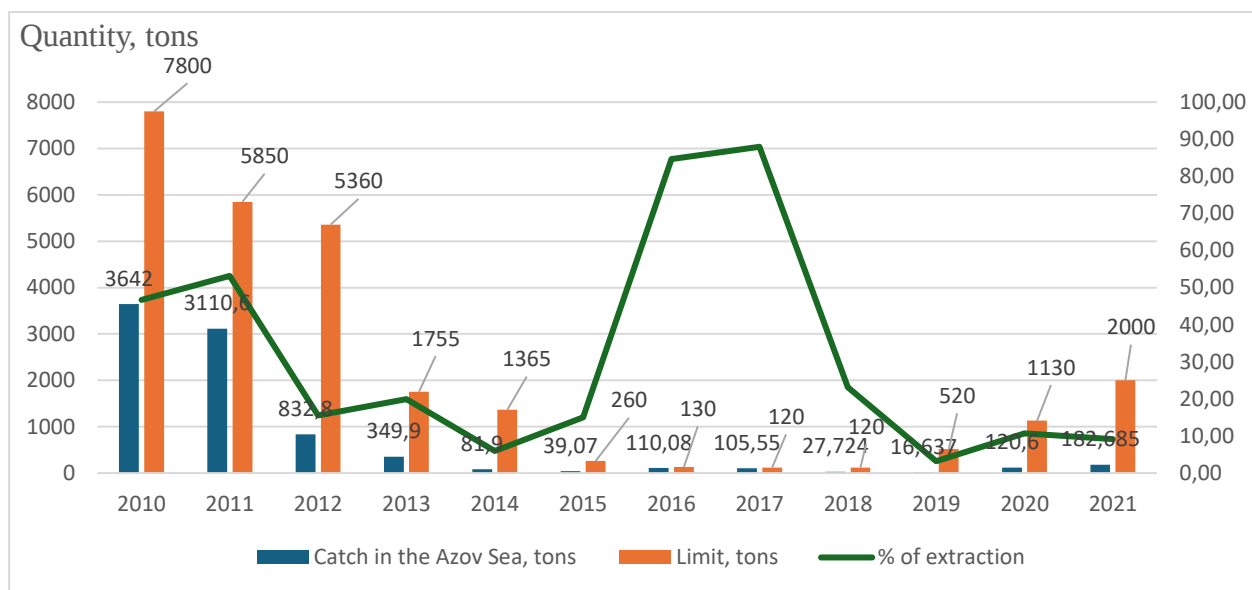


Fig. 1 – Shad catch in the Sea of Azov from 2010 to 2021
Constructed based on data from analytical source [24].

This led to certain positive results, including a rise in water levels and an increase in the estuary's water area. Accordingly, this allowed a slight increase in catch volumes from 39.07 tons in 2015 to 110.08 and 105.55 tons in the following years, respectively. In 2018, the situation deteriorated again, resulting in the catch volume in the Sea of Azov dropping to catastrophically low levels – 16.637 tons. For comparison, in 2010, the shad catch amounted to 3642 tons per year.

The analysis of fish catch data in the Sea of Azov after the channel deepening in 2018 –

2019 significantly increased the shad catch to 182.658 tons per year in 2021. Unfortunately, this figure is much lower than the 2010 indicators but significantly better than the situation in 2018. Therefore, there was every reason to expect further improvement in the coming years. However, the start of the war in 2022 made its adjustments, as the mentioned area came under occupation.

We also conducted an analysis of the catch volumes of the main commercial fish in the Zaporizhzhia region during 2015 – 2021 (Fig. 2).

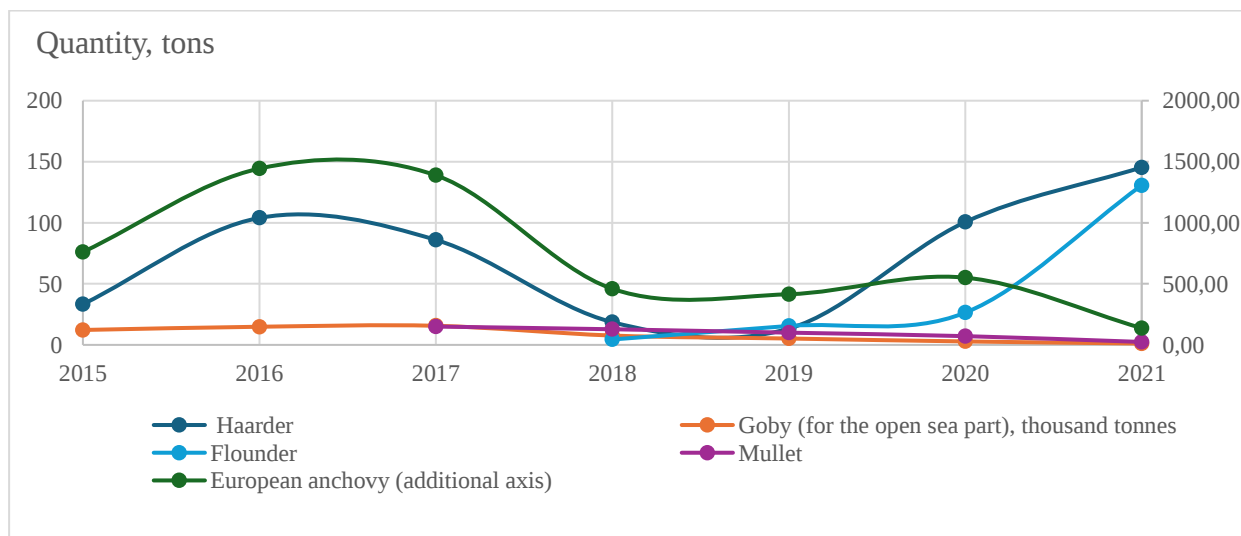


Fig. 2 – Catch volumes of the main commercial fish in the Sea of Azov in the Zaporizhzhia region
Constructed based on data from the State Statistics Service of Ukraine [25].

As we can see, from 2015 to 2021, there are negative trends - fish catch volumes are decreasing. The exceptions were the catch volumes of flounder (turbot) and shad after the channel deepening in 2018-2019, which significantly increased in the subsequent years of 2020 – 2021. Therefore, there were all possibilities to expect an improvement in the situation further since a decision was made regarding the periodic (systematic) dredging of the channel between Molochnyi Lyman and the Sea of Azov.

Currently, there are several threats existing for Molochnyi Lyman. Firstly, there is the increase in the salinity of the Sea of Azov. If there is a constant (sufficient) connection between the sea and the estuary, it is possible to reduce the salinity of the water in Molochnyi Lyman. If the salinity level in the sea increases – the degree of salinity reduction in the estuary becomes significantly lower. From 1997 to 2003, the salinity level of the Sea of Azov fluctuated slightly and was 10.27‰, from 2003 to 2006 – it somewhat decreased to an average of 9.72‰. From 2007 to 2012, there was a quite sharp increase in salinity to 13‰ (average value – 10.64‰). In 2020, the salinity was already 14.5‰ (in some areas of the sea it exceeded 15‰). Thus, as we can see, the salinity of the Sea of Azov is approaching the level of the Black Sea, where it is 17-18‰. It should also be considered that in some areas of the sea it is higher than the average value. Thus, in the western part of the Sea of Azov – it is 14‰, and in the Utyuk estuary - 16-17‰. The main reason for the increase in the salinity of the Sea of Azov is the decrease in the inflow of fresh water with a simultaneous increase in the inflow of more saline water from the Black Sea. Currently, through the Kerch Strait, there has already formed a fairly constant current of saltier water from the Black to the Azov Sea. There is also a continuous decrease in the flow of the Don and Kuban rivers, which respectively brought 70 and 30% of fresh water to the sea. Today, this amount is even less. This happened due to the regulation of runoff (Tsimlyansk Reservoir) and an increase in water intake primarily from the Don River. In the Sea of Azov, the amount of fresh water has decreased on average by 9 km³ annually. The daily productivity of runoff in the summer is critical because agricultural producers use water for irrigation of fields. Water

consumption in the Rostov region is also increasing annually (on average 0.5 million m³ of water per day).

Since the start of the war, the situation has become even more complicated, as from 2023 Russia has been diverting an additional 300,000 cubic meters of water per day from the Don River for the needs of the DPR and Mariupol. Before the war, water supply was carried out through the North Donetsk – Donbas canal, which became shallow as a result of the destruction of the dam of the Oskil Reservoir in the Kharkiv region.

According to experts [26], the partial filling of the Kalchyk River with slag has reduced the inflow of fresh water into the Sea of Azov by almost three times.

Such changes in the salinity level of the Sea of Azov differently affect the living conditions of various fish. For example, the increase in the salinity of the Sea of Azov has improved the spawning conditions for the Azov turbot and shad. However, a necessary condition for the spawning of these fish species is not only the salinity level of the sea but primarily the existence of a connection and water exchange between Molochnyi Lyman and the Sea of Azov. Shad enters Molochnyi Lyman for spawning, so the water salinity level there must be suitable for this. Especially since the amount of fresh water that reaches there through the Molochna River in recent years is insignificant in terms of its impact on reducing water salinity.

The opposite situation is with the Azov goby, for which a significant natural problem is the increase in water salinity in the Sea of Azov to 15‰, since the critical salinity value, above which conditions for the spawning of the main commercial species of goby – round goby, become unfavorable – is 13‰. The analysis conducted above showed that a critical situation with spawning had already occurred in 2020, which is why the State Fisheries Agency was forced to completely abandon all types of spring fishing for gobies in the Azov basin [27, 28].

Our analysis showed that over the last 10 years there has been a gradual decrease in the catch volume of Azov goby, which is a result of its decreasing population in the Sea of Azov. There is reason to believe that the increasing salinity of the water in the sea also has a negative impact on this.

In addition to the increase in the salinity of the Sea of Azov, additional environmental threats to Molochnyi Lyman have arisen since the start of the war due to the entry of contaminated water into it through the Molochna River and from the Sea of Azov.

Today, in temporarily occupied Mariupol near the Kalchyk River, the invaders have created a landfill. As a result – there have been numerous cases of dead dolphins and fish washing up on the shores of the Sea of Azov. In turn, contaminated seawater further enters the estuary.

The Molochna River in occupied Melitopol, Zaporizhzhia region, is also on the verge of an ecological disaster. The river periodically becomes silted, turns white, is covered with white foam, and acquires a sharp unpleasant odor. Experts believe that the most likely cause of this pollution is sewage leaks, which are not promptly prevented and remedied, resulting in sewage entering the river.

Before the war, problems with the entry of municipal wastewater existed, but previously municipal services regularly maintained the river, and law enforcement held those responsible for pollution accountable. In 2021, the river began to be cleared, but these works were not completed before the occupation.

The situation with wastewater in another occupied city of Zaporizhzhia region – Tokmak, is complicated. Due to periodic problems with electricity and fuel supply, sewage enters the Molochna River. Even under normal operation of treatment facilities, discharges of inadequately treated return water occur in the cities of Tokmak and Melitopol, significantly worsening the ecological state of the Molochna River and consequently - the estuary.

Furthermore, today the Molochna River continues to shallow and become overgrown with reeds, but the occupying authorities are not taking any measures to save it.

There is every reason to expect negative impacts from the military training ground that the occupiers set up near Molochnyi Lyman in the territory of the Radivonivka forest. Therefore, this issue, in our opinion, requires additional attention. Thus, all this together accelerates the onset of an ecological disaster for Molochnyi Lyman.

With the onset of the war and the occupation of parts of the Zaporizhzhia region (Pryazovskyi National Park – completely), due to the inability to conduct field research in the Molochnyi Lyman area, we used remote sensing

(RS) tools to assess the consequences of the occupation for the estuary. First and foremost, the status of the connection between Molochnyi Lyman and the Sea of Azov, as its absence had already led to catastrophic ecological consequences.

An analysis of satellite images of the channel connecting Molochnyi Lyman with the Sea of Azov was conducted. Using the software product Google Earth Engine, images of the territory for 2013, 2015, 2017, 2019, 2021, and 2023, as well as from January to May 2024, were obtained. Images up to 2015 were created based on data from the Landsat 8 satellite, while from 2015, images with higher resolution from Sentinel-2 were used.

In Fig. 3, the location of the channel where the dynamics of changes caused by natural silting with shell deposits and clearing with special equipment were studied is marked with a green dot.

After determining the observation point, an averaged image for the year 2013 was obtained (Fig. 4). According to it, the level of silting with sandy-shell deposits was extremely high, which hindered the inflow of sea water into Molochnyi Lyman. The situation in 2013 was critical, and the state of this connection significantly affected the aquatic organisms.

However, by 2014, clearing works had been conducted, resulting in an increased width of the channel by 2015, as confirmed by images from that year. The situation improved, spawning and fattening began to occur more effectively, and the productivity of biomass accordingly increased (Fig. 5).

In 2017, the situation deteriorated again, with silting of the estuary-sea connection occurring (Fig. 6). The process of silting with shell deposits occurred rapidly, again affecting the biodiversity of the protected natural area.

Satellite images from 2019 to 2021 show that the channel became much wider as it was cleared of silt in 2018 - 2019 (Fig. 7 and 8). As a result, in 2020, many species of fish returned to Molochnyi Lyman, with an increase in population numbers and species diversity. Additionally, commercial fish species also returned due to the favorable hydrological and hydrochemical conditions of Molochnyi Lyman.

However, the images from 2023 and the first half of 2024 (Fig. 8 and 9) show silting of the channel, which is a negative factor for the biodiversity of the estuary. The situation requires immediate resolution, as it will affect the

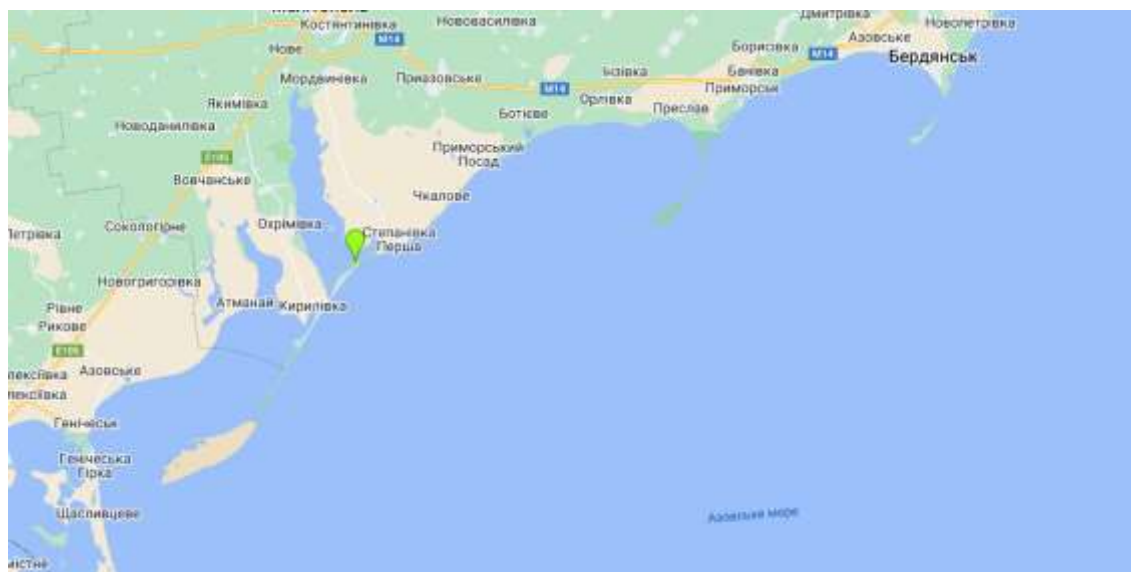


Fig. 3 - Research site: the channel connecting Molochnyi Lyman with the Sea of Azov
The data obtained using the Google Earth Engine software



Fig. 4 - Landsat 8 satellite image of the studied area from 2013
Images of the area obtained using the Google Earth Engine software

spawning, fattening, and migration of the ichthyofauna, as well as the ornithofauna of the wetlands in the near future. The silting situation is cyclical, and for the optimal functioning of Molochnyi Lyman and the maintenance of an ecologically

balanced state, it is necessary to constantly clear the channel or create special structures. This will prevent re-silting, ensure free water exchange between the estuary and the sea, maintain high biomass productivity, and preserve biodiversity.



Fig. 5 - Landsat 8 satellite image of the studied area from 2015
Images of the area obtained using the Google Earth Engine software



Fig. 6 - Sentinel-2 satellite image of the studied area from 2017
Images of the area obtained using the Google Earth Engine software



Fig. 7 - Sentinel-2 satellite image of the studied area from 2019
Images of the area obtained using the Google Earth Engine software



Fig. 8 - Sentinel-2 satellite image of the studied area from 2021
Images of the area obtained using the Google Earth Engine software



Fig. 9 - Sentinel-2 satellite image of the studied area from 2023
Images of the area obtained using the Google Earth Engine software



Fig. 10 - Sentinel-2 satellite image of the studied area from 2024
Images of the area obtained using the Google Earth Engine software

Additionally, a study of the water surface area was conducted for the years 2013, 2015, 2017, 2019, 2021, and 2023 using the Google Earth Engine software, utilizing satellite images from Landsat 5, Landsat 8, Sentinel-2. In 2013,

the water surface area of Molochnyi Lyman significantly decreased at the head and on the right side (Fig. 10). This reduction was caused by the absence of water inflow from the Sea of Azov, which led to a significant increase in water

salinity. The strictly protected zone at the head of the estuary, where the water receded, was severely affected. This place is important for nesting a large number of birds due to the wetlands. Thus, the ornithofauna also suffered negative impacts due to the changing conditions in Molochnyi Lyman. In 2015, the water surface area significantly increased, and the areas where water had receded in 2013 were refilled (Fig. 11).

This created favorable conditions for the settlement of wetland birds along the coast. According to the images from 2017 and 2019, water began to recede again at the head and the lower reaches of the estuary due to the silting of the channel (Fig. 12 and 13).

The wetlands at the head of the estuary, which are protected by the Ramsar Convention, suffered adverse effects, negatively affecting bird populations. There is also a trend that when there is no water inflow to the estuary, dry land appears at the head, lower reaches, and also on the right side of the estuary.

However, after the channel clearing work conducted, in 2020 the water refilled almost the entire territory of the estuary (Fig. 14). According to the 2021 images, the water surface area significantly increased, creating favorable conditions for the effective functioning of both adjacent terrestrial ecosystems and aquatic ones in particular. However, according to the 2023 images of Molochnyi Lyman, the silting situation is repetitive. Because of this, the water surface area is consistently decreasing (Fig. 15).

Although clearing works were conducted on the channel in 2019, the accumulation of sandy-shell deposits occurs very quickly, which leads to a reduction in the inflow of sea water. As a result, the water surface area decreases, leading to the drying up of the headwaters, lower reaches, and the right side of the estuary. It is precisely in these areas where the largest number of wetland birds are found, raising concerns about the preservation of their populations and the overall ecological state of the estuary.

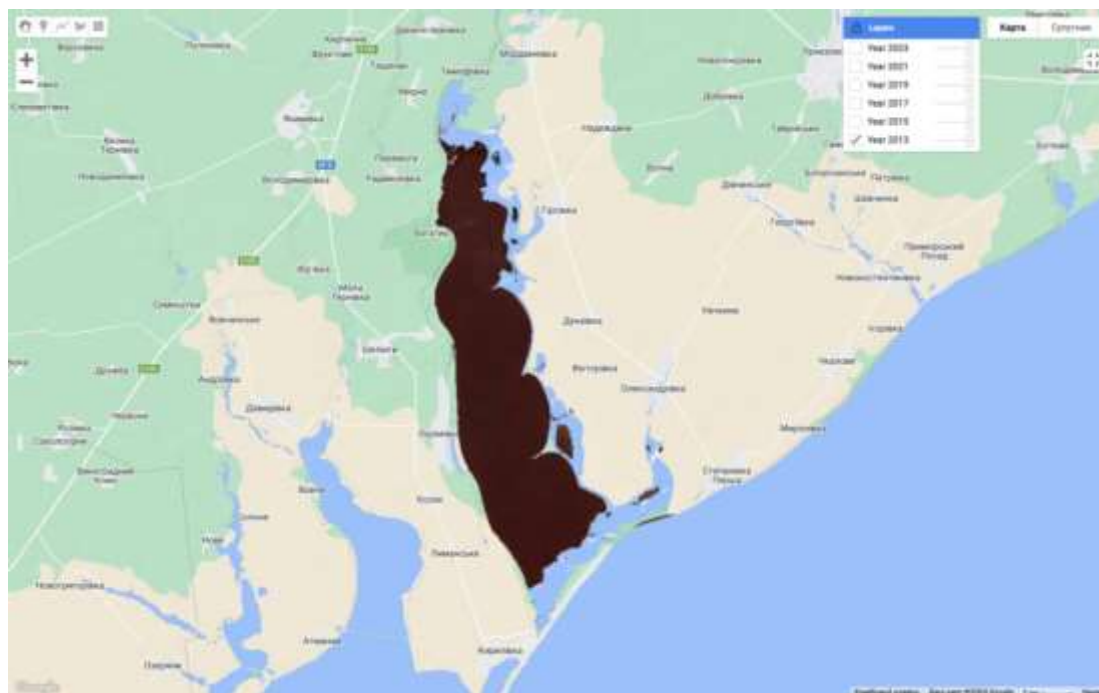


Fig. 11 - Water surface area of Molochnyi Lyman in 2013

The data obtained using the Google Earth Engine software utilized satellite images from Landsat 5, Landsat 8, and Sentinel-2



Fig. 12 - Water surface area of Molochnyi Lyman in 2015
The data obtained using the Google Earth Engine software utilized satellite images from Landsat 5, Landsat 8, and Sentinel-2

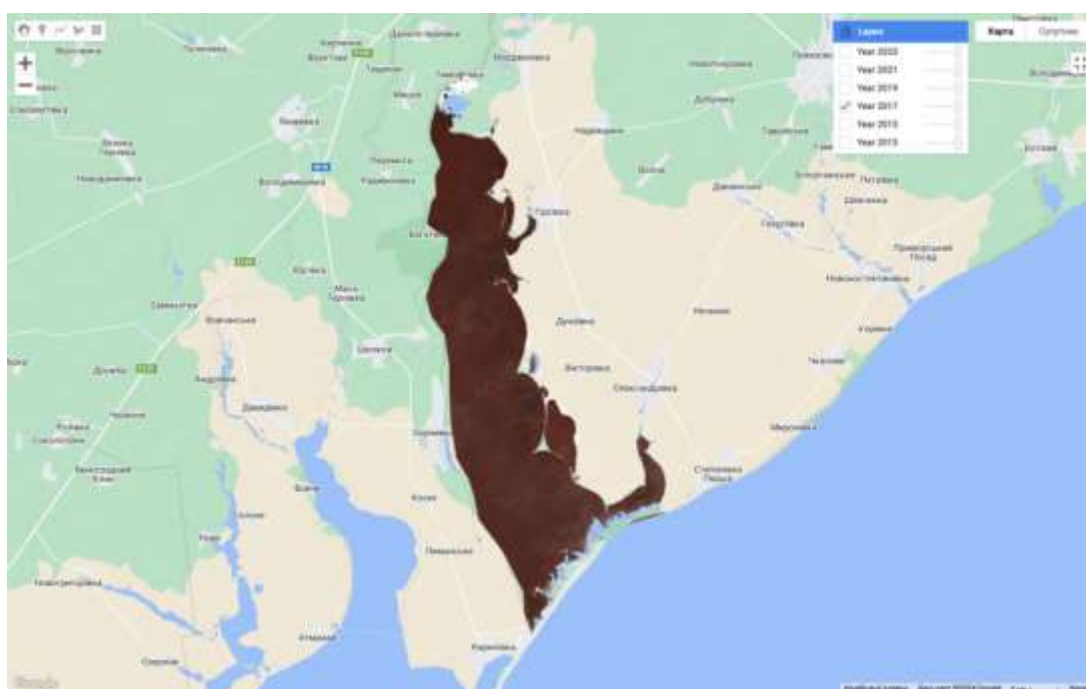


Fig. 13 - Water surface area of Molochnyi Lyman in 2017
The data obtained using the Google Earth Engine software utilized satellite images from Landsat 5, Landsat 8, and Sentinel-2

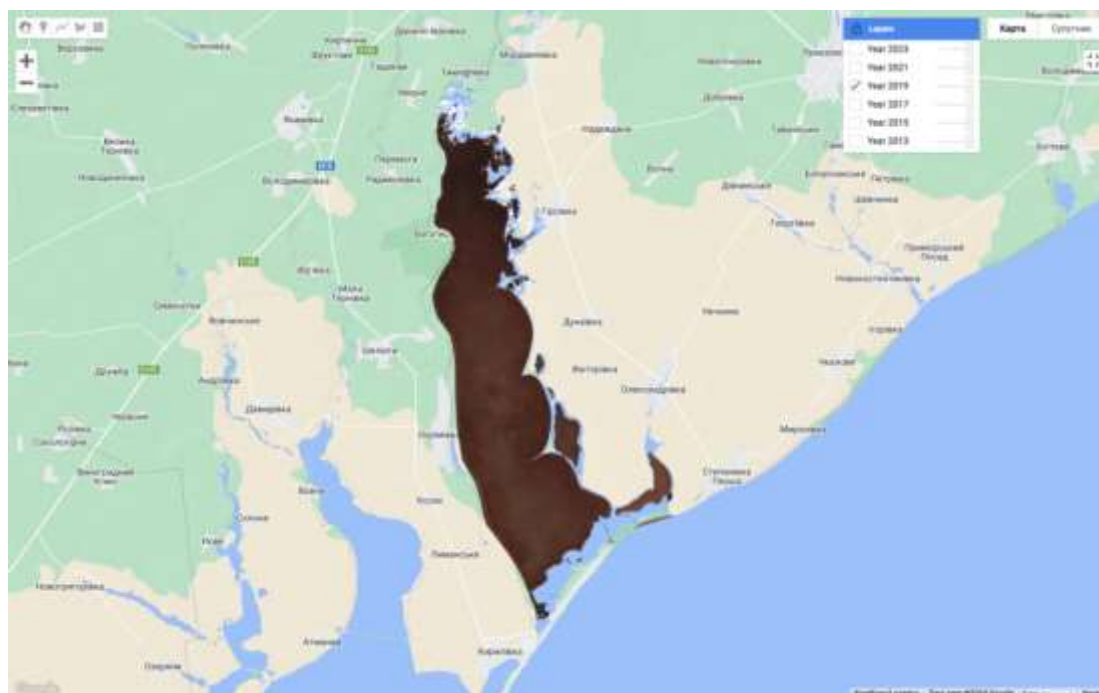


Fig. 14 - Water surface area of Molochnyi Lyman in 2019
The data obtained using the Google Earth Engine software utilized satellite images from Landsat 5, Landsat 8, and Sentinel-2

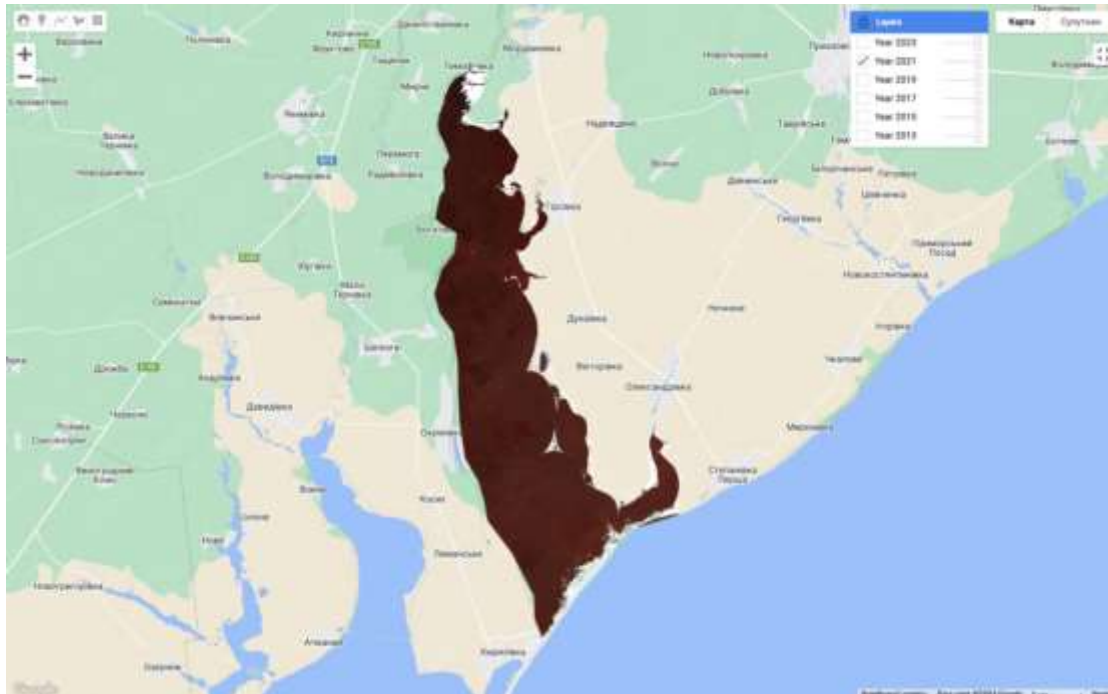


Fig. 15 - Water surface area of Molochnyi Lyman in 2021
The data obtained using the Google Earth Engine software utilized satellite images from Landsat 5, Landsat 8, and Sentinel-2

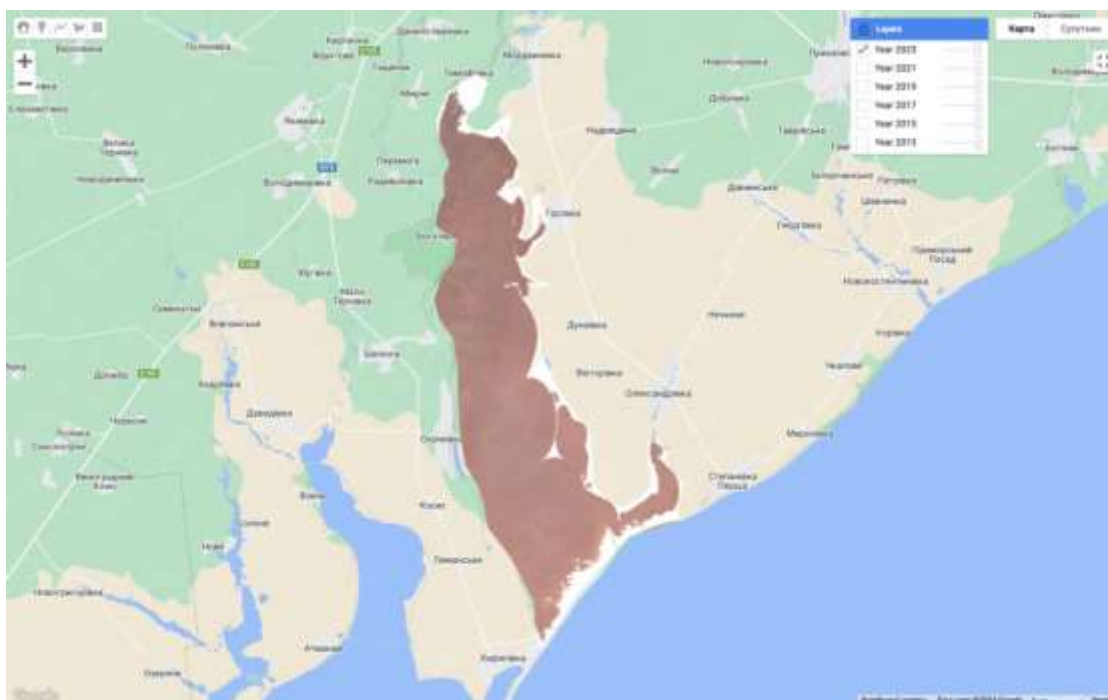


Fig. 16 - Water surface area of Molochnyi Lyman in 2023

The data obtained using the Google Earth Engine software utilized satellite images from Landsat 5, Landsat 8, and Sentinel-2

Conclusions

Molochnyi Lyman is a significant protected area under the Ramsar Convention. The importance of this ecosystem lies in its uniqueness and biodiversity richness. However, due to the reduced inflow of sea water, the estuary is at risk of degradation. The main ecological challenges include increased salinity, reduced water surface area and biodiversity, and the silting of channels connecting the estuary to the Sea of Azov. Preserving the estuary requires stable water exchange and optimal salinity levels, which will ensure favorable conditions for the spawning and migration of fish, as well as maintaining high ecosystem productivity. To ensure a stable ecological state of Molochnyi Lyman, comprehensive water resource management measures are necessary, including regular channel clearing and maintaining an optimal hydrological regime. This will help preserve unique species of flora and fauna and ensure the sustainable development of this protected area.

Due to the accumulation of shell deposits, silting occurs in the channel connecting Molochnyi Lyman with the Sea of Azov. This negatively affects the aquatic and adjacent

terrestrial ecosystems, particularly the ornithofauna, as areas used by birds for nesting and meeting their trophic needs disappear. Increased water salinity, turning the estuary into an ultra-haline environment, also negatively impacts aquatic organisms.

The reduction in the water surface area at the head, lower reaches, and the right side of the estuary leads to the drying of these areas, which are the most favorable places for the nesting of wetland birds. Moreover, the silting of the channel disrupts the processes of spawning, migration, and fattening of various fish species, including commercial species. The tendency for rapid silting of the channel even after clearing indicates that simple clearing work is insufficient.

Therefore, it is necessary to develop more effective clearing methods or structures that would slow down the silting process in the long term. More frequent and effective clearing is critically important for preserving this protected area, which holds extraordinary importance according to the Ramsar Convention.

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.

References

1. Vorovka, V. P., & Demchenko, V. O. (2019). Hydroecological Problems of Dairy Estuary in Connection with the Instable of its Communication with the Azov Sea. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (21), 23-33. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-21-02> (In Ukrainian)
2. Vorovka V.P., Demchenko V.O., & Vinokurova S.V. (2015). Dynamics of hydrological indicators of Molochny Liman as a state-level hydrological reserve. *Hydrology, Hydrochemistry, and Hydroecology*, 1(36), 46-56. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2015_1_8 (In Ukrainian)
3. Bondarenko, A.O. (2012). On one of the aspects of the comprehensive solution to the issue of the construction of the Azov Sea - Molochny Liman canal. *Beneficiation of Minerals: Scientific and Technical Collection*, (50(91)), 21-26. Retrieved from <https://ir.nmu.org.ua/jspui/handle/123456789/152093?mode=simple> (In Ukrainian)
4. Kyrychenko, R.I. (2022). Justification of comprehensive scientific studies of aquatic bioresources in Molochny Liman of the Sea of Azov: Master's thesis: Dnipro State Agrarian and Economic University, Biotechnology Faculty, Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture. Dnipro. Retrieved from <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/6263> (In Ukrainian)
5. Demchenko, V.O., Chernychko, R.M., Chernychko, Y.I., Dyadicheva, O.A., Koshelev, O.I., & Demchenko, N.A. (2012). Current state of Molochny Liman as a wetland of international importance. *Nature Conservation in Ukraine*, 18(1-2), 114-119. Retrieved from <http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/2185/1/12218.pdf> (In Ukrainian)
6. Rubinoff, B. G., & Grosholz, E. D. (2022). Biological invasions alter consumer–stress relationships along an estuarine gradient. *Ecology*, 103(6). <https://doi.org/10.1002/ecy.3695>
7. Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A.L., Sánchez-Gil, P., & Day, J.W. (2019). Estuary-sea ecological interactions: a theoretical framework for the management of coastal environments. In K. Withers & M. Nipper (Eds.) *Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Special Publication Series No.1*. Corpus Christi (TX): Texas A&M University; (pp. 271-301). Retrieved from <https://www.hartheresearch.org/sites/default/files/inline-files/14.pdf>
8. Largier, J. & Human, L. (2023). Knysna Estuary — Meeting Place of River and Sea. In A.K., Whitfield, C.M. Breen, & M.Read (Eds.) *Knysna Estuary—Jewel of the Garden Route*. (pp. 97-114). Retrieved from <https://knysnabasinproject.co.za/wp-content/uploads/2024/01/Chapter-5.pdf>
9. Wolanski, E., & Elliott, M. (2015). Estuarine Ecohydrology. An Introduction. Second Edition. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/281119023_Estuarine_Ecohydrology_an_introduction
10. Basic Information about Estuaries. (2024, March 14). *National Estuary Program (NEP)*. Retrieved from <https://www.epa.gov/nep/basic-information-about-estuaries>
11. Why estuaries are important. (2021, December 21). *Environment and Heritage*. Retrieved from <https://www2.environment.nsw.gov.au/topics/water/estuaries/about-estuaries/why-estuaries-are-important>
12. Oxley, Ch. C., & Jurgens, L. J. (2024). Material type affects the community composition and abundance of hard-substrate assemblages in a sedimentary Atlantic estuary. *MEPS*, 727, 35-47. <https://doi.org/10.3354/meps14497>
13. Ivanov, V.M. (2006). Features of the dynamics of hydrological, hydrochemical, and hydroecological indicators of Molochny Liman at the present stage. *Scientific works of UkrNDGMI*, (255), 185-192. (In Ukrainian)
14. Demchenko, V.O. (2011). Fish species of protected categories in water bodies of the north-western part of the Sea of Azov. *Marine Ecological Journal*, 10(4), 40-49. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/323512412_Ribi_ohoronnih_kategorij_vodojm_pivnicno-zahidnoi_castini_Azovskogo_mora (In Ukrainian)
15. Baraboha, N.M., Yarova, T.A., Antonovsky, O.G., & Tkachenko, V.V. (2019). Results of biodiversity studies in the Azov National Natural Park for the period 2011-2017. *Nature Conservation in the Steppe Zone of Ukraine* (dedicated to the 50th anniversary of the creation of the Lugansk Nature Reserve, the 70th anniversary of the Striltsivsky Steppe, the 10th anniversary of the Tryokhizbensky Steppe, and the 90th anniversary of the Provalsky Steppe). (10), 33-40. Retrieved from <http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/5429/> (In Ukrainian)

16. Antonovsky, O.G., Tkachenko, V.V., & Onofrash, K.M. (2020). Results of studies of macrozoobenthos in the water areas of the Azov NPP in 2019. Proceedings of the XI scientific-practical conference "Reclamation and water use. Functioning of technical and technological systems". Melitopol, 61-64. (In Ukrainian)
17. Figueroa, D., Capo, E., Lindh, M.V., Rowe, O.F., Paczkowska, J., Pinhassi, J., & Andersson, A. (2021). Terrestrial dissolved organic matter inflow drives temporal dynamics of the bacterial community of a subarctic estuary (northern Baltic Sea). *Environmental Microbiology*, 23, 4200-4213. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15597>
18. Baraboha, N.M., Yarovi, S.O., & Baraboha, O.P. (2013). Results of biodiversity inventory in the Azov National Natural Park. *Collection of scientific papers of the State Natural Biosphere Reserve "Biodiversity Inventory within Nature Reserve Fund"*, 13, 43-50. (In Ukrainian)
19. Kolomiichuk, V.P. (2002). Floristic and cenotic diversity of the islands of the north-western coast of the Sea of Azov and Sivash. PhD thesis. Kyiv: Institute of Botany named M.G. Holodnyi National Academy of Sciences of Ukraine. Retrieved from <http://geobot.org.ua/files/publication/125/kolomijchuk.pdf> (In Ukrainian)
20. Bren, O.G., Solonenko, A.M., & Podorozhny, S.M. (2022). Species composition of algae in saline coastal water bodies of the Azov National Park. *Algologia*, 32(1), 68-87. <https://doi.org/10.15407/alg32.01.068> (In Ukrainian)
21. Crump, B.C., & Bowen, J.L. (2024). The Microbial Ecology of Estuarine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 16, 335-360. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-022123-101845>
22. Alekseyev, N.A. (1970). Some issues of the hydrochemistry of Molochny Liman. *Proceedings of the All-Union Geographical Society*, 102(47), 382-384. (In Ukrainian)
23. Yankovsky, B.A. (1961). Ichthyofauna of Molochny Liman after its connection with the Sea of Azov. *Scientific Reports of the Higher School*, (3), 44-47. (In Ukrainian)
24. Azov Fish Protection Patrol. (2020, March 13). Retrieved from http://www.azov.darg.gov.ua/index.php?lang_id=1&content_id=765&lp=34 (In Ukrainian)
25. State Statistics Service of Ukraine. (2024, March 29). Retrieved from https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/rg/rg_u/arh_dvbr_reg_u.html (In Ukrainian)
26. The salinity level of the Sea of Azov has almost equaled that of the Black Sea. (2023, October 30) Ecopolitics website. Retrieved from <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/riven-solonosti-azovskogo-morya-majzhe-zrivnyavsyia-z-chornim/> (In Ukrainian)
27. State Agency of Ukraine for Development of Melioration, Fisheries, and Food Programs. (2020, July 27). Retrieved from https://darg.gov.ua/informacija_shchodo_0_1_0_10004_1.html?search=%F1%EE%EB%EE%ED%B3%F1%F2%FC%20%E7%ED%E0%F7%ED%EE%20%EF%E5%F0%E5%E2%E8%F9%F3%EA (In Ukrainian)
28. In Melitopol, the river turned into a stream of white liquid with an unbearable smell. (2023, July 24). Ecopolitics website. Retrieved from <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/u-melitopoli-richka-peretvorilasyia-na-potik-biloi-ridini-z-nesterpnim-zapahom/> (In Ukrainian)

The article was received by the editors 27.07.2024

The article is recommended for printing 20.10.2024

Л. А. ГОРОШКОВА¹, д-р екон. наук, проф.,
професор кафедри екології

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

Ю. Д. КОРНІЙЧУК¹,

студентка

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

¹Національний університет «Києво-Могилянська академія»
вул. Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ І РИЗИКИ ДЛЯ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ В УМОВАХ ВІЙНИ (НА ПРИКЛАДІ МОЛОЧНОГО ЛИМАНУ)

Мета. Дослідження екологічного стану Молочного лиману, який є заказником загальнодержавного значення, частиною Приазовського національного природного парка, водно-болотним угіддям міжнародного значення, що охороняється згідно Рамсарської конвенції.

Методи дослідження. Системний аналіз, використано дані дистанційного зондування, зокрема супутникові знімки Landsat 5, Landsat 8, Sentinel-2, а також програмний інструмент Google Earth Engine.

Результати. Надана характеристика біорізноманіття Молочного лиману та проаналізований вплив рівня солоності водойми на стан її біорізноманіття. Проаналізовані природні та антропогенні чинники впливу на екологічний стан Молочного лиману. Особлива увага приділена аналізу умов забезпечення водообміну з Азовським морем та наслідків його відсутності для біорізноманіття водойми. Проведений аналіз стану та динаміки промислового вилову риби у Азовському морі (Запорізька область) та факторів, що впливають на стан рибних ресурсів. Оцінений вплив війни на екологічну ситуацію у Молочному лимані та визначені шляхи та можливості подолання кризових екологічних наслідків окупації території на етапі повоєнного відновлення.

Висновки. Визначені основні екологічні проблеми Молочного лиману: підвищення солоності, зменшення площі водного дзеркала та біорізноманіття, а також замулення каналів, що з'єднують лиман із Азовським морем. Доведено, що збереження лиману вимагає стабільного водообміну та оптимального рівня солоності, що забезпечить сприятливі умови для нересту та міграції риб, а також підтримання високої продуктивності екосистеми. З початком війни ситуація ускладнилась, виникли додаткові екологічні виклики внаслідок бездіяльності, що у подальшому буде потребувати додаткових зусиль для відновлення біорізноманіття Молочного лиману і Азовського моря.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Молочний лиман, Азовське море, біорізноманіття, екологічна ситуація, солоність води, водообмін, рибні ресурси

Список використаної літератури

1. Воровка В.П., Демченко В.О. Гідроекологічні проблеми Молочного лиману у зв'язку з нестабільним його сполученням з Азовським морем. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2019. Вип. 21. С. 23-33. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-21-02>
2. Воровка В.П., Демченко В.О., Винокурова С.В. Динаміка гідрологічних показників Молочного лиману як гідрологічного заказника загальнодержавного значення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2015. Т. 1(36). С. 46-56. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2015_1_8
3. Бондаренко А.О. Про один з аспектів комплексного вирішення питання будівництва каналу Азовське море - Молочний лиман. *Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. збірник*. 2012. Вип. 50(91). С. 21-26. URL: <https://ir.nmu.org.ua/jspui/handle/123456789/152093?mode=simple>
4. Кириченко Р.І. Обґрунтування комплексних наукових досліджень водних біоресурсів у Молочному лимані Азовського моря : магістер. дипломна робота : 207 , Водні біоресурси та аквакультура / Кириченко Руслан Ігорович; наук. керівник Рожков В.В.; Дніпровський держ. аграр.-економ. ун-т , Ф-т біотехнологічний , Каф. водних біоресурсів та аквакультури. Дніпро, 2022. 51 с. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/6263>
5. Демченко В.О., Черничко Р.М., Черничко Й.І., Дядічева О.А., Кошелєв О.І., Демченко Н.А. Сучасний стан Молочного лиману як водно-болотних угідь міжнародного значення. *Заповідна справа в Україні*. 2012. Т. 18. Вип. 1-2. С. 114-119. URL: <http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/2185/1/12218.pdf>

6. Rubinoff B. G., Grosholz E. D. (2022). Biological invasions alter consumer–stress relationships along an estuarine gradient. *Ecology*. 2022. Vol.103. N 6. URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ecy.3695>
7. Yáñez-Arancibia A., Lara-Domínguez A.L., Sánchez-Gil P., Day J.W. Estuary-sea ecological interactions: a theoretical framework for the management of coastal environments. January 2019. *Coasts and Estuaries* (pp. 377-397) URL: <https://www.hartherresearch.org/sites/default/files/inline-files/14.pdf>
8. Knysna Estuary — Meeting Place of River and Sea. Knysna Estuary—Jewel of the Garden Route C. 97-114. URL: <https://knysnabasinproject.co.za/wp-content/uploads/2024/01/Chapter-5.pdf>
9. Wolanski E., Elliott M. Estuarine ecohydrology. An Introduction. Second Edition. URL: https://books.google.com.ua/books?id=HRZ0AwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=UIMZeEJJP_&dq=connecting%20the%20estuary%20with%20the%20sea&lr&hl=uk&pg=PP1#v=onepage&q=connecting%20the%20estuary%20with%20the%20sea&f=false
10. Basic Information about Estuaries. *National Estuary Program* (NEP). 2024. URL: <https://www.epa.gov/nep/basic-information-about-estuaries>
11. Why estuaries are important. *Environment and Heritage*. 2021. URL: <https://www2.environment.nsw.gov.au/topics/water/estuaries/about-estuaries/why-estuaries-are-important>
12. Oxley, Ch. C., Jurgens, L. J. Material type affects the community composition and abundance of hard-substrate assemblages in a sedimentary Atlantic estuary. *MEPS*. 2024. Vol.727. P.35-47. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps14497>
13. Іванов В.М. Особливості динаміки гідрологічних, гідрохімічних та гідроекологічних показників Молочного лиману на сучасному етапі. *Наукові праці УкрНДГМІ*, 2006, Вип. 255. С. 185-192.
14. Демченко В.О. Риби охоронних категорій водойм північно-західної частини Азовського моря. *Морський екологічний журнал*. 2011. Т. 10. №4. С. 40-49. URL: https://www.researchgate.net/publication/323512412_Ribi_ohoronnih_kategorij_vodojm_pivnicno-zahidnoi_castini_Azovskogo_mora
15. Барабоха Н.М., Ярова Т.А., Антоновський О.Г., Ткаченко В.В. Результати дослідження біорізноманіття Приазовського національного природного парку за період 2011-2017 роки. Заповідна справа у Степовій зоні України (до 50-річчя створення Луганського природного заповідника, 70-річчя Стрільцівського степу, 10-річчя Трохізбенського степу і 90-річчя Провальського степу) (10). С. 33-40. URL: <http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/5429/>
16. Антоновський О.Г., Ткаченко В.В., Онофраш К.М. Результати досліджень макрзообентосу в акваторіях Приазовського НПП у 2019 році. *Матеріали XI-ої науково-практичної конференції «Меліорація та водовикористання. Функціонування техніко-технологічних систем»*. Мелітополь, 2020. С. 61-64.
17. Figueroa D., Capó E., Lindh M.V., Rowe O.F, Paczkowska J., Pinhassi J., Andersson A. 2021. Terrestrial dissolved organic matter inflow drives temporal dynamics of the bacterial community of a subarctic estuary (northern Baltic Sea). *Environ. Microbiol.* Vol. 23. P.4200–4213. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15597>
18. Барабоха Н.М., Яровий С.О., Барабоха О.П. Результати інвентаризації біорізноманіття Приазовського національного природного парку. *Збірник наукових праць ДНБС "Інвентаризація біорізноманіття в межах природно-заповідного фонду"*. 2013. Т. 13. С. 43-50.
19. Коломійчук В.П. Флористична та ценотична різноманітність островів північно-західного узбережжя Азовського моря та Сиваша. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук. 2002. URL: <http://geobot.org.ua/files/publication/125/kolomijchuk.pdf>
20. Брен О.Г., Солоненко А.М., Подорожний С.М. Видовий склад водоростей солоних приморських водойм Приазовського національного парку. *Algologia* 2022. Vol.32. N1. P. 68–87. URL: <https://algologia.co.ua/journal/article/view/32.1.68/33>
21. Crump B.C., and Bowen J. L. The Microbial Ecology of Estuarine Ecosystems. *Annual review of marine science*, 2024. Vol. 16. P. 335 - 360. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-022123-101845>
22. Алексеев Н.А. Деякі питання гідрохімії Молочного лиману. *Вісті Всесоюзного географічного товариства*, Т. 102, № 47, С. 382-384, 1970.
23. Янковський Б.А. Іхтіофауна Молочного лиману після його з'єднання з Азовським морем. *Наукові доповіді вищої школи*. 1961. № 3. С. 44-47.
24. Азовський рибоохоронний патруль. URL: http://www.azov.darg.gov.ua/index.php?lang_id=1&content_id=765&lp=34
25. Державна служба статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/rg/rg_u/arh_dvbr_reg_u.html

26. Рівень солоності Азовського моря майже зрівнявся із Чорним морем. Сайт Екополітика. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/riven-solonosti-azovskogo-morya-majzhe-zrivnyavsya-z-chornim/>
27. Державне агентство України з розвитку меліорації, рибного господарства та продовольчих програм. URL: https://darg.gov.ua/informacija_shchodo_0_1_0_10004_1.html?search=%F1%EE%EB%EE%ED%B3%F1%F2%FC%20%E7%ED%E0%F7%ED%EE%20%EF%E5%F0%E5%E2%E8%F9%F3%EA
28. У Мелітополі річка перетворилася на потік білої рідини із нестерпним запахом. Сайт Екополітика. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/u-melitopoli-richka-peretvorilasya-na-potik-biloi-ridini-z-nesterpnim-zapahom/>

Стаття надійшла до редакції 27.07.2024

Стаття рекомендована до друку 20.10.2024

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-09>

УДК (UDC): 504.062.2+631.4

А. Н. НЕКОС, д-р географ. наук, проф.,

завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти

e-mail: alnekos999@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

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

О. І. ХРІПКО,

старший викладач кафедри фундаментальної та прикладної геології

e-mail: elenahripko@karazin.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8303-7105>

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

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

О. О. БОЛОТОВА, PhD (Економіка), доц.,

адміністратор навчання та викладання

e-mail: Olena.Bolotova@glasgow.ac.uk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4354-4748>

Університет Глазго,

Глазго, G12 8QQ, Шотландія (Велика Британія)

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ҐРУНТІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

Для сталого функціонування агроєкосистем та стійкого забезпечення населення продовольством актуальним є завдання забезпечення екологічної безпеки ґрунтів в умовах використання інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Мета. Визначити вплив інтенсивного вирощування олійних культур на агрохімічні показники та екологічні показники чорноземних ґрунтів в умовах лісостепової зони України

Методи. Польові, лабораторно-аналітичні, метод атомно-абсорбційної спектrophотометрії, статистичний.

Результати. Визначено вплив інтенсивного вирощування олійних культур на сезонну динаміку вмісту біогенних елементів (N, P, K) у чорноземних ґрунтах (на прикладі чорноземів типових). Встановлено суттєве зниження вмісту рухомих форм азоту, фосфору та калію в чорноземах типових за інтенсивного вирощування олійних культур (сояшнику та озимого ріпаку) порівняно з озимою пшеницею. Відзначено, що за більшого рівня природного зволоження інтенсивність виносу біогенних елементів зростає як для олійних культур, так і для озимої пшениці. Встановлено суттєве збільшення концентрацій рухомих форм Zn, Pb, Cu та Cd в чорноземних ґрунтах при вирощуванні олійних культур у порівнянні з їх фоновими концентраціями під природними луками та пасовищами. При насиченні сівозміни озимим ріпаком в ґрунті більше накопичуються Cd та Cu, при переважанні сояшнику – Pb та Zn. В умовах більшого зволоження концентрації рухомих форм всіх досліджуваних металів у ґрунті збільшуються. Наближення середніх за період спостереження концентрацій Cd до нормативного значення свідчить про можливу небезпеку накопичення та забруднення ґрунтів польових сівозмін цим металом.

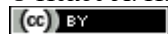
Висновки. Вирощування олійних культур з використанням інтенсивних технологій створює загрозу погіршення стану ґрунтів з двох аспектів: зменшення біогенних елементів в ґрунті та підвищення ризику забруднення ґрунтів важкими металами, особливо Cd.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: екологічна безпека, чорноземний ґрунт, біогенний елемент, важкий метал, агрохімічний показник, інтенсивна технологія, сільськогосподарське землекористування, сояшник, ріпак

Як цитувати: Некос А. Н., Хріпко О. І., Болотова О. О. Екологічна безпека ґрунтів в умовах інтенсивного сільськогосподарського землекористування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 137-146. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-09>

In cites: Nekos, A. N., Khripko, O. I., & Bolotova, O. O. (2024). Environmental safety of soils in conditions of intensive agricultural land use. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (42), 137-146. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-09> (In Ukrainian)

© Некос А. Н., Хріпко О. І., Болотова О. О. 2024



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Вступ

Рослинництво є провідною галуззю сільського господарства України, на яку припадає близько 72 % сільськогосподарської продукції [1]. Впровадження ринкових відносин у сфері сільськогосподарського землекористування сприяло підвищенню продуктивності виробничих процесів, в тому числі за рахунок застосування інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Ці технології передбачають внесення високих доз мінеральних добрив та хімічних засобів захисту рослин для забезпечення високих показників врожайності.

Законом України «Про охорону земель» зазначено, що одним з основних принципів державної політики у сфері охорони земель є «пріоритет вимог екологічної безпеки у використанні землі як просторового базису, природного ресурсу і основного засобу виробництва» [2]. Цей принцип впроваджує у національне законодавство одну з Цілей сталого розвитку, які були прийняті Організацією Об'єднаних Націй у 2015 році як універсальний заклик до дій щодо подолання бідності, захисту планети та забезпечення миру та процвітання для всіх людей до 2030 року: ціль 12 «Відповідальне споживання та виробництво» [3]. Змістом цієї цілі є досягнення економічного зростання та сталого розвитку при одночасному зменшенні екологічних наслідків діяльності. Вивчення впливу виробничих технологій на продуктивність сільського господарства, продовольчу безпеку та екологічну стійкість, а також встановлення балансу між цими складовими вбачається важливим. Прикладом такого напрямку досліджень може бути робота [4].

Є велика кількість досліджень впливу інтенсивних технологій використання сільськогосподарських земель на різні властивості ґрунтів, виконаних в різних країнах. Ці дослідження присвячені, наприклад, проблемам вивчення фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунтів сільськогосподарського використання, в тому числі, в порівнянні з властивостями ґрунтів інших типів землекористування [5, 6, 7], балансу біогенних елементів в ґрунті при вирощуванні різних видів сільськогосподарських культур [8, 9, 10, 11],

проблемі забруднення ґрунтів та сільськогосподарської продукції важкими металами [9, 12, 13], міграції важких металів з ґрунту до сільськогосподарських культур [14, 15, 16, 17], впливу підвищених концентрацій важких металів в ґрунті на врожайність культур, якості рослинної та тваринної продукції та здоров'я людини [18, 19].

Екологічну безпеку ґрунтів будемо розглядати в двох аспектах: по-перше – збереження балансу біогенних елементів як основи стійкої продуктивності сільськогосподарських земель та сталого функціонування ґрунтової екосистеми, по друге – забруднення ґрунтів важкими металами, токсична дія яких впливає як на врожайність культур, так і на безпечність вирощеної сільськогосподарської продукції.

Отримання більшої кількості біопродукції з одиниці площі та вилучення з врожаєм значної кількості хімічних елементів вимагає постійного контролю балансу, перш за все, біогенних елементів в ґрунтах. При цьому, необхідним є врахування ґрунтових властивостей, особливостей застосовуваних агротехнологій і сучасних кліматичних змін, які також впливають на доступність макроелементів для живлення рослин. Оптимізація режиму живлення сільськогосподарських рослин сприяє зменшенню негативного впливу екстремальних метеорологічних умов на їх розвиток.

З іншого боку, внесення високих доз мінеральних добрив та інтенсивне застосування засобів захисту рослин вимагає постійного контролю екологічного стану ґрунтів, перш за все – концентрації важких металів. Тому оцінка агроекологічного стану ґрунтів в процесі інтенсивного вирощування сільськогосподарських культур, постійний моніторинг вмісту основних важких металів у ґрунті та сільськогосподарській продукції є актуальним завданням.

Мета: визначити вплив інтенсивного вирощування олійних культур на агрохімічні показники (вміст біогенних елементів – N, P, K) та екологічні показники (концентрацію важких металів – Zn, Pb, Cu та Cd) чорноземних ґрунтів в умовах лісостепової зони України.

Об'єкт та методи дослідження

Дослідження виконувалось протягом 2021-2022 р.р. на полях ТОВ «Агрофірма Рось» Рокитнянського району Київської області [20]. Територія господарства рівнинна.

Досліджувані поля розташовані на вододільному просторі річок Рось та Салиха. Ґрунт дослідних полігонів представлений чорноземом типовим слабозмитим малогумусним серед-

ньосуглинковим на карбонатному лесі. У 2010 році на досліджуваних полях було організовано 2 польові сівозміни з різною насиченістю олійними культурами: в першій сівозміні в структурі посівних площ до 30% займає озимий ріпак і до 15% соняшник, у другій сівозміні – до 35% соняшник та до 15% озимий ріпак.

Інтенсивна технологія вирощування олійних культур у господарстві включає застосування різноманітних агротехнічних прийомів обробки ґрунту як перед сівбою, так і протягом вегетації культур, внесення мінеральних добрив, застосування засобів боротьби зі шкідниками та хворобами рослин. Технологія вирощування ріпаку озимого після озимих колосових культур складається із дискування на 6-8 см відразу після збирання попередника. За 2-4 тижні до сівби культури проводять оранку на глибину 22-25 см, відразу вирівнюють і ущільнюють ґрунт. В осінній період при появі сходів та утворенні розетки листків кожні три дні спостерігають за появою шкідників (прихованохоботник капустяний і пильщик ріпаковий), за необхідності застосовують інсектициди. В осінній період спостерігають за проявом хвороб і, за необхідності, проводять фунгіцидний обробіток.

Система удобрення ріпаку озимого складається із основного внесення мінеральних добрив в осінній період під оранку. Середні норми добрив складають (в перерахунку на діючу речовину): азот 20-30 кг/га, фосфор 40-60 кг/га, калій 90-120 кг/га, сірка 30-40 кг/га. В весняний період на початку відростання озимого ріпаку по мерзлоталому ґрунту вносять 50-60 кг/га азоту, через 2-3 тижні доза азоту складає 30-35 кг/га, поєднують внесення азоту з мікродобривами: бором 0,3-0,5 кг/га, молібденом 0,2 кг/га. Одночасно контролюють прояви хвороб та появу шкідників: за необхідності під час росту стебла застосовують інсектициди і фунгіциди в бакових сумішах. Під час цвітіння та утворення стручків контролюють прояви хвороб. Іноді застосовують краєві профілактичні інсектицидні обробки проти шкідників. Те саме проводять і під час дозрівання стручків.

Соняшник у сівозміні вирощують після кукурудзи на зерно та колосових культур. Обов'язковим заходом є дискування на різну глибину. Через 2-3 тижні проводиться ора-

нка. В весняний період проводять закриття вологи, передпосівну культивування і сівбу. Система удобрення складається із основного внесення фосфорних і калійних добрив під оранку. У весняний період при сівбі застосовують внесення мінеральних добрив азоту і фосфору. Іноді проводять підживлення карбамідо-аміачною сумішшю КАС-32.

Дослідження проводились протягом вегетаційних періодів 2021 та 2022 років, які відрізнялись за кількістю атмосферних опадів. Сумарна кількість опадів у 2021 році склала 637 мм, у 2022 році – 813 мм (середньорічна кількість опадів для досліджуваної території за даними Білоцерківської метеостанції становить 670 мм). Об'єкт дослідження - чорноземні ґрунти лісостепової зони України в умовах інтенсивного землекористування.

Зразки ґрунту відбиралися згідно з вимогами ДСТУ 4287-2004 та ДСТУ ISO 10381-4-2005 у межах однієї пробної ділянки площею 100 м² методом конверту з формуванням одного середнього зразка. Глибина відбору ґрунтових зразків 0-20 см. Зразки ґрунту відбирали навесні і восени.

Вміст легкогідролізованого азоту в ґрунті визначався методом Корнфілда (ДСТУ 7863:2015), рухомих форм фосфору і калію – за Чириковим (ДСТУ 4115-2002).

Вміст легкогідролізованого азоту та рухомих форм фосфору і калію визначали двічі за вегетацію культур - навесні і восени після їх збирання. За контроль брали вміст досліджуваних біогенних елементів під озимою пшеницею.

Концентрації рухомих форм Pb, Cd, Zn та Cu визначалися методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії.

Оцінка ступеня накопичення важких металів у ґрунті проводилася шляхом розрахунку коефіцієнту накопичення (K_{ci}): $K_{ci} = C_i / C_{fi}$, де C_i – концентрація i -го важкого металу у ґрунті під олійними культурами, C_{fi} – фонові концентрації цього металу у ґрунті під луками та пасовищами, розташованими у межах господарства.

Оцінка екологічного ризику забруднення ґрунтів важкими металами проводилася відносно нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, затверджених постановою КМУ від 15.12.2021 р. № 1325.

Результати та обговорення

Особливості сезонної динаміки запасів поживних речовин в ґрунті при вирощуванні олійних культур. В результаті

проведеного дослідження встановлені особливості сезонної динаміки запасів поживних речовин в ґрунті при вирощуванні олійних

культур в порівнянні з контрольною культурою – озимою пшеницею.

Отримані за результатами дослідження у 2021 році дані (рис. 1) показують, що олійні культури значно більше виносять легко-гідролізовані форми азоту з ґрунту, ніж озима пшениця. За вегетаційний період під озимими ріпаком кількість цієї форми азоту в орному шарі ґрунту в 2021 році зменшилася на 23,9 %. Під соняшником кількість легко-гідролізованого азоту в ґрунті восени також зменшилася на 36,6 % у порівнянні з його вмістом навесні. Таким чином, незважаючи на високі дози внесених мінеральних добрив (N60, P80, K80) відмічається значний винос рухомого азоту олійними культурами та зменшення його запасів в ґрунті після збирання культур. Зменшення кількості елементів живлення, особливо азоту, що легко гідролізується, в орному шарі ґрунту зі збільшенням частки соняшнику в сівозмінах було встановлено й в інших дослідженнях, наприклад Dehtiarova, Z., 2023 [8].

Вміст рухомого фосфору в ґрунті в осінній період порівняно з його вмістом навесні більшою мірою знижується при вирощуванні соняшнику: зменшення склало 10,8 %.

Кількість рухомого калію в ґрунті також суттєво зменшується перед збиранням врожаю: під озимим ріпаком дещо більше, ніж під соняшником (на 2,4 мг/100 г і 1,3 мг/100 г ґрунту відповідно). При цьому запаси рухомого калію протягом вегетації озимої пшениці практично не змінюються і знаходяться в межах 12,5-12,2 мг/100 г ґрунту (на початку та у кінці вегетації відповідно).

Проведені у 2021 році дослідження свідчать про досить значне зниження запасів рухомих форм азоту, фосфору і калію в ґрунті під олійними культурами при значній насиченості ними польових сівозмін.

Вплив зволоження на запаси поживних речовин в ґрунті при вирощуванні олійних культур. Проведені дослідження показали, що виявлені за результатами спостережень у 2021 році особливості зниження

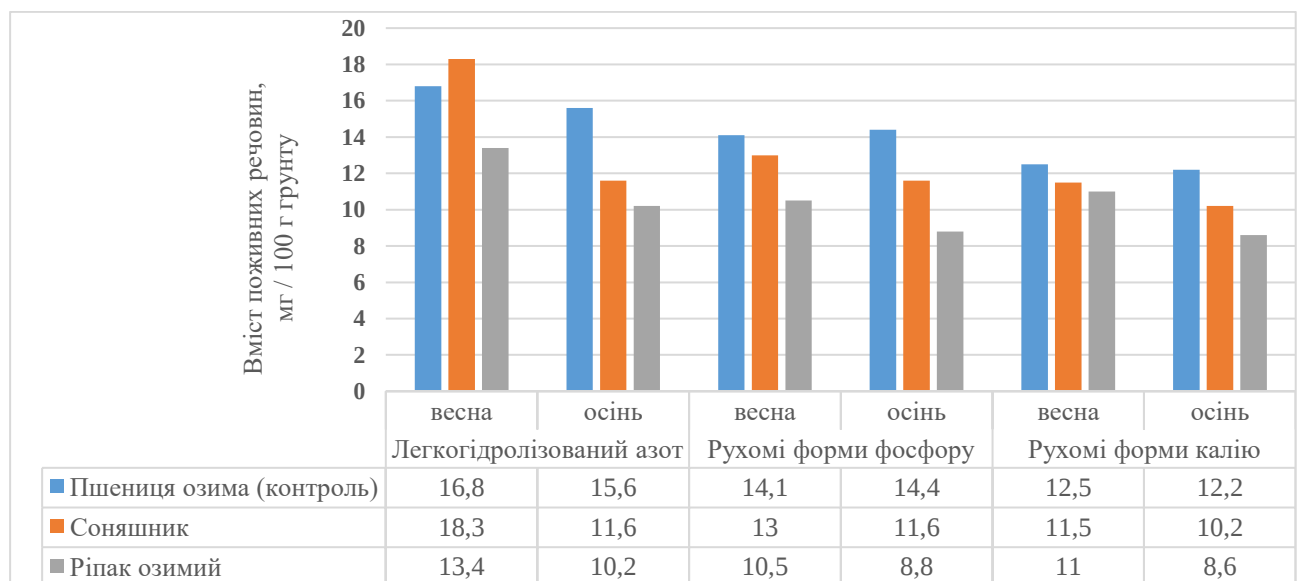


Рис. 1 – Сезонна динаміка поживних речовин в орному шарі ґрунту під олійними культурами в порівнянні з контролем (озимою пшеницею) за даними 2021 року

Fig. 1 – Seasonal dynamics of nutrients in the arable soil layer under oilseed crops compared to the control (winter wheat) according to 2021 data

запасів рухомих поживних речовин в ґрунті зберігаються у 2022 році при вирощуванні як соняшнику, так і озимого ріпаку. При цьому інтенсивність виносу рухомих форм поживних речовин у 2022 році була вищою, що пов'язується з більшою кількістю атмосферних опадів та більшою зволоженістю ґрунту, особливо в період вегетації культур.

Створення оптимального водного режиму ґрунту сприяє збільшенню кількості рухомих форм азоту і фосфору в ґрунті при сівбі олійних культур та значно більшим виносом їх з урожаєм основної та побічної продукції. Особливо високі втрати запасів рухомого фосфору в ґрунті відмічаються при вирощуванні соняшнику -33,1 % (табл. 1). Запаси

Таблиця 1

Втрати поживних речовин за вегетаційний сезон (у %) під олійними культурами та озимою пшеницею в умовах різного зволоження (за даними 2021 р. та 2022 р.)

Table 1

Nutrient losses during the growing season (in %) under oilseeds and winter wheat under different moisture conditions (according to 2021 and 2022 data)

Культура	Легкогідролізований азот		Рухомі форми фосфору		Рухомі форми калію	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Соняшник	-36,6	-27,8	-10,8	-33,1	-11,3	-32,1
Ріпак озимий	-23,9	-29,9	-16,2	-30,6	-21,8	-30,6
Озима пшениця (контроль)	-7,1	-10,6	+2,1	-6,9	-2,4	-10,2

рухомого азоту в ґрунті під соняшником зменшуються на 27,8 % за вегетаційний сезон, рухомого калію – на 32,1 % за вегетаційний сезон. Близькими значеннями характеризується зменшення запасів рухомих форм поживних речовин у ґрунті під озимим ріпак: азоту – на 29,9 %, фосфору – на 30,6 %, калію – на 30,6 %. При цьому втрати запасів рухомих форм поживних речовин у ґрунті під озимою пшеницею є значно меншими: азоту – 10,6 %, фосфору – 6,9 %, калію – 10,2 %.

Дослідження показників концентрації рухомих форм важких металів (ВМ). Забруднення ґрунтів важкими металами є одним

із факторів, що визначають як продуктивність сільськогосподарських культур, так і якість сільськогосподарської продукції. Як відомо, токсичний вплив важких металів на рослини визначається вмістом їх рухомих форм.

Визначено концентрації рухомих форм важких металів, що мають шкідливий вплив на організм людини: Pb, Cd, Zn (1 клас небезпеки) та Cu (2 клас небезпеки) в ґрунті польових сівозмін, а також фонові концентрації цих металів під природними луками та пасовищами. Результати визначення фонових концентрацій рухомих форм важких металів у ґрунтах наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати лабораторних досліджень фонових концентрацій ВМ у ґрунті (під природними луками та пасовищами) (2021 - 2022 р.р.)

Table 2

Results of laboratory studies of background concentrations of HM in soil (under natural meadows and pastures) (2021 - 2022)

Показник	Фонova концентрація ВМ у ґрунті, мг/кг			ГДК *, мг/кг
	2021 р.	2022 р.	Середні значення	
Zn	0,05	0,05	0,05	23,0
Cu	0,008	0,012	0,01	03,0
Pb	0,50	0,74	0,62	6,0
Cd	0,24	0,30	0,27	0,7

* Значення наведені згідно з «Нормативи гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також перелік таких речовин», затверджених Постановою Кабінету Міністрів України 15 грудня 2021 року № 1325

* The values are given in accordance with the "Standards for maximum permissible concentrations of hazardous substances in soils, as well as the list of such substances", approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 15, 2021 No. 1325

Встановлено, що фонові концентрації важких металів в ґрунті є значно нижчим за нормативи гранично допустимої концентрації. Нижчою за нормативне значення, але меншою мірою в порівнянні з іншими металами, є фонові концентрації Cd (менша за ГДК у 2,6 рази).

Для оцінки ступеня накопичення важких металів у ґрунті польових сівозмін роз

раховано коефіцієнти накопичення (K_{ci}). Результати (табл.3) свідчать про значне накопичення важких металів у ґрунті при застосуванні інтенсивних технологій вирощування олійних культур. Найбільші значення коефіцієнту накопичення встановлені для Cu – 100 та для Zn – біля 15. Найменше зростає концентрація Cd у порівнянні з фоновими значеннями

Таблиця 3

Коефіцієнти накопичення (K_{ci}) рухомих форм ВМ в ґрунті при вирощуванні олійних культур

Table 3

Accumulation coefficients (Ac_i) of mobile forms of HM in soil when growing oil crops

Важкі метали	Перша сівозмiна (переважання озимого рiпаку)			Друга сівозмiна (переважання соняшнику)		
	2021 р.	2022 р.	середнє	2021 р.	2022 р.	середнє
Zn	12,00	17,20	14,60	12,6	17,40	15,00
Cu	117,50	101,67	108,00	98,75	94,17	96,00
Pb	3,62	3,15	3,34	5,34	4,07	4,58
Cd	1,96	2,50	2,26	1,75	2,27	2,04

– у 2,15 рази. Але, враховуючи порівняно високі значення фонових концентрацій цього металу, результатом такого накопичення є наближення концентрацій Cd в ґрунтах польових сівозмiн до нормативних значень: в середньому – 0,55-0,61 мг/кг.

Збільшення концентрації важких металів у ґрунтах ріллі у порівнянні з ґрунтами під багаторічними травами та багаторічними насадженнями були отримані й в інших дослідженнях, проведених в умовах Правобережного Лісостепу України, наприклад [21].

Відмінності концентрацій досліджуваних важких металів у ґрунті під різними сівозмiнами виявилися незначними (табл. 4). При більшому насиченні сівозмiни озимим рiпаком (перша сівозмiна) в ґрунті дещо більше накопичуються Cd (0,61 мг/кг проти 0,55 мг/кг у другій сівозмiні) та Cu (1,08 мг/кг проти 0,96 мг/кг у другій сівозмiні). При більшій частці у сівозмiні соняшнику (друга сівозмiна) дещо більше накопичується Pb (2,84 мг/кг проти 2,07 мг/кг у першій сівозмiні) та Zn (0,75 мг/кг проти 0,73 мг/кг у першій сівозмiні).

Таблиця 4

Середні за період спостережень концентрації рухомих форм ВМ в орному шарі ґрунту (2021- 2022 р.р.)

Table 4

Average concentrations of mobile forms of PM in the arable soil layer for the observation period (2021-2022)

Важкі метали	Норматив ГДК, мг/кг	Фонова концентрація у ґрунті під природними луками та пасовищами		Перша сівозмiна (переважання озимого рiпаку)		Друга сівозмiна (переважання соняшнику)	
		середнє, мг/кг	у відносних одиницях до нормативу	середнє, мг/кг	у відносних одиницях до нормативу	середнє, мг/кг	у відносних одиницях до нормативу
Zn	23,0	0,05	0,002	0,73	0,032	0,75	0,033
Cu	3,0	0,01	0,003	1,08	0,360	0,96	0,320
Pb	6,0	0,62	0,103	2,07	0,345	2,84	0,473
Cd	0,7	0,27	0,386	0,61	0,871	0,55	0,786

Вплив зволоження на концентрації важких металів у ґрунті. Окремим етапом виконувалися дослідження впливу мінливості кількості опадів протягом періоду спостережень (2021-2022 р.р.) на показники концентрації важких металів у ґрунтах в умовах інтенсивного землекористування.

Аналіз отриманих результатів (табл. 3) свідчить, що в умовах вегетаційного періоду

2022 року при більшому зволоженні концентрація рухомих форм важких металів у ґрунті збільшується порівняно зі значеннями більш сухого 2021 року. Ця закономірність простежується для всіх важких металів, що вивчалися. Але навіть в умовах більшої зволоженості концентрації Zn, Pb та Cu були значно нижчими за нормативних значень (Zn – 0,03*ГДК, Cu – 0,32*ГДК, Pb – 0,47*ГДК).

Виключенням є Cd, концентрації якого виявились наближеними до нормативного значення при переважанні у сівозміні соняшнику ($0,97 \cdot \Gamma\text{ДК}$) та незначно перевищили норматив при переважанні у сівозміні озимого ріпаку ($1,07 \cdot \Gamma\text{ДК}$).

Доволі низькі концентрації у ґрунті рухомих форм Zn та Cu дозволяють говорити про них не як про забруднювачів, а як про мікроелементи, необхідні рослинам для забезпечення процесів метаболізму та реалізації потенціалу росту. Як відомо, ґрунти з вмістом $\text{Zn} < 1 \text{ мг/кг}$, $\text{Cu} < 0,5 \text{ мг/кг}$ вважаються низько забезпеченими цими мікроелементами. Отримані у дослідженні данні свідчать про дуже низьку забезпеченість ґрунтів господарства цинком, що є характерним для більшої частини сільськогосподарських земель

України. За результатами X туру (2011-2015 р.р.) агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення України, проведеного Інститутом охорони ґрунтів України [22], дуже низький та низький ступінь забезпеченості рухомими сполуками Zn (менше $0,8 \text{ мг/кг}$ ґрунту) в встановлений на 90% від обстежених ($18,7 \text{ млн. га}$) площ. Навіть значне, в 12-17 разів, накопичення Zn у ґрунті при застосуванні інтенсивних технологій вирощування олійних культур не компенсує нестачі цього мікроелементу в ґрунтах, які не зазнають такого антропогенного навантаження (під природними луками та пасовищами). Забезпеченість ґрунтів польових сівозмін господарства міддю покращилась в результаті застосування інтенсивних технологій та є близькою до оптимального рівня.

Висновки

Встановлено суттєве зниження запасів важливих поживних елементів – азоту, фосфору та калію – в чорноземних ґрунтах при інтенсивному вирощуванні олійних культур (соняшнику та озимого ріпаку) в порівнянні з озимою пшеницею. Найбільше знизився вміст легкогідролізованого азоту в ґрунті під соняшником: винос був майже у 5 разів вищим за втрати легкогідролізованого азоту при вирощуванні озимої пшениці.

В умовах більшого зволоження інтенсивність виносу біогенних елементів зростає як для олійних культур, так і для озимої пшениці. Найбільше зростання виносу встановлене для водорозчинного фосфору: під соняшником – втричі, а під озимим ріпаком майже вдвічі у більш вологому 2022 році в порівнянні з більш посушливим 2021 роком. Винос з ґрунту водорозчинних форм азоту, фосфору та калію в умовах більшого зволоження зріс також і під озимою пшеницею, але за абсолютними показниками був у 2,6-4,8 разів меншим, ніж під олійними культурами.

Інтенсивні технології вирощування олійних культур спричинили суттєве збільшення концентрацій рухомих форм важких металів (Zn, Pb, Cu, Cd) в чорноземних ґрун-

тах у порівнянні з їх фоновими концентраціями. Найбільше зросли середні концентрації Cu та Zn, меншою мірою – Pb та Cd. Величина зростання концентрації важких металів у ґрунті польових сівозмін залежали від переважання конкретної олійної культури. При більшому насиченні сівозміни озимим ріпаком в ґрунті накопичувались Cd та Cu. При більшій частці у сівозміні соняшнику накопичувались Pb та Zn. В умовах більшого зволоження концентрації рухомих форм всіх ВМ у ґрунті збільшуються. Найбільше збільшились концентрації Pb під соняшником та Cd під озимим ріпаком. Концентрації Cd наблизились до нормативних значень, а концентрації інших важких металів значно нижче за норматив, що дозволяє зробити висновок про відсутність екологічного ризику забруднення ґрунтів Zn, Pb та Cu при використанні інтенсивних технологій вирощування олійних культур та можливу небезпеку накопичення та забруднення ґрунтів Cd за умови подальшого використання цих технологій.

Враховуючи, що концентрації Zn в ґрунті польових сівозмін відповідають низькій його забезпеченості цим мікроелементом, необхідно вживати додаткових заходів для оптимізації мікроелементного живлення сільськогосподарських культур.

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.

Відповідність проєкту

Дослідження виконане в межах науково-дослідної роботи № БФ/32-2022 «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Математичні науки та природничі науки» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна».

Список використаної літератури

1. Зав'ялова Л. В. Україна: сільське господарство. *Велика українська енциклопедія*. URL: <https://vue.gov.ua/Україна: сільське господарство> (дата звернення: 24.10.2024).
2. Про охорону земель: Закон України від 19.06.2003 р. № 962-IV : станом на 08.11.2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення: 24.10.2024).
3. Програма розвитку ООН. Цілі сталого розвитку до 2030 року. URL: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> (дата звернення: 24.10.2024).
4. Wang X., Du R., Cai H., et al. Assessing the impacts of technological change on food security and climate change mitigation in China's agriculture and land-use sectors. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 107, 2024, 107550, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107550>
5. Panday D., Ojha R. B., Chalise D., et al. Spatial variability of soil properties under different land use in the Dang district of Nepal. *Cogent Food & Agriculture*. 2019. Vol. 5(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1600460>
6. Haile G., Itanna F., Teklu B., Agegnehu G., & Wang, X. Variation in soil properties under different land use types managed by smallholder farmers in central Ethiopia. *Sustainable Environment*, 2022. Vol. 8. N 1. DOI: <https://doi.org/10.1080/27658511.2022.2093058>
7. Krainiukov O., Nekos A., Kochanov E., Buts Yu., Miroshnychenko I. Biomonitoring of soil quality within the limits of the oil refining enterprise. *14th International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 10-13 November 2020, Kyiv, Ukraine. P. 49-51. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056064>
8. 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. N 2. P. 87-95. DOI: <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/2.2023.87>
9. Tkachuk O., Gucol G., Mazur O., Verhelis V., Titarenko O. Ecological safety of sunflower seeds in the conditions of agricultural intensification. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27. N 1. P. 71-79. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor1.2024.71>
10. Nekos A., Zakharova M., Khripko O. Seasonal Dynamics of Plant Nutrient Content in Soils Under Conditions of Intensive Land Use. *International EuroAsia Congress on Scientific Researches and Recent Trends 12 (29-30.11.2023, Ankara TÜRKİYE)* : Proceedings Book. P. 242. URL: <https://www.euroasiasummit.org/en/books>
11. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Мартинюк А. Т., Бойко В. П. Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами польової сівозміни за різного удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство : міжвід. тем. наук. збірник*. Харків: ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". 2021. Вип. 91. С.31-40. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss91-04>
12. Huang X., Li X., Zheng L., et al. Comprehensive assessment of health and ecological risk of cadmium in agricultural soils across China: A tiered framework. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 465, 5 March 2024, 133111. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389423023956>
13. Xie G., Yang Y., Hou Y., Wang B., Chen W. Evaluating the trade-offs between nutrient and cadmium levels in soils in northeastern China: Accounting for variations in soil factors. *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 169, 112795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112795>
14. Хріпко О. І., Свиридов С. А. Важкі метали в системі "ґрунт – рослина – сільськогосподарська продукція". *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2023: зб. мат. XXV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 27-28.04.2023 р.)*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. С. 59-60. URL: https://ecology.karazin.ua/tezi-xxv_mezhd-konf-2023
15. Разанов С.Ф., Вдовенко С.А., Коминар М.Ф., Недашківський В.М., Качмар Н.В. Вплив мінерального удобрення ґрунтів на інтенсивність накопичення радіоцезію та важких металів у квітковому пилку соняшнику. *Агробіологія : зб. науков. праць*. 2022. № 2. С. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-79-86>
16. Khaliq M.A., James B., Chen Y. H., et al. Uptake, translocation, and accumulation of Cd and its interaction with mineral nutrients (Fe, Zn, Ni, Ca, Mg) in upland rice. *Chemosphere*. 2019. Vol. 215. P. 916-924. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.077>
17. Biletska Ya. O., Nekos A. N., Bekhter A. O., Krivtsova A. S., Brayninger O. I. Ways of optimization of lead-polluted black earth soils in the soil-plant system. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. 2021. Vol. 55. P. 257-273. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-19>
18. Гриньова Я. Г., Криштоп Є. А. Проблеми забруднення навколишнього середовища важкими металами та шляхи їх подолання. *Інженерія природокористування*. 2021. № 1 (19). С. 111-119. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6904034>
19. Тохтарь К. І., Гаврилюк Ю. В. Чи можливе безпечне використання пестицидів? *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник*. Харків: ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". 2020. Вип. 90. С. 76-85. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-08>
20. Свиридов С. Екологічна безпека ґрунтів при вирощуванні олійних культур для виробництва біопалива (Керів. О. Хріпко). Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. 49 с. (рукопис)

21. Гуцол Г. В. Моніторинг забруднення важкими металами ґрунтів сільськогосподарського призначення Правобережного Лісостепу. *Slovak international scientific journal*. 2020. № 40. С. 12-17. URL: <http://soc-rates.vsau.org/repository/getfile.php/24941.pdf>
22. Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України за результатами X туру (2011-2015 рр.) / за ред. І. П. Яцука; ДУ «Інститут охорони ґрунтів України». Київ, 2018. URL: <https://www.iogu.gov.ua/link/directions/edition.html>

Стаття надійшла до редакції 25.10.2024

Стаття рекомендована до друку 27.11.2024

A. N. NEKOS, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

e-mail: alnekos999@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

V. N. Karazin Kharkiv National University,

4, Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

O. I. KHRIPKO,

Lecturer of the Department of Fundamental and Applied Geology

e-mail: elenahripko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8303-7105>

V. N. Karazin Kharkiv National University,

4, Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

O. O. BOLOTOVA, PhD (Economics), Associate Professor

Learning and Teaching Administrator

e-mail: Olena.Bolotova@glasgow.ac.uk ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4354-4748>

University of Glasgow

Glasgow, G12 8QQ, Scotland

ENVIRONMENTAL SAFETY OF SOILS IN CONDITIONS OF INTENSIVE AGRICULTURAL LAND USE

For the sustainable functioning of agroecosystems and sustainable food supply of the population, the task of ensuring the ecological safety of soils in the conditions of using intensive technologies for growing agricultural crops is relevant.

Purpose. To determine the impact of intensive cultivation of oil crops on agrochemical indicators and environmental indicators of chernozem soils in the conditions of the forest-steppe zone of Ukraine

Methods. Field, laboratory-analytical, atomic absorption spectrophotometry method, statistical.

Results. The impact of intensive cultivation of oil crops on the seasonal dynamics of the content of biogenic elements (N, P, K) in chernozem soils (using the example of typical chernozems) was determined. A significant decrease in the content of mobile forms of nitrogen, phosphorus and potassium in chernozems typical of intensive cultivation of oil crops (sunflower and winter rapeseed) compared to winter wheat was established. It is noted that at higher levels of natural moisture, the intensity of nutrient removal increases for both oilseed crops and winter wheat. A significant increase in the concentrations of mobile forms of Zn, Pb, Cu and Cd in chernozem soils when growing oilseed crops was established in comparison with their background concentrations under natural meadows and pastures. When the crop rotation is saturated with winter rapeseed, Cd and Cu accumulate more in the soil, and when sunflower predominates, Pb and Zn. Under conditions of higher moisture, the concentrations of mobile forms of all studied metals in the soil increase. The approach of the average Cd concentrations over the observation period to the normative value indicates a possible danger of accumulation and contamination of soils of field crop rotations with this metal.

Conclusions. Growing oilseed crops using intensive technologies poses a threat of soil deterioration from two aspects: a decrease in biogenic elements in the soil and an increase in the risk of soil contamination with heavy metals, especially Cd.

KEYWORDS: ecological safety, chernozem soil, soil nutrients, heavy metal, agrochemical indicator, intensive technology, agricultural land use, sunflower, rapeseed

References

1. Zavyalova, L. V. (2022, April 04). Ukraine: agriculture. Great Ukrainian Encyclopedia. Retrieved from <https://vuc.gov.ua/Україна: сільське господарство> (In Ukrainian)

2. Law of Ukraine "On Land Protection". (2003). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (In Ukrainian)
3. United Nations Development Programme. Sustainable Development Goals 2030. Retrieved from <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
4. Wang, X., Du, R., Cai, H., Lin, B., Dietrich, J. Ph., Stevanović, M.,...Popp A. (2024). Assessing the impacts of technological change on food security and climate change mitigation in China's agriculture and land-use sectors. *Environmental Impact Assessment Review*, 107, 107550. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107550>
5. Panday, D., Ojha, R. B., Chalise, D., Das, S., Twanabasu, B., & Tejada Moral, M. (2019). Spatial variability of soil properties under different land use in the Dang district of Nepal. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1600460>
6. Haile, G., Itanna, F., Teklu, B., Agegnehu, G., & Wang, X. (2022). Variation in soil properties under different land use types managed by smallholder farmers in central Ethiopia. *Sustainable Environment*, 8(1). <https://doi.org/10.1080/27658511.2022.2093058>
7. Krainiukov, O., Nekos, A., Kochanov, E., Buts, Yu. & Miroshnychenko, I. (2020). Biomonitoring of soil quality within the limits of the oil refining enterprise. *Proceedings of the 14th International Scientific Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, (10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine. pp. 49-51). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056064>
8. 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>
9. Tkachuk, O., Gucol, G., Mazur, O., Verhelis, V., & Titarenko, O. (2024). Ecological safety of sunflower seeds in the conditions of agricultural intensification. *Scientific Horizons*, 27(1), 71-79. <https://doi.org/10.48077/scihor1.2024.71>
10. Nekos, A. Zakharova, M. & Khripko, O. (2023). Seasonal Dynamics of Plant Nutrient Content in Soils Under Conditions of Intensive Land Use (p. 242). *International EuroAsia Congress on Scientific Researches and Recent Trends 12 (29-30.11.2023, Ankara TÜRKİYE). Proceedings Book.*, Retrieved from <https://www.euroa-siasummit.org/en/books>
11. Gospodarenko, G. M., Chernov, O. D., Martyniuk, A. T. & Boyko, V. P. (2021). Removal of basic nutrients from the soil by field crop rotations with different fertilizers. *Agrochemistry and Soil Science. Interdisciplinary thematic scientific collection*. Kharkiv: The NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", 91, 31-40. <https://doi.org/10.31073/acss91-04> (In Ukrainian)
12. Huang, X., Li, X., Zheng, L., Zhang, Y., Sun, L., Yanhong Feng, Y.,...Wang, G. (2024). Comprehensive assessment of health and ecological risk of cadmium in agricultural soils across China: A tiered framework. *Journal of Hazardous Materials*. 465, 33111. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133111>
13. Xie, G., Yang, Y., Hou, Y., Wang, B. & Chen, W. (2024). Evaluating the trade-offs between nutrient and cadmium levels in soils in northeastern China: Accounting for variations in soil factors. *Ecological Indicators*, 169, 112795. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112795>
14. Khripko, O. I. & Svyrydov S. A. (2023). Heavy metals in the system "soil – plant – agricultural products". Ecology, environmental protection and balanced nature management: education – science – production – 2023: collection materials of the XXV International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, April 27-28, 2023) (pp. 59-60). Kharkiv: V. N. Karazin KhNU. Retrieved from https://ecology.karazin.ua/tezi-xxv_mezhd-konf-2023 (In Ukrainian).
15. Razanov, S., Vdovenko, S., Komynar, M., Nedashkivskyi, V. & Kachmar N. (2022). The influence of soil mineral fertilization on the intensity of accumulation of radiocesium and heavy metals in sunflower pollen. *Agrobiology*, 2, 79–86. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-79-86> (In Ukrainian)
16. Khaliq, M.A., James, B., Chen, Y. H., Saqib, H. S. A., Li, H. H., Jayasuriya, P. & Gu, W. (2019). Uptake, translocation, and accumulation of Cd and its interaction with mineral nutrients (Fe, Zn, Ni, Ca, Mg) in upland rice. *Chemosphere*, 215, 916-924. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.077>
17. Biletska Ya. O., Nekos A. N., Bekhter A. O., Krivtsova A. S. & Brayninger O. I. (2021). Ways of optimization of lead-polluted black earth soils in the soil-plant system. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 257-273. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-19>
18. Hrynova, Y. & Kryshtop, Y. (2021). "Heavy metals pollution problems and ways to overcome them", *Scientific journal «Engineering of nature management»*, (1(19), 111-119. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6904034> (In Ukrainian)
19. Tokhtar, K., & Gavrilyuk, Y. (2020). Is it possible to use pesticides safely?. *AgroChemistry and Soil Science*, 90, 76-85. <https://doi.org/10.31073/acss90-08> (In Ukrainian)
20. Svyrydov, S. (2023). Ecological safety of soils during the cultivation of oilseed crops for biofuel production. (Supervisor: O. Khripko). Kharkiv: V. N. Karazin KhNU. (manuscript) (In Ukrainian)
21. Hutsol, G. V. Monitoring of heavy metal contamination of agricultural soils of the Right-Bank Forest-Steppe (2020). *Slovak international scientific journal*, (40), 12-17. Retrieved from <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/24941.pdf> (In Ukrainian)
22. Scientific research on monitoring and surveying of agricultural lands of Ukraine according to the results of the X round (2011-2015). (2018). Edited by I. P. Yatsuk; State Institution "Institute of Soil Protection of Ukraine". Kyiv. Retrieved from <https://www.iogu.gov.ua/link/directions/edition.html> (In Ukrainian)

The article was received by the editors 25.10.2024

The article is recommended for printing 27.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-10>

УДК (UDC): 502.3/.7 504.062.2 504.062.4

І. О. ЗОЗУЛЯ,

аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності

e-mail: ivanov11dfnz@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-6024-5498>

Уманський національний університет садівництва

вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська область, Україна

ЗМІНИ У СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА 10 РОКІВ

Виробнича типологія сільського господарства є чи ненайдавнішим напрямком географічних досліджень сільського господарства, який йде корінням у XIX століття. Проте, падіння його популярності у останні десятиліття ми пов'язуємо з надзвичайно складною та працевитратною методикою, яка передбачає обробку великих масивів даних. Надзвичайно актуальними є оцінки екологічного впливу на ландшафти певних сполучень галузей. Актуальними сьогодні є також оцінки екологічних послуг, які здійснюються агроєкосистемами.

Мета. Обґрунтування екологічно толерантної спеціалізації фермерських господарств з позицій агроєкосистемної динаміки за 10 років (2014-2024), притаманної умовам і ресурсам Черкаської області.

Методи. Польові, картографічні, статистичні, системний аналіз.

Результати. Виділення виробничих типів господарств в динаміці на території Черкаської області (2014-2024 роки) дозволяє наблизитись до оцінок екологічних послуг. Зокрема, відмічене зростання майже вшестеро кількості господарств у 2024 році порівняно з 2014 роком дозволяє констатувати тенденцію до зменшення площі окремого фермерського господарства, що в цілому свідчить про «вписання» землекористування у наявну структуру ландшафтів. Проте, сподівання на підтримку реального біорізноманіття агроєкосистем, що формуються у Черкаській області, ще тривалий час залишатимуться марними. Серед виділених типів сільського господарства переважають монокультурні. Напевне, під впливом законів ринкової економіки фермери намагаються отримати максимальний прибуток від землі. Запропоновано окремі заходи подолання зазначених протирічч

Висновки. В умовах надінтенсивного сільського господарства головні теоретичні підходи типології сільського господарства можуть заграти новими більш яскравими барвами. Можливим шляхом «вписання» спеціалізації сільського господарства в наявні природні ландшафти та екосистеми може бути з одного боку зменшення розміру одного господарства, а з іншого боку урізноманітнення екосистемних відносин через мішану сівбу зерносумішей (з бобовими), збільшення частки сіножатей та пасовищ.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: виробничий тип, сільське господарство, агроєкосистема, агроландшафт

Як цитувати: Зозуля І. О. Зміни у спеціалізації сільського господарства Черкаської області за 10 років. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 147-160 DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-10>

In cites: Zozulia, I.O. (2024). Changes in the agriculture specialization Cherkasy region over 10 years. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (42), 147- 160. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-10> (in Ukrainian)

Вступ

Проблема, на розв'язання якої спрямоване дослідження має високий рівень *актуальності*, оскільки брак узагальнених даних про виробників сільськогосподарської продукції на рівні адміністративної області дуже часто призводить до ухвалення некоректних

рішень щодо розвитку певної спеціалізації. Це в свою чергу приводить до впровадження таких систем сільського господарства, які є ворожими місцевим екосистемам і в кінцевому підсумку руйнують їх, в той же час призводячи до катастрофічного зниження продук-



тивності земель. Загальновизнано, що продуктивність сільського господарства має зростати, щоб впоратися з зростаючим попитом на продовольство з боку зростаючого населення на фоні відносно негнучкої площі орної землі. При цьому визнається, що сучасні інтенсивні сільськогосподарські технології, які були основним джерелом підвищення продуктивності в останні десятиліття, не сприяють екологічній стійкості сільського господарства. Крім того, оскільки люди стикаються зі зростанням населення, збільшенням попиту на продукти харчування, зміною клімату та глобалізацією сільськогосподарських ринків, сільськогосподарські ландшафти зазнають безпрецедентних трансформацій. Тому актуальним є завдання підвищення продуктивності сільського господарства без шкоди для потоку цінних екосистемних послуг [1].

Отже, головна **мета** дослідження – обґрунтування екологічно толерантної спеціалізації фермерських господарств з позицій агроекосистемної динаміки, притаманної умовам і ресурсам області.

Доведення не випадковості і навіть еволюційної закономірності певних поєднань галузей спеціалізації сільського господарства в межах конкретних агроекосистем формує новизну наукового дослідження.

Формування мети дослідження виходить з уявлення про те, що в умовах будь якої природної зони (зокрема лісостепової зони України) в процесі ноосферогенезу формуються тісно адаптовані до природного середовища агроекосистеми, а конкретно, існує відповідність виробничої спеціалізації сільського господарства та ресурсів природних екосистем.

Дослідження вимагає вирішення наступних наукових завдань:

- дослідження просторово-часової динаміки агроекосистем, які формуються на території Черкаської області;
- розробка геоінформаційної моделі виробничих типів сільського господарства з метою дослідження змін, що сталися в спеціалізації фермерських господарств за 10 років;
- проведення сільськогосподарського районування Черкаської області з метою встановлення динаміки та просторових закономірностей розвитку агроекосистем, в тому числі і під впливом змін клімату.

Власне, на сучасному етапі автор завершує дослідження агроекосистем на низово-

му просторовому рівні – рівні фермерського господарства. Ключовою проблемою тут є контраст між двома поглядами на взаємодію між сільськогосподарським виробництвом та екологічними процесами. З одного боку, конкурентне бачення сільськогосподарського виробництва, яке домінувало в сільськогосподарській практиці в індустріальних країнах, підтримує підхід, який регулює середовище таким чином, щоб забезпечити умови вирощування для цільової групи культур оптимізовано, тоді як для конкуруючих видів (наприклад, «бур'янів» і «шкідників») ці умови навмисно погіршуються. Зараз цей підхід ставиться під сумнів, оскільки він ігнорує добре відомі взаємодії між видами, а також низку процесів, які сприяють короткостроковій та довгостроковій продуктивності сільського господарства [2].

Альтернативна точка зору припускає, що продуктивність у довгостроковій перспективі більше пов'язана з обслуговуванням конкретних функцій екосистеми, а не кількістю видів як таких. Крім того, агробіорізноманіття, ймовірно, покращить функціонування агроекосистеми, коли є сукупності видів, присутність яких призводить до унікальних або додаткових впливів на функціонування екосистеми [3].

Ці контрастні ефекти вказують на неоднозначний зв'язок між продуктивністю та агробіорізноманіттям, оскільки збереження несільськогосподарських видів вводить компроміс між посиленням прямої конкуренції з видами сільськогосподарських культур (за землю, світло, поживні речовини, вологу і т.д.) і посилення підтримки, яку ці види надають функціям агроекосистеми (наприклад, таких як переробка поживних речовин, біологічний контроль шкідників, запилення тощо), які сприяють продуктивності сільськогосподарських культур.

Розглядається роль збереження агробіорізноманіття як засіб підвищення буферної здатності агроекосистеми. Біорізноманіття розглядається як певне поєднання окремих галузей сільського господарства в межах конкретного фермерського господарства.

У практиці світового сільського господарства доволі частою є вища загальна продуктивність більш різноманітних екосистем з більшою кількістю видів або більшим генетичним різноманіттям усередині видів порівняно з більш простими системами. Це не нова

ідея [4]. Tilman D. і його колеги задокументували це найбільш детально для (несільськогосподарських) екосистем прерій, де, наприклад, ділянки з 16 видами виробляли в 2,7 рази більше біомаси, ніж монокультури [5]. В якості прикладу сільськогосподарських систем, Bullock et al. [6] створили багаті та бідні на види сіножаті; через вісім років багатші луки дали на 43% більше сіна, ніж поля з бідними видами. І цей ефект був досягнутий не просто завдяки удобрювальним ефектам більшої кількості бобових культур на більш різноманітних полях. Ця закономірність є в цілому вірною для луків по багатьох країнах [7]. Суміші сортів ячменю в Польщі загалом перевищували середню врожайність сортів у чистих насадженнях [8]. Підвищення продуктивності також пов'язане з більшою стабільністю врожаю; Тільман та ін. показують, що ділянки з високим рівнем різноманітності були на 70% більш стабільними ніж монокультури.

Методика дослідження

Головним об'єктом дослідження є агроєкосистеми які формуються в агроландшафтах Черкаської області.

Умови проведення дослідження окреслюють як природні ландшафти області, так і ті агроландшафти, що сформовані в процесі сільськогосподарського використання земель. Найактивнішими землекористувачами є фермерські господарства. Саме на їхніх земельних ділянках завдяки підтримці певного типу сільського господарства (спеціалізації) сформовані (або ще формуються) екосистемні відносини.

Методика проведення досліджень детально викладена у цілому переліку авторських публікацій, які є результатом слідування науковим традиціям, які склались у науковій школі Уманського національного університету садівництва [10 – 14] якого за цією

Міра стабільності Тільмана – відношення середньої загальної біомаси ділянки до стандартного відхилення за час – це лише одна з версій стабільності, і екологи давно обговорюють зв'язок між складністю і різними показниками стабільності в екосистемах і харчових ланцюгах [9].

У спрощеному господарстві фермери повинні заздалегідь вирішити, які сорти культур вони будуть вирощувати в будь-якій ситуації. Залежно від таких факторів, як умови вирощування та ринку, це створює потенціал як для високих врожаїв так і невдачі, що відображається у великій річній різниці врожайності.

Експериментальні дослідження та широкомасштабні польові випробування показали, що біорізноманіття сільського господарства може зменшувати дисперсію, сприяючи таким чином цьому конкретному типу стабільності врожайності.

тематикою охоплюють часовий період понад 30 років [15, 16, 17].

Основу головного масиву даних для моделювання екосистемних відносин у фермерських господарствах Черкаської області склали відкриті джерела [18, 19].

Важливо відзначити, що дослідження проведено в динаміці по усьому масиву фермерських господарств у 2014 та у 2024 році. Усі дані були проаналізовані та у подальшому сгруповані у відповідні типи сільськогосподарських підприємств. Всього на території Черкаської області у 2014 році працювало 375 фермерських господарств а у 2024 році 1808. У 2014 році були виділені 9 головних типів сільського господарства з 39 підтипами. У 2024 році сформовано 11 головних типів сільського господарства з 75 підтипами.

Результати

Чи не головним припущенням нашої методології у уявленні про те, що біорізноманіття – головна запорука екологічної сталості агроєкосистем. Наприклад, в роботі [20] наводяться дані що в Бразилії 10–20 га агролісогосподарського саду приносить чистий прибуток, порівнянний з 1000 га пасовища великої рогатої худоби, на додаток до сільської зайнятості для жінок.

Altieri M. A.[21] наводить цифри, які показують, що в Латинській Америці врожайність змішаних посівів переважає звичайні монокультурні на 20%-60%. Зокрема, у Мексиці один гектар засаджують традиційною сумішшю кукурудзи, бобів і кабачків. Така суміш дає стільки ж їжі, скільки 1,73 га, засіяні монокультурою кукурудзи. Крім того, полікультура кукурудза-кабачок-

квасоля може виробляти до 4 т/га наземної фітомаси рослин, яку можна повернути в ґрунт порівняно з 2 т га з монокультури кукурудзи.

Подібні результати були виявлені в системах виробництва продуктів харчування, зокрема в Китаї. В роботі [22] стверджується, що «одна третина всієї площі оброблюваної землі використовується для багаторазових культур і половина загального врожаю зерна виробляється при багаторазовому посіві». Було зроблено детальний аналіз дослідження впливу сільськогосподарського біорізноманіття та досліджено деякі з основних механізмів. Пшениця показала збільшення врожайності на 74% у мішаному посіві з кукурудзою та на 53% у мішаному з соєю. Подібно до посиленого кущення, яке спостерігається у стійких до хвороб особин на полі змішані сорти одного виду, автори приписують деяким з врожайних сумішей видів так зване конкурентне відновлення, з надземними та підземними ефектами. Зокрема, абіотичний стрес можна зменшити за допомогою проміжних культур. Наприклад, в арахісі (основна олійна культура в Китаї) поширений залізодефіцитний хлороз, особливо якщо його вирощувати як монокультуру.

При посівах кукурудзи хлороз є менш серйозним і залежить від тісного змішування кукурудзи та кореневої системи арахісу. Арахіс і кукурудза мають різні системи поглинання заліза, і є така гіпотеза: ефективна система поглинання заліза кукурудзою мобілізує залізо у формі, яку арахіс може використовувати краще.

Подібні результати спостерігалися у зв'язку з поглинанням фосфору (Р) кукурудзою, вирощеною в суміші з квасолею. Вважається, що боби роблять Р більш доступним для кукурудзи. Крім того проміжні культури зменшують накопичення нітратів у ґрунті, дозволяючи вносити менші дози азоту.

З наведених прикладів можна зробити висновок про особливу роль бобових культур у підтримці біорізноманіття, а, отже, формування стійких агроєкосистем. Крім того в умовах змін клімату, який поступово теплішає, збільшити буферність посівів до посухи найімовірніше зможуть різноманітні зерносуміші разом з бобовими культурами.

Так, відомо, що ґрунти в межах кожної природної зони вирізняються значною різноманітністю. Зокрема, в Черкаській області виділяється понад 700 різновидів. За такої умови проблема адаптації сільського господарства до конкретних ландшафтних умов буде залишатись актуальною завжди. Але у випадку коли така адаптація виявиться невдалою, то відбудеться поступова і непомітна експансія такого ж невдалого набору галузей по відношенню до природних екосистем конкретної території. Найголовнішим і найнебезпечнішим наслідком цього процесу є поступове зниження кількості гумусу у ґрунті. Гумусу, який біосфера накопичувала впродовж сотень років [17].

Усім відомі класичні роботи Миколи Вавілова, Андрія Краснова, Василя Докучаєва, в яких науково доводиться, що природна родючість ґрунту безпосередньо залежить від розміру землі яка обробляється у конкретному селянському господарстві. Такий розмір повинен був складати не більше 5 гектарів. Замість такої умови селянин (і його родина) були в змозі не лише забезпечити себе продуктами харчування, а й підтримувати позитивний баланс природної родючості ґрунтів. Зокрема, мова йде про такий підбір галузей спеціалізації селянського господарства, який був максимально «вписаний» у прилеглий ландшафт. При цьому досвід ведення сільського господарства ставав тим безцінним капіталом, який спадкоємно передавався з покоління у покоління [24]. За сучасною термінологією формувалась така собі штучна агроєкосистема, в якій природний і антропогенний компоненти входили один з одним у максимальну гармонію.

Формування районів сільськогосподарської спеціалізації відбувається об'єктивно за участю окремих галузей рослинництва і тваринництва, які розвиваються на самому низовому рівні селянського (підсобного) господарства. В сучасних умовах як за розміром так і за економічною специфікою такі господарства найбільш наближені до фермерських господарств. Важливим для усвідомлення екологічного змісту розміру фермерського господарства є тісна кореляція окремих таксономічних одиниць агроландшафту та агроєкосистеми,

які безпосередньо пов'язані з природними ландшафтами [15].

Отже, певний набір галузей в межах фермерського господарства, а, відтак, і специфіка землекористування (передусім за розміром площі угідь) мають глибокий екологічний зміст.

Нажаль, умови ринкової економіки та активізація ринку землі в останні роки не залишають фермеру іншого вибору ніж інтенсивно «викачувати» з землі максимальний прибуток разом з багатосотрічними запасами органічної речовини. Про це свідчать не лише максимально спрощені сучасні сівозміни (5-пільні), а й їх насичення, представлене наполовину ґрунтовиснажливими просапними культурами. При цьому найвищий рівень капіталізації сьогодні мають агрохолдинги, в яких зазначені негативні тенденції спостерігаються у гігантських масштабах.

Найсуттєвішою особливістю нашого методичного підходу є те, що в сучасних умовах занадто збідненої державної сільськогосподарської статистики її брак можна компенсувати з загальновідомих комерційних баз даних. Зокрема, загальновідомими і популярними є наступні бази даних: [18, 19]. В них кожне фермерське господарство України (по областях і районах) надає про себе стислу але актуальну інформацію про ті галузі і види продукції, на яких воно спеціалізується. Найбільш об'єктивною цю інформацію ми вважаємо тому, що вона має маркетингову мету. Тобто кожен фермер максимально зацікавлений у тому, щоб збути свою продукцію.

Джерел просторової інформації (кордони господарств) на обраному масштабі знайти не вдалося. Зведення ж даних кадастрової карти (<https://kadastr.live/#9.95/48.5969/29.8936>) до меж окремого господарства являло занадто трудомістку процедуру, виконання якої зайняло б дуже тривалий час. Крім того дані кадастрової карти датовані 2022 роком, а нам потрібні були дані за 2024 рік.

Саме тому було ухвалено рішення використати методичний підхід просторової оптимізації (полігони Вороного), який представлений у додатках майже усіх сучасних геоінформаційних систем. Саме цей метод дав нам змогу використовувати отриману картографічну модель в якості дослідницького інструмента. Адже в межах

природної зони, та навіть адміністративного району конфігурацією окремого господарства можна знехтувати, оскільки метод картограми дає можливість порівнювати спеціалізацію окремих господарств.

Основу формування головних типів у 2014 році склало зернове господарство, вирощування технічних олійних культур та м'ясо-молочне скотарство. На формування підтипів найбільше вплинули свинарство, молочно-м'ясне скотарство буряківництво та інші галузі, такі як вівчарство, птахівництво, садівництво.

На перший за значенням виробничий напрямок «Рослинницькі господарства» припадає 193 господарства з наступними типами:

- 1) Зернове господарство (зернові колосові, зернобобові та кукурудза);
- 2) Зернове господарство (вирощування кукурудзи);
- 3) Вирощування технічних культур;
- 4) Зернове господарство та садівництво.

Відповідно до основних виробничих типів формуються підтипи в поєднанні:

- 1а) з технічними (соя, соняшник, ріпак);
- 1б) з технічними олійними культурами;
- 1в) з технічними (соняшник, соя);
- 1г) з технічними (соя, цукровий буряк);
- 1д) з технічними (соя);
- 1ж) з технічними культурами, картоплярством та овочівництвом;
- 1з) з технічними культурами в різних сполученнях;
- 1е) з овочівництвом;
- 1є) з технічними (цукровий буряк);
- 2а) з технічними олійними культурами;
- 2б) з цукровим буряком;
- 2в) з технічними культурами в різних сполученнях;
- 3а); 3б) технічних олійних культур з соєю;
- 3в) вирощування сої;
- 3г) сої з вирощуванням картоплі та овочів;

Найбільш «строкатий» 6-й тип «Зернове господарство, вирощування технічних культур та тваринництво» аж з одинадцятьма окремими напрямками, які формують відповідні підтипи. Таку «строкатість» ми пояснюємо певним прагненням керівництва відповідних господарств до самозабезпечення, оскільки за наявності розгалуженого тваринництва дуже важко досягти економічної ефективності у розвитку кожної з його підгалузей.

У 2024 році сформовано 11 головних типів сільського господарства з 75 підтипами (рис.3). До виділених у 2014 році додалися такі виробничі типи сільського господарства:

- Зернове господарство (зернові колосові, зернобобові та кукурудза) в поєднанні з технічними олійними та кормовими;
- Зернове господарство в поєднанні з технічними олійними, кормовими та овочівництвом;
- Вирощування технічних та кормових культур;
- Зернове господарство технічні, кормові та садівництво;
- Зернове господарство технічні, кормові та овочівництво;
- Садівництво та ягідництво;
- Зернове господарство технічні, кормові, садівництво та овочівництво;
- Овочівництво;
- Грибівництво;
- Зернове господарство в поєднанні з технічними, овочівництвом, та тваринництвом;
- Зернове господарство, вирощування технічних та кормових культур, овочівництво, багатопрофільне тваринництво;
- Овочівництво, плодівництво тваринництво, молочно-м'ясне скотарство та свинарство;
- Свинарство;
- Рибне господарство;
- Скотарство;
- Кролівництво;
- Зернове господарство, технічні, кормові та інтегрований захист рослин;
- Зернове господарство, технічні, кормові, вантажоперевезення;
- Зернове господарство, технічні, кормові, наукові послуги;
- Свинарство та переробка його продукції.
- Садівництво та розсадництво;
- Насінництво польових культур;
- Лісове розсадництво;
- Зернове господарство, вирощування технічних та кормових культур з молочно-м'ясним скотарством та конярством;
- Зернове господарство, вирощування технічних та кормових культур з молочно-м'ясним скотарством;
- Зернове господарство, вирощування технічних та кормових культур з молочно-

м'ясним скотарством, свинарством та конярством;

-Зернове господарство, вирощування технічних та кормових культур, садівництво та тваринництво;

-Зернове господарство в поєднанні з технічними олійними, кормовими та бджільництвом;

-Зернове господарство в поєднанні з технічними олійними, кормовими та рибним господарством;

-Зернове господарство в поєднанні з технічними олійними, кормовими та свинарством;

-Зернове господарство в поєднанні з технічними, кормовими та тваринництвом;

-Зернове господарство в поєднанні з технічними, овочівництвом, садівництвом та тваринництвом;

Визначено, що за 10 років кількість фермерських господарств зросла майже вшестеро, що пов'язане, по-перше, з активізацією впровадження земельної реформи і, по-друге, з посиленням тенденції «вписання» агроєко-систем у природні ландшафти, про що писалось вище.

Динаміка змін виробничої типології сільського господарства за 10 років показана на рис.4.

Таким чином, до виділених у 2014 році виробничих типів додалися ті, які є більш вузькоспеціалізованими на плодівництві, овочівництві, окремих галузях тваринництва (рибництво, кролівництво, конярство), переробці продукції, обслуговуванні (добрива, насінництво, розсадництво, ремонт с/г техніки) [11].

Проте суттєво змінився склад і конфігурація сільськогосподарських районів. Майже без змін залишилась спеціалізація *I. Придніпровсько-Черкаського* району інтенсивного приміського типу господарства (у рослинництві на: зерновому господарстві, кормовиробництві, овочівництві відкритого і закритого ґрунту, садівництві; у тваринництві на: молочно-м'ясному скотарстві, свинарстві, птахівництві).

Також майже не змінився *V. Південно-Західний Лісостеповий* (у складі територій Тальнівського, Уманського та Христинівського адміністративних районів) з високо інтенсивним зональним сільським господарством рослинницько-тваринницького

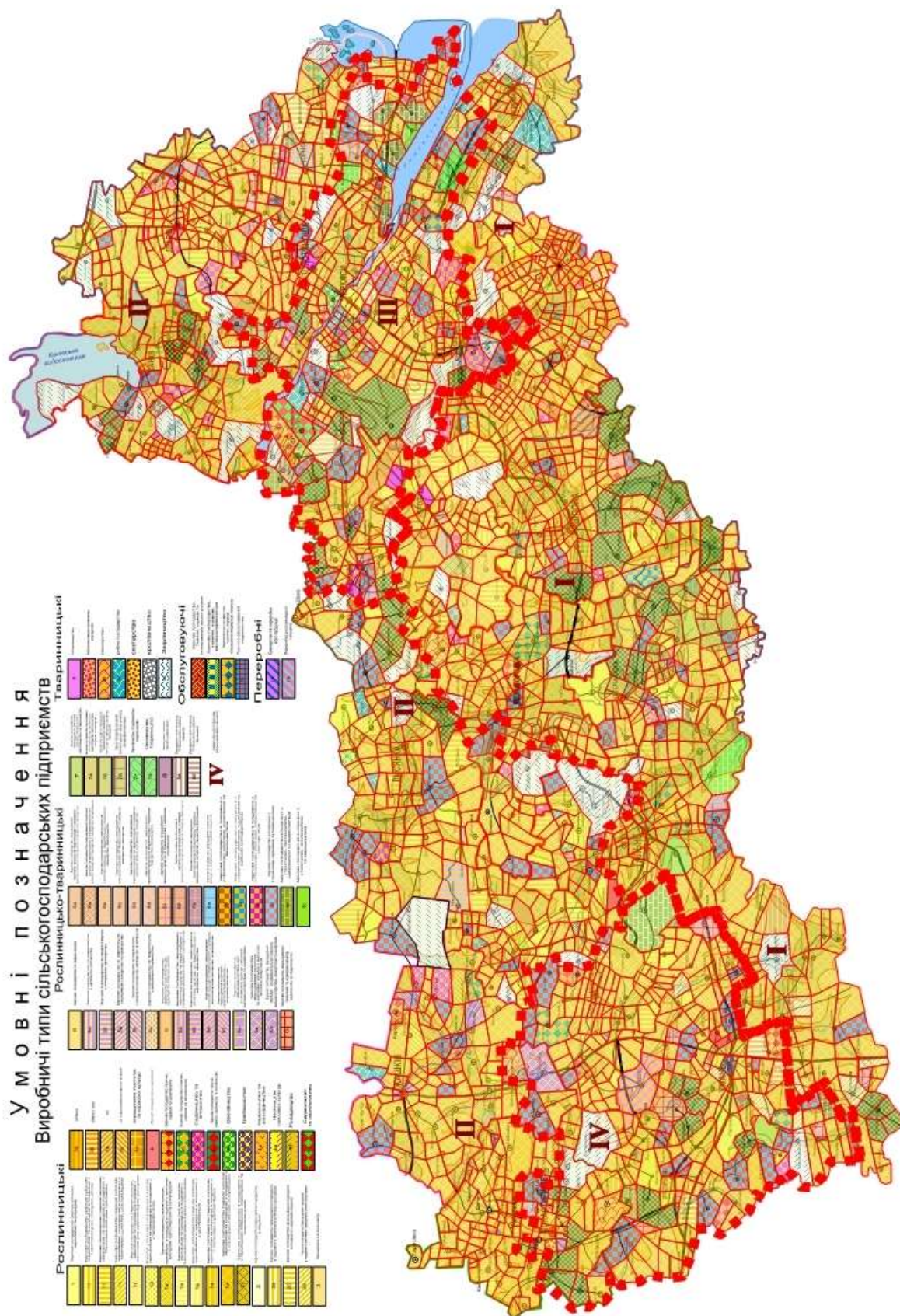


Рис. 3 – Сільськогосподарські райони, що формуються у Черкаській області у 2024 р.

Fig. 3 – Agricultural districts to be formed in Cherkasy region in 2024

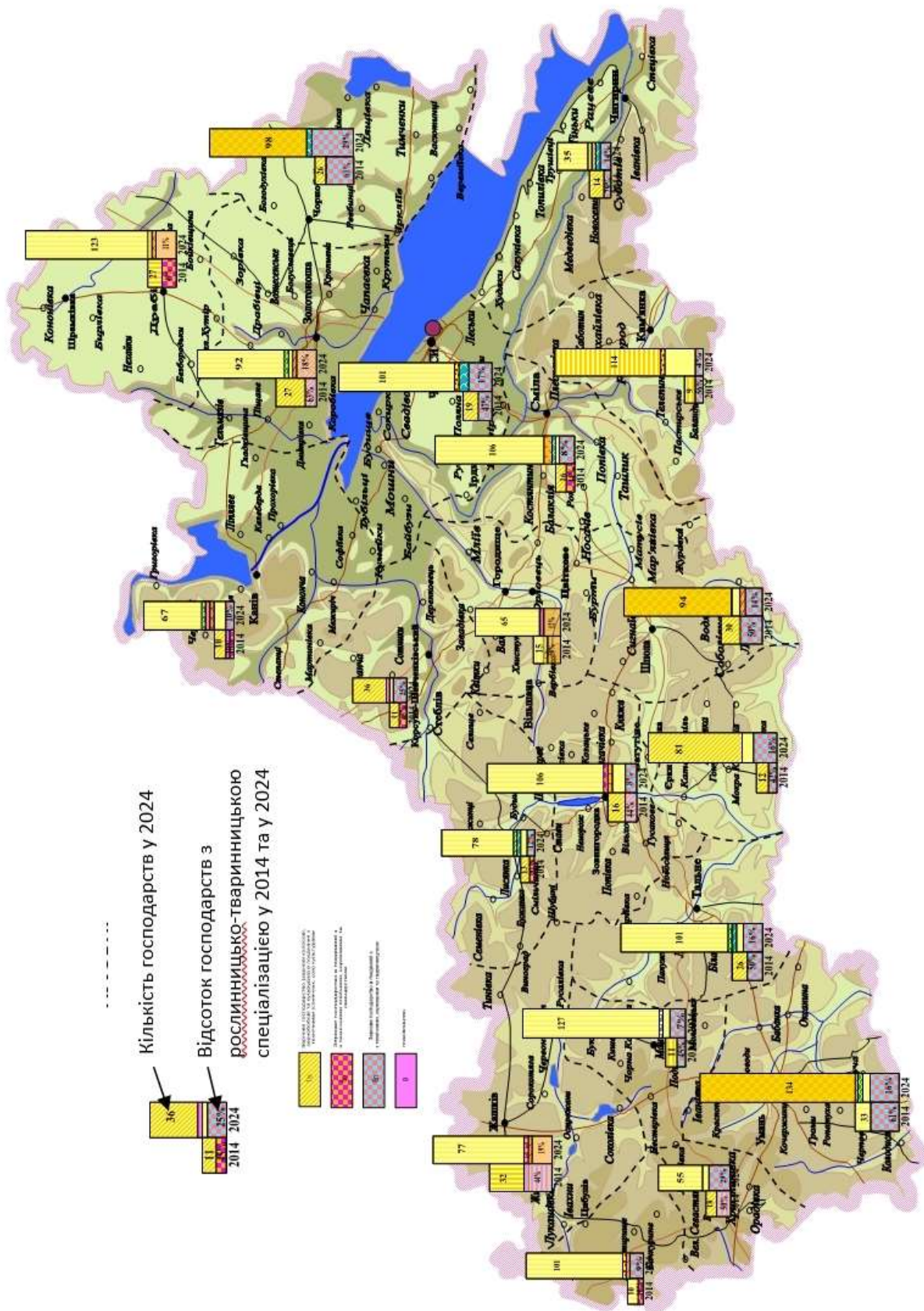


Рис. 4 – Динаміка трансформації виробничих типів сільського господарства Черкаської області з 2014 по 2024 роки

типу зі спеціалізацією у рослинництві на: зерновому господарстві та вирощуванні технічних (переважно олійних) культур; у тваринництві на інтенсивному скотарстві молочного-м'ясного та м'ясо-молочного напрямків та свинарстві.

Зате кордони *II. Центрально-Лісостепоного* та *III. Південно-Лісостепоного* знівелювались саме завдяки «дрейфу» північної межі *Південно-Лісостепоного* району на північ. Власне, ці

два райони сьогодні утворили один *I. Південно-Центральний* (рис.4), у спеціалізації якого усе більше проглядаються такі посухостійкі культури як просо та сорго. Крім того усе частіше серед галузей тваринництва зустрічається вівчарство, яке раніше було більш притаманним для господарств сухо степової зони. У рослинництві ж значно збільшились площі сої, яка покликана дещо нівелювати вплив високих температур, зберігаючи у ґрунті запаси вологи і азоту [10].

Висновки

Під агроєкосистемою ми розуміємо частину природних ландшафтів, яка залучена до аграрного виробництва. Така агроєкосистема поєднує у собі риси природних екосистем (у аспекті масо-енергетичного обміну) та того класу антропогенних ландшафтів, який формується в сільській місцевості. Виробничий тип сільського господарства у першому наближенні може бути асоційований з агроєкосистемою

Просторова диференціація фермерських господарств з певною спеціалізацією територією Черкаської області дозволяє встановити певні взаємозалежності природної та господарської складової. Зокрема, значна частка фермерських господарств, що спеціалізуються на вирощуванні зерна просторово тяжіє до рівнинних ділянок рельєфу у центральній частині області. Господарства, що працюють поблизу обласного центра мають спеціалізацію на тих галузях, продукція яких швидко псується, а тому, згідно моделі Й.Тюнена вимагає швидкої реалізації (птаківництво, овочівництво від-

критого та закритого ґрунту, молочне та молочного-м'ясне скотарство). Проте у західних районах області спостерігається певна автономізація, спрямована на самозабезпечення шляхом розвитку розлогого переліку галузей рослинництва і тваринництва в різних сполученнях.

За період з 2014 по 2024 рік відмічається тенденція «дрейфу» меж сільськогосподарських районів на північ з типовою для лісостепоної зони спеціалізацією і поступового згортання під впливом потепління клімату вирощування цукрового буряка, пшениці, ріпаку.

Можливим шляхом «вписання» спеціалізації сільського господарства в наявні природні ландшафти та екосистеми може бути з одного боку зменшення розміру одного господарства (що вже поступово відбулось за останні 10 років), а з іншого боку урізноманітнення екосистемних відносин через мішану сівбу зерносумішей (з бобовими), збільшення частки сіножатей та пасовищ.

Конфлікт інтересів

Результати дослідження використані при розробці грантового проекту Міністерства освіти і науки України «Геоінформаційне моделювання типології сільського господарства Черкаської області з метою розробки стійких до змін клімату агроєкосистем» (2022).

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. Qinghua Liu, Xiao Sun, Wenbin Wu, Zhenhuan Liu, Guangji Fang, Peng Yang, Agroecosystem services: A review of concepts, indicators, assessment methods and future research perspectives, *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 142, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109218>.
2. Herzon I., Birge T., Allen B., et al. Time to look for evidence: results-based approach to biodiversity conservation on farmland in Europe. *Land Use Policy*. 2018. Vol. 71. P. 347–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.011>
3. Tscharntke, T., Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., Thies, C. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*. 2015. Vol. 8. P. 857–874. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>

4. Isbell F., Adler P.R., Eisenhauer N., Fornara D., Kimmel K., Kremen C., Letourneau D.K., Liebman M., Polley H. W., Quijas S., Scherer-Lorenzen M. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology*. 2017. Vol. 105. P. 871–879. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
5. Tilman D., Reich P. Knops, J. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*. 2006. Vol. 441. P. 629–632. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature04742>
6. Bullock, J.M., Pywell, R.F., Walker, K.J. Long-term enhancement of agricultural production by restoration of biodiversity. *J. Appl. Ecol.* 2007. Vol. 44. P. 6-12. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01252.x>
7. Yu Li, Shikui Dong, Shiliang Liu, Xukun Su, Xuexia Wang, Yong Zhang, Zhenzhen Zhao, Xiaoxia Gao, Shuai Li, Lin Tang, Relationships between plant diversity and biomass production of alpine grasslands are dependent on the spatial scale and the dimension of biodiversity, *Ecological Engineering*. 2019. Vol. 127, P. 375-382, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.015>.
8. McAlvay, A.C., DiPaola, A., D'Andrea, A.C., Ruelle, M.L., Mosulishvili, M., Halstead P. , Power A. G. Cereal species mixtures: an ancient practice with potential for climate resilience. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2022. Vol. 42, 100. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00832-1>
9. Arese Lucini F., Morone F., Tomassone M.S., Makse H.A. Diversity increases the stability of ecosystems. *PLoS One*. 2020 Apr 24;Vol.15. N 4.:e0228692. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228692>
10. Сонько С. П., Зозуля І. О. Екологічно збалансовані агроєкосистеми – запорука сталого розвитку. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 57-69. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-04>
11. Сонько С.П., Зозуля І.О. Сільськогосподарське районування Черкаської області: зміни за 10 років. *Природа і суспільство: виклики і поступ*: матеріали міжнар. наук. конф. присвяченої 80-річчю географічного факультету ЧНУ ім. Ю. Федьковича. м. Чернівці, 11–13 жовт. 2024 р. Чернівці, 2024. С.179-182. URL: https://geo.chnu.edu.ua/media/a0qbnib/conferenc_material_80.pdf
12. Сонько В. П., Максименко Н. В., Василенко О. В., Гурський І. М., Шиян Д. В., Зозуля І. І. Концепція агроєкосистем як теоретична основа екологічно толерантного природокористування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2022. Вип. 37. С. 71-81. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-37-07>
13. Sonko, S., Maksymenko, N., Shiyan, D., Cherkashyna, N., Zozulia, I. Impact of Climate Change on Energy Relations in Agroecosystems. *Proceedings of the 5th International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence - ISC SAI*; ISBN 978-989-758-600-2, SciTePress, 2022. P. 5-13. DOI: <https://doi.org/10.5220/0011340400003350>
14. Zozulia I., Sonko S. Modern approaches to monitoring the environmental impact of agriculture on agrolandscapes (on the example of farms in the Cherkasy region). *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи*: зб. тез доповідей III Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 26 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 75-78. URL: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/18638>
15. Сонько, С. П., Созінов, О. О. Агроєкосистема . *Екологічна енциклопедія: У 3т.* А.В.Толстоухов (головний редактор) та ін. К.:ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2006.Т.1. С.14. URL: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/437>
16. Сонько С.П. Виробнича типологія сільського господарства Харківської області: тридцять років потому. *Часопис соціально-економічної географії*. 2015. Вип. 19 (2). С. 30-39. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2015-19-05>
17. Сонько, С. П., Максименко Н. В. Просторові і часові механізми антропогенної експансії агроландшафту. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*, 2014. N 1054, С.13-22. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/799>
18. Всеукраїнський довідник по сільському господарству.2024. URL: <https://kolosok.info/>
19. Фермерські господарства України. 2024. URL: <https://tripoli.land.ua/farmers>
20. Tamburini G, Bommarco R, Wanger TC, Kremen C, van der Heijden M, Liebman M, Hallin S. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*. 2020. Vol 6, N 45/ DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba171>
21. Altieri M. A., Nicholls C.I., González de Molina M. & Rojas A.S. Landscape Agroecology: Methodologies and Applications for the Design of Sustainable Agroecosystems. *Land* . 2024, Vol. 13. N 11. P. 1746. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13111746>
22. Zhan, W., Jia, N., Wang, J., Shi, W., Du, L., Sun, Y.,... & Cao, W. C. Large-scale comparative analyses of tick genomes elucidate their genetic diversity and vector capacities. *Cell*. 2020. Vol. 182 N 5. P. 1328-1340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.07.023>
23. Звіт з розробки регіональної схеми екомережі Черкаської області, 2014. URL: <http://eco.ck.ua>
24. Сонько С.П., Голубкіна О.М. Кооперація від Чаянова до сьогодення. *Аспекти стабільного розвитку економіки в умовах ринкових відносин*. Ч.2.: матеріали VI Міжнар. Наук.-практ. конф., 17-18 травня 2012 р. Умань: Видавець «Сочинський», 2012. С.102-104.

Стаття надійшла до редакції 27.09.2024

Стаття рекомендована до друку 17.11.2024

I. O. ZOZULIA

PhD Student of the Department of Ecology and Life Safety

e-mail: ivanov11dfnz@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-6024-5498>

Uman National University of Horticulture,

1, Instytutska str., Uman, 20305, Ukraine

CHANGES IN THE AGRICULTURE SPECIALIZATION CHERKASY REGION OVER 10 YEARS.

Production typology of agriculture is the most recent direction of geographical research in agriculture, which has its roots in the 19th century. However, the decline in its popularity in recent decades is associated with an extremely complex and labor-intensive method that involves the processing of large data sets. Assessments of the ecological impact on landscapes of certain combinations of industries are extremely relevant. Assessments of environmental services provided by agro-ecosystems are also relevant today.

Purpose. Justification of ecologically tolerant specialization of farms from the standpoint of agro-ecosystem dynamics inherent in the conditions and resources of the region.

Methods. Field, cartographic, statistical, system analysis.

Results. The allocation of production types of farms in dynamics in the territory of Cherkasy region (2014-2024 years) allows to get closer to the evaluation of environmental services. In particular, the noted increase of almost sixfold in the number of farms in 2024 compared to 2014 allows us to state a tendency to decrease the area of an individual farm, which generally indicates the "incorporation" of land use into the existing structure of landscapes. However, hopes for real biodiversity support by the agro-ecosystems being formed in the Cherkasy region will remain futile for a long time to come. Among the selected types of agriculture, monocultures prevail. Probably, under the influence of the laws of the market economy, farmers try to get the maximum profit from the land. Separate measures to overcome these contradictions are proposed.

Conclusions. In the conditions of ultra-intensive agriculture, the main theoretical approaches of the typology of agriculture can play with new, brighter colors. A possible way of "incorporating" the specialization of agriculture into existing natural landscapes and ecosystems can be, on the one hand, the reduction of the size of one farm, and on the other hand, the diversification of ecosystem relations through mixed sowing of grain mixtures (with legumes), increasing the share of hay and pastures.

KEYWORDS: production type, agriculture, agroecosystem, agrolandscape

References

1. Qinghua Liu, Xiao Sun, Wenbin Wu, Zhenhuan Liu, Guangji Fang, Peng Yang, (2022). Agroecosystem services: A review of concepts, indicators, assessment methods and future research perspectives, *Ecological Indicators*, 142, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109218>.
2. Herzon, I., Birge, T., Allen, B., Povellato, A., Vanni, F., Hart, K., Radley, G., Tucker, G., Keenleyside, C., Oppermann, R., Underwood, E., Poux, X., Beaufoy, G., & Pražan, J. (2018). Time to look for evidence: results-based approach to biodiversity conservation on farmland in Europe. *Land Use Policy*. 71, 347–54. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.011>
3. Tschamtkke, T., Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., Thies, C. (2015). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8, 857-874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>
4. Isbell, F., Adler, P.R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., Letourneau, D.K., Liebman, M., Polley, H. W., Quijas, S., Scherer-Lorenzen, M. (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology*, 105, 871–879. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
5. Tilman, D., Reich, P., & Knops, J. (2006). Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 441, 629–632. <https://doi.org/10.1038/nature04742>
6. Bullock, J.M., Pywell, R.F., & Walker, K.J. (2007). Long-term enhancement of agricultural production by restoration of biodiversity. *J. Appl. Ecol.* 44, 6-12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01252.x>
7. Yu Li, Shikui Dong, Shiliang Liu, Xukun Su, Xuexia Wang, Yong Zhang, Zhenzhen Zhao, Xiaoxia Gao, Shuai Li, Lin Tang, (2019). Relationships between plant diversity and biomass production of alpine grasslands are dependent on the spatial scale and the dimension of biodiversity, *Ecological Engineering*, 127, 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.015>.
8. McAlvay, A.C., DiPaola, A., D'Andrea, A.C., Ruelle, M.L., Mosulishvili, M., Halstead P., & Power A. G. (2022). Cereal species mixtures: an ancient practice with potential for climate resilience. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 42, 100. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00832-1>
9. Arese Lucini F., Morone F., Tomassone M.S., Makse H.A. (2020) Diversity increases the stability of ecosystems. *PLoS One*, 15(4), e0228692. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228692>
10. Sonko, S. P., & Zozulia, I. O. (2024). Environmentally balanced agroecosystems – key to sustainable development. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (41), 57-69. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-04> (in Ukrainian)

11. Sonko, S. P., & Zozulia, I. O. (2024). Agricultural zoning of Cherkasy region: changes over 10 years. *Proceedings of the international scientific conference dedicated to the 80th anniversary of the Faculty of Geography of ChNNU named after Yu. Fedkovycha: Nature and society: challenges and progress*. (Chernivtsi, 2024, October 11–13, pp.179-182). Chernivtsi, Retrieved from https://geo.chnu.edu.ua/media/a0qnbrib/conferenc_material_80.pdf (in Ukrainian)
12. Sonko S.P., Maksymenko N. V., Vasylenko O.V., Hurskiy I.M., Shyian D.V., & Zozulia I. I. (2022). The concept of agroecosystems as a theoretical basis of ecologically tolerant nature management *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (37), 71-81. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-37-07> (in Ukrainian)
13. Sonko, S., Maksymenko, N., Shyian, D., Cherkashyna, N. & Zozulia, I. (2022). Impact of Climate Change on Energy Relations in Agroecosystems. *Proceedings of the 5th International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence - ISC SAI*; ISBN 978-989-758-600-2, SciTePress, pp. 5-13. <https://doi.org/10.5220/0011340400003350>
14. Zozulia I., Sonko S. (2024). Modern approaches to monitoring the environmental impact of agriculture on agrolandscapes (on the example of farms in the Cherkasy region). *Proceedings of the III International Internet-conference Current issues of formal and nonformal education in environmental monitoring and conservation*: (Kharkiv, 2024, April 26, pp.75-78). Kharkiv, Retrieved from <https://ekhmuir.karazin.ua/handle/123456789/18638>
15. Sonko, S. P., Sozinov, O. O. (2006). Agroecosystem. *Environmental encyclopedia: In 3 vol.* A.V. Tolstoukhov (Ed.) Kyiv: "Center for Environmental Education and Information", 1, 14. Retrieved from <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/437> (in Ukrainian)
16. Sonko, S. (2016). Agriculture production typology of Kharkiv region: after thirty years. *Human Geography Journal*, 19(2), 30-39. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2015-19-05> (in Ukrainian)
17. Sonko, S. P., & Maksymenko, N. V. (2014). Spatial And Temporal Mechanisms Of Agricultural Landscapes' Anthropogenic Expansion. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (1054), 13-22. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/799> (in Ukrainian)
18. All-Ukrainian Directory of Agriculture.(2024). Retrieved from <https://kolosok.info/> (in Ukrainian)
19. Farms of Ukraine. (2024). Retrieved from <https://tripoli.land.ua/farmers> (in Ukrainian)
20. Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T.C., Kremen, C., Van der Heijden, M., Liebman, M., Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*, 6,(45), 1715. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba171>
21. Altieri, M. A., Nicholls, C.I., González de Molina, M. & Rojas, A.S. (2024). Landscape Agroecology: Methodologies and Applications for the Design of Sustainable Agroecosystems. *Land*, 13(11), 1746. <https://doi.org/10.3390/land13111746>
22. Zhan, W., Jia, N., Wang, J., Shi, W., Du, L., Sun, Y.,... & Cao, W. C. (2020). Large-scale comparative analyses of tick genomes elucidate their genetic diversity and vector capacities. *Cell*, 182(5), 1328-1340. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.07.023>
23. Report on the development of the regional eco-network scheme of the Cherkasy region. (2014). Retrieved from <http://eco.ck.ua> (in Ukrainian)
24. Sonko S.P., Golubkina O.M. (2012). Cooperation from Chayanov to the present. " Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference: Aspects of stable development of the economy in the conditions of market relations. Part 2. (2012, May 17-18, pp.102-104.) Uman: Sochynskiy. (in Ukrainian)

The article was received by the editors 27.09.2024

The article is recommended for printing 17.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-11>

УДК (UDC): 504 + 378

А. А. ГРЕЧКО

викладачка, аспірантка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: a.a.hrechko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-2586>*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

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

П. Р. ПОНОМАРЕНКО,

аспірантка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: polina.ponomarenko@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4874-4192>*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

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

Є. П. ТЕРТИЦЬКИЙ

аспірант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: yevhen.tertytskyi@student.karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-6434-200X>*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

СТАЖУВАННЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ В ОСВІТНІХ УСТАНОВАХ ШВЕЦІЇ

Підтримка молодих науковців державами-партнерами України під час війни та по її закінченню є ключем до відновлення та відбудови нашої держави. Проекти, які націлені на взаємодію між молодими та досвідченими науковцями дають змогу створити синергетичну дію, яка є рушієм до створення нових ідей. Участь в освітніх проєктах запорука отримання нового досвіду, формування нових компетентностей, які дозволяють всебічно охоплювати обрану проблематику у дослідженнях, шукати нові нестандартні підходи до вивчення та вирішення проблем. Аспіранти кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи на початку нового навчального року взяли участь одразу у двох проєктах. Першим став Швецький проєкт «Компетентнісна допомога для України — Competence Aid For Ukraine (CAFU)», який проходив у два етапи - дистанційно та очно з навчальним виїздом у Швецію. До проєкту долучились доцентка кафедри Анастасія Клещ та аспірантка Аліна Гречко. Другим проєктом став CAPABLE (Common Academic Practices and Abilities in Learning for Research) програми SI Baltic Sea Neighbourhood, який також проходив в два етапи. Участь в цьому проєкті брали аспіранти Поліна Пономаренко, Вадим Гололобов та Євген Тertiцький. Викладачі навчально-наукового інституту екології також долучились до обох частин цього проєкту. Серед залучених викладачів: професор Андрій Ачасов, доцентка Ганна Тітенко, доцентка Світлана Бурченко та викладачка Анна Кот.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: міжнародний проєкт, Швеція, стажування, сталий розвиток, обмін досвідом, CAFU, CAPABLE, повоєнне відновлення

Як цитувати: Гречко А. А., Пономаренко П. Р., Тertiцький Є. П., Гололобов В. В. Стажування молодих вчених в освітніх установах Швеції. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 161-167. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-11>

In cites: Hrechko, A. A., Ponomarenko, P. R., Tertytskyi, Ie. P., & Gololobov, V. V. (2024). Internships for young scientists at educational institutions in Sweden. *Man and Environment. Issues of Neoeecology*, (42), 161-167. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-11> (in Ukrainian)

© Гречко А. А., Пономаренко П. Р., Тertiцький Є. П., Гололобов В. В., 2024



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

Проекти, націлені на підтримку українських молодих науковців, мають надзвичайно важливе значення для майбутнього повоєнного відновлення країни. Після масштабних руйнувань і втрат, спричинених війною, Україна потребує не тільки фізичної реконструкції, але й інтелектуальної та технологічної бази для стійкого розвитку. Підтримка молодих дослідників у різних наукових галузях – це інвестиція в майбутнє України, яка допоможе прискорити процеси відновлення, зміцнити національну економіку та підвищити міжнародний статус країни в науковому співтоваристві.

Надання можливостей для українських науковців через стипендії, гранти, стажування та партнерські програми з університетами й дослідницькими центрами інших країн дає можливість зберегти та розвивати науковий потенціал, навіть за складних умов.

Крім того, такі проекти сприяють інтеграції українських науковців у світову наукову спільноту, що має стратегічне значення для майбутнього України. Участь у міжнародних наукових ініціативах, обмін досвідом і доступ до сучасних дослідницьких платформ розширюють професійні горизонти українських фахівців та сприяють появі нових спільних досліджень і розробок.

З 4 червня до 25 червня 2024 року до участі у онлайн-курсу та серії семінарів «Sustainable development and decision making» проекту «Компетентнісна допомога для України — Competence Aid For Ukraine (CAFU)» доєдналися доцентка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи *Анастасія Клець* разом з аспіранткою кафедри *Аліною Гречко*.

Цей проєкт фінансується Шведським інститутом. Ключовою метою проєкту «Компетентнісна допомога для України — Competence Aid For Ukraine (CAFU)» є надання українській студентській та академічній молоді компетенцій, які доповнять їхнє навчання, створять можливості комплексного впливу на післявоєнне відновлення України, які будуть відповідати стандартам Європейського Союзу та Цілям сталого розвитку ООН. Серед учасників консорціуму партнерів проєкту: Folkuniversitetet, Уппсальський університет (Швеція), Sustainability InnoCenter Ekonomisk förening (Швеція), Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна.

В рамках онлайн сесії семінари та воркшопи були присвячені всебічному висвітленню питань цілей, економічних, соціальних та екологічних положень сталого розвитку [1], опрацювання практичних кейсів з прийняття управлінських рішень в контексті прагнень досягнення цілей сталого розвитку тощо. Організовані інтерактивні дискусії, робота в групах над виконанням завдань та жваве спілкування серед учасників проєкту – є візитівкою семінарів проєкту CAFU, що дали реальну можливість розвинути існуючі або набуті нові компетентності прийняття рішень на основі доктрини сталого розвитку (рис. 1).

Підсумковим заходом онлайн-частини проєкту стала підготовка та презентація проєктів-пропозицій щодо втілення принципів сталого розвитку в процесі повоєнної відбудови України, який дав змогу учасникам оцінити можливості практичного використання отриманих знань та вмінь. До оцінки членами журі було представлено

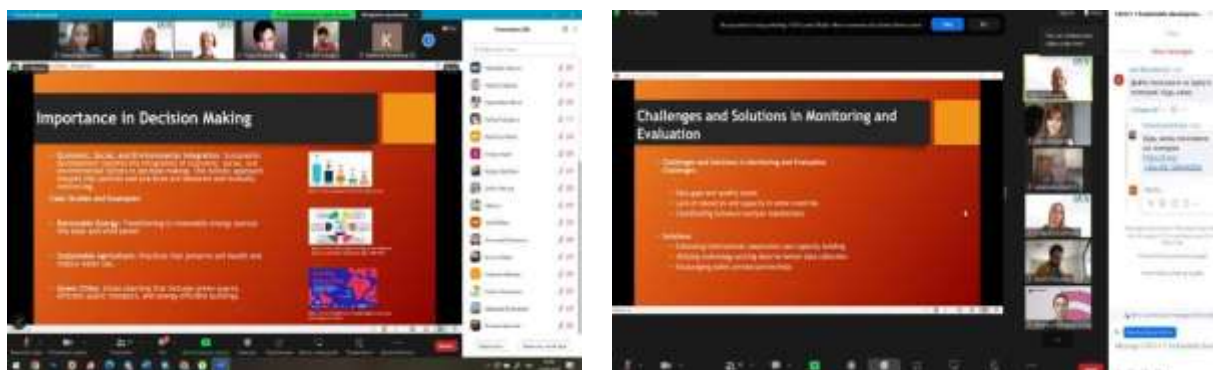


Рис. 1 – Участь в онлайн частині проєкту CAFU [2]

Fig. 1 - Participation in the online part of the CAFU project [2]

5 групових проєктів, націлених на досягнення унікального комплексу обраних цілей сталого розвитку, які на думку учасників груп будуть найбільш актуальними та перспективними для задоволення потреб українського суспільства задля відбудови. Окремо слід відзначити, що залученість до проєкту CAFU учасників, які мають різний фах та спеціалізацію, вік, досвід, сприяла плідному обміну думок та налагодженню стійких зв'язків між ними, що дозволило сформулювати різнопланові та креативні ідеї проєктів.

За результатами проходження онлайн частини проєкту CAFU доцентка *Анастасія Клещ* та аспірантка *Аліна Гречко* отримали

сертифікати учасників на 45 академічних годин, які засвідчують опанування нових компетентностей у галузі планування проєктів у сфері сталого розвитку (рис.2).

Після завершення онлайн частини сесії за проєктом CAFU за результатами набраних під час семінарів балів проведене опитування учасників щодо бажання та можливості участі в офлайн частині, яка представляла собою навчальний візит в Швецію в рамках проєкту. Аспірантка *Аліна Гречко* разом з представниками соціологічного факультету, ФГГРТ та ННІ «Каразінський інститут міжнародних відносин та туристичного бізнесу» виборола участь в офлайн частині проєкту серед 25 учасників.



Рис. 2 – Сертифікати за участь в онлайн частині проєкту CAFU [3]
Fig. 2 - Certificates for participation in the online part of the CAFU project [3]

В рамках освітнього візиту, який відбувся з 28 жовтня по 1 листопада 2024 року учасники проєкту мали низку освітніх і культурних заходів (рис. 3). Під час освітньої частини проєкту був інтенсивний курс лекцій, присвячених сталому розвитку, управлінню проєктами та формуванню ключових компетенцій. В рамках лекцій відбулось знайомство з системою освіти в Швеції та окремо – з системою Learning in Work; визначити спільні та відмінні риси з в освітньому процесі та застосуванні інноваційних підходів у навчанні студентів у Швеції та Україні. Важливою складовою навчання стали тренінги провідного фахівця проєктного менеджменту Алі Рашиді зі створення власних проєктів. Окремий блок лекцій був присвячений досвіду Швеції у сфері поводження з відходами. В межах навчального візиту учасники відвідали провідні освітні та інноваційні установи та організації в містах Уппсала та Стокгольм. Учасники відвідали

інноваційний корпус Упсальського університету та долучились до участі в форумі зі сталого розвитку, під час якого обговорили ключові аспекти поводження з відходами. Відвідування лекцій в Парку зелених інновацій Ултуна стало родзинкою навчального візиту, адже там в дружній атмосфері вивчені кейси з інновацій у екологічній та сільськогосподарській сфері. Під час поїздки до Стокгольму учасники долучились до лекції за проєктом «Стокгольм. Королівський морський порт» де мали змогу ознайомитися з принципами ревіталізації території та створення екологічного міського простору, що допоможе у відновленні України після війни.

В рамках культурних заходів учасники відвідали музей Саксен, ознайомились зі старовинними спорудами Упсали та Стокгольму, та мали змогу неформально поспілкуватись про свої наукові інтереси, бачення майбутнього України як між собою так і з організаторами проєкту.



а) Спільне фото учасників проєкту CAFU



б) Лекція в Парку зелених інновацій Ултуна



в) Folkuniversitetet

Рис. 3 – Участь в навчальному візиті по проєкту CAFU [4]**Fig. 3** - Participation in the CAFU study visit [4]

Проєкт CAPABLE (Common Academic Practices and Abilities in Learning for Research) програми SI Baltic Sea Neighbourhood спрямований на надання знань, навичок та можливості для налагодження контактів аспірантам, які захищають свої дисертації в університетах, що входять до мережі BUP (Балтійська університетська програма), і зосереджуються на темах сталого розвитку. Учасники заходів цього проєкту отримують менторську підтримку та зворотний зв'язок щодо своїх дисертацій, а також тренінги з академічного розвитку, зокрема з академічного письма, підготовки презентацій, розвитку критичного мислення, розробки наукових аргументів тощо.

З 12 вересня по 24 жовтня 2024 року до проєкту CAPABLE доєдналися аспіранти кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи *Поліна Пономаренко, Вадим Гололобов та Євген Тертицький*.

На першому етапі участі в проєкті учасники відвідали серію з чотирьох навчальних семінарів. Семінари були присвячені широкому колу питань, зокрема, висвітленню тем з розвитку академічного письма для PhD-студентів, опануванню методів досліджень, важливості впровадження стартапів та інновацій у ході підготовки наукових статей до публікації, можливостей та обмежень у використанні штучного інтелекту в підготовці текстів, тощо (рис.4). Двогодинні онлайн-семінари вдало комбінували елементи теоретичних лекцій з дискусійними активностями та практичними завданнями, що дало змогу учасникам не тільки дізнатися про прийоми покращення навичок написання наукових робіт та їх презентації, а й, що є особливо цінним, отримати персональні поради як найкраще презентувати результати своїх власних досліджень.

**Рис. 4** – Семінари та комбіновані виступи учасників конференції проєкту CAPABLE**Fig. 4** - Seminars and combined online presentations of CAPABLE project participants

На другому етапі проєкту аспіранти *Поліна Пономаренко* та *Євген Тертицький* прийняли участь у чотириденній конференції «CAPABLE PhD student conference» в Уппсальському університеті, що тривала з 11 по 14 листопада 2024 року. У ході конференції, кожен з учасників виступив з доповіддю-презентацією своїх досліджень та отримав зворотний зв'язок від провідних експертів та колег-аспірантів у своїй галузі щодо актуаль-

ності теми дослідження, а також навичок академічного письма. Також, програма конференції включала можливість відвідування воркшопів із дизайн-мислення, практичних сесій з підготовки наукових презентацій та публікацій, воркшопу з пошуку міждисциплінарних зв'язків наукових досліджень, неформальні заходи з нетворкінгу із місцевими аспірантами та дослідниками. За результатами учасники отримали сертифікати (рис.5).



Рис. 5 – Сертифікат за участь в проєкті CAPABLE
Fig. 5 - Certificate for CAPABLE project participation

Викладачі навчально-наукового інституту екології також долучились до обох частин проєкту CAPABLE. 24 жовтня 2024 року проведено онлайн-семінар на тему «Системний аналіз задля сталого розвитку», спікерами якого були професор кафедри екології та менеджменту довкілля *Ачасов Андрій Борисович*, директорка навчально-наукового інституту екології *Тітенко Ганна Валеріївна*, викладачка кафедри екології та менеджменту довкілля *Кот Анна Григорівна* [5]. У другій частині проєкту, а саме – чотириденній конференції «CAPABLE PhD student conference»

в Уппсальському університеті взяли участь директорка навчально-наукового інституту екології *Тітенко Ганна Валеріївна* та доцентка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи *Бурченко Світлана Володимирівна*. Під час конференції викладачі провели рецензування наукових досліджень аспірантів-учасників, надали свої рекомендації щодо підготовки наукових публікацій та презентацій, а також разом з організаторами та науковцями з різних країн провели воркшоп з міждисциплінарних зв'язків наукових досліджень аспірантів.

Список використаної літератури

1. What are the Sustainable Development Goals? | Policy and advocacy | Sightsavers. *Sightsavers*. URL: https://www.sightsavers.org/policy-and-advocacy/global-goals/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA3ZC6BhBaEiwAeqfvyyuJSiqnZaLyqjGV7OXrNHkF9bc_8IB-pOLW6nY8bn2E5-NqlrmsJMhoCI20QAvD_BwE (дата звернення: 26.10.2024)
2. Участь у проєкті «Компетентнісна допомога для України – Competence Aid For Ukraine (CAFU)» - Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. URL: <https://ecology.karazin.ua/news/uchast-u-proiekti-kompetentnisna-dopomoga-dlja-ukraini-competence-aid-for-ukraine-cafu/> (дата звернення: 18.10.2024)
3. Швецький проєкт «Компетентнісна допомога для України – Competence Aid For Ukraine (CAFU)» : підбиття підсумків - Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. URL: <https://ecology.karazin.ua/news/shveckij-proiekt-kompetentnisna-dopomoga-dlja-ukraini-competence-aid-for-ukraine-cafu-pidbittja-pidsumkiv/> (дата звернення: 18.10.2024)

4. Каразінський університет вивчає шведський досвід сталого розвитку в межах проекту CAFU. . URL: <https://karazin.ua/news/karazinskyi-universytet-vyvchaie-shvedskyi-dosvid-staloho-ro/> (дата звернення: 18.10.2024)
5. Навчально-науковий інститут екології Каразінського університету за підтримки Балтійської університетської програми (The Baltic University Programme) продовжує реалізацію проекту CAPABLE. URL: <https://ecology.karazin.ua/news/navchalno-naukovij-istitut-ekologii-karazinskogo-universitetu-za-pidtrimki-baltijskoi-universitetskoi-programi-the-baltic-university-programme-prodovzhuie-realizaciju-proektu-capable/> (дата звернення: 26.10.2024)

Стаття надійшла до редакції 07.11.2024

Стаття рекомендована до друку 26.11.2024

A. A. HRECHKO

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>

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

P. R. PONOMARENKO

PhD Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management

e-mail: polina.ponomarenko@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4874-4192>

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

Ie. P. TERTYTSKYI

PhD Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management

e-mail: yevhen.tertytskyi@student.karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-6434-200X>

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

V. V. GOLOLOBOV

PhD Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management

e-mail: vadim.gololobov@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-0086-0303>

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

**INTERNSHIPS FOR YOUNG SCIENTISTS AT EDUCATIONAL INSTITUTIONS
IN SWEDEN**

The support of young scientists by Ukraine's partner countries during and after the war is key to the restoration and reconstruction of our country. Projects aimed at interaction between young and experienced scientists allow for a synergistic effect that drives the creation of new ideas. Participation in educational projects is the key to gaining new experience, developing new competencies that allow you to comprehensively cover the selected research topics, and look for new non-standard approaches to studying and solving problems. At the beginning of the new academic year, PhD students of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management took part in two projects at once. The first project was the Swedish project 'Competence Aid For Ukraine (CAFU)', which took place in two stages - remotely and in person with a study tour to Sweden. Associate Professor Anastasiia Klieshch and PhD student Alina Hrechko joined the project. The second project was CAPABLE (Common Academic Practices and Abilities in Learning for Research) of the SI Baltic Sea Neighbourhood programme, which also took place in two stages. Postgraduate students Polina Ponomarenko, Vadym Gololobov, and Ievgen Tertytskyi took part in this project. Teachers of the Karazin Institute of Environmental Sciences also joined both parts of this project. Among the faculty members involved were Professor Andrii Achasov, Associate Professor Ganna Titenko, Associate Professor Svitlana Burchenko, and Lecturer Anna Kot.

KEYWORDS: *international project, Sweden, internships, sustainable development, experience exchange, CAFU, CAPABLE, post-war recovery*

References

1. *What are the Sustainable Development Goals?* | Policy and advocacy | Sightsavers. Sightsavers. Retrieved from https://www.sightsavers.org/policy-and-advocacy/global-goals/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA3ZC6BhBaEiwAeqfvuJSjqnZaLyqjGV7OXrNHkF9bc_8IB-pOLW6nY8bn2E5-NqlrmsJMhoCI20QAvD_BwE
2. V. N. Karazin Kharkiv National University. (2024, October 18). *Participation in the project "Competence Aid For Ukraine (CAFU)"*. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/news/uchast-u-proiekti-kompetentnisna-dopomoga-dlja-ukraini-competence-aid-for-ukraine-cafu/>
3. V. N. Karazin Kharkiv National University. (2024, October 18). *Swedish project "Competence Aid For Ukraine (CAFU)" – Summary of results*. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/news/shveckij-proiekt-kompetentnisna-dopomoga-dlja-ukraini-competence-aid-for-ukraine-cafu-pidbittja-pidsumkiv/>
4. V. N. Karazin Kharkiv National University. (2024, October 18). *Karazin University studies Swedish sustainable development experience within the CAFU project*. Retrieved from <https://karazin.ua/news/karazinskyi-universytet-vyvchaie-shvedskyi-dosvid-staloho-ro/>
5. V. N. Karazin Kharkiv National University. (2024, October 26). *Karazin Institute of Environmental Sciences continues the implementation of the CAPABLE project with the support of the Baltic University Programme*. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/news/navchalno-naukovij-istitut-ekologii-karazinskogo-universitetu-za-pidtrimki-baltijskoi-universitetskoi-programi-the-baltic-university-programme-prodovzhuie-realizaciju-proektu-capable/>

The article was received by the editors 07.11.2024

The article is recommended for printing 26.11.2024

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 надаються також англійською.**

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, **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).

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 42

Українською та англійською мовами

Макетування та комп'ютерне верстання
Баскакова Л. В.

.

Підписано до друку 27.11.24
Формат 60х84/8
Ум. друк. арк. 13,5, Обл.-вид. арк. 14,8.
Наклад 50 пр. Зам. №29/24

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