

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

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

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

ЗАСНОВАНА 2005 р.

Випуск 30

VISNYK
of V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL
UNIVERSITY
SERIES ECOLOGY
Issue 30

Харків

2024

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

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

Вісник є фаховим виданням у галузі географічних та біологічних наук (категорія Б)
Наказ МОН України від 17.03.2020 № 409
Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна (протокол № 10 від 27.05.2024 р.)

Головний редактор:

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

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

Кривицька І. А., канд. біол. наук, доц., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;
Технічний редактор: **Баскакова Л. В.**, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна.

Редакційна колегія:

Бедункова О. О., д-р біол. наук, проф., Національний університет водного господарства та природокористування;
Бойко С., д-р філософії, Вармінсько-Мазурський університет, Польща;
Гавардашвілі Г., д-р техн. наук, проф., Інститут водного господарства імені Ц. Мірцхулави, Грузія;
Едріппуліге С., д-р географії, Університет Квінсленду, Австралія;
Жолткевич Г. М., д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;
Кривцов В., д-р філософії, Единбургський університет, Великобританія;
Кульбачко Ю. Л., д-р біол. наук, проф., Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара;
Кучер А. В., д-р екон. наук, ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського НААН»;
Максименко Н. В., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;
Нахтнебель Х.-П., д-р, проф., Університету природних ресурсів та прикладних наук у Відні – ВОРКУ, Австрія;
Некос А. Н., д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;
Ричак Н. Л., канд. геогр. наук, доц., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;
Сафранов Т. А., д-р геол.-мин. наук, проф., Одеський державний екологічний університет;
Страшнюк В. Ю., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;
Утєвська О. М., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;
Цапко Ю. Л., д-р біол. наук, с.н.с., ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського НААН»;
Чаплигіна А. Б., д-р біол. наук, проф., Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди;
Шабанов Д. А., д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;
Шкаруба А., д-р філософії, Естонський університет наук про життя, Естонія.

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

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

e-mail: visnykecology@karazin.ua

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

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

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів у сфері медіа: R30-04448
(Рішення № 1538 від 09.05.2024 р Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення.
Протокол № 15)

© Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, оформлення, 2024

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

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

Journal is a professional edition in the field of geographical and biological sciences.

Order of MES of Ukraine Nr 409 of March 17, 2020

Approved for printing by the decision of the Academic Council of V.N. Karazin Kharkiv National University
(Minutes Nr 10, dated May 27, 2024)

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

THE EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

ЗМІСТ
ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

Максименко Н. В., Протасова О. С. Порівняльна оцінка кліматичної комфортності областей України для розвитку рекреації і туризму.....	6
Горбань В. А., Білова Н. А. Вплив лісових насаджень на теплофізичні властивості чорноземів південних.....	26
Лісняк А. А., Кулик М. І. Оцінка якості вод з різних джерел водопостачання у Київському районі м. Харкова.....	36
Вовкунович М. О. Ретроспектива досліджень екологічного стану басейну річки Боржава (Закарпатська область).....	49
Тертицький Є. П. Екологічна інфраструктура та її роль у сталому розвитку міст: аналіз і перспективи.....	63
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Чорногор Л. Л. Вплив явища Ель-Ніньйо на виникнення масштабних лісових пожеж та їхні екологічні наслідки.....	76
Ричак Т. Л., Архипова Л. М. Еколого-токсикологічна оцінка якості води водойми-охолоджувача Бурштинської ТЕС.....	91
ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА	
Кот А. Г., Ачасов А. Б., Селіверстов О. Ю., Карпов В. Г. Інструментарій імітаційного моделювання у підготовці студентів екологічних спеціальностей.....	105
Правила для авторів.....	118

CONTENTS

ECOLOGICAL RESEARCHES OF GEOSYSTEM

Maksymenko N. V., Protasova O. S. Comparative assessment of the climatic comfort of Ukrainian regions for the development of recreation and tourism.....	6
Gorban V. A., Bilova N. A. Forest plantations influence on the thermophysical properties of southern chernozems	26
Lisnyak A. A., Kulyk M. I. Assessment of water quality from different water supply sources in the Kyiv district of the city of Kharkiv	36
Vovkunovych M. O. Research retrospective on the ecological state of Borzhava river basin (Transcarpathian region).....	49
Tertytskyi Ie. P. Ecological infrastructure and its role in sustainable urban development: analysis and perspectives	63

ENVIRONMENTAL ECOLOGICAL SAFETY

Chernogor L. F., Nekos A. N., Titenko G. V., Chornohor, L. L. The influence of the El Niño phenomenon on appearance of large-scale forest fires and their ecological consequences.....	76
Rychak T. L., Arkhypova L.M. Environmental and toxicological assessment of the water quality of Burshtynska TPP cooling reservoir	91

ENVIRONMENTAL EDUCATION

Kot A. G., Achasov A. B., Seliverstov O. Yu., Karpov V. G. Simulation modeling tools in training environmental science students.....	105
Instructions for Authors.....	118

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-01>

УДК(UDC): 502.15:[338.483.11:551.582](477)

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

завідувачка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: maksymenko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

О. С. ПРОТАСОВА¹, студентка,

e-mail: lenaprotasova2001@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-4296-830X>

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 6, м. Харків, Україна 61022

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА КЛІМАТИЧНОЇ КОМФОРТНОСТІ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ ДЛЯ РОЗВИТКУ РЕКРЕАЦІЇ І ТУРИЗМУ

Мета. Дослідження кліматичної комфортності областей України, як основи для подальшого розвитку рекреації і туризму.

Методика. Порівняння кліматичної комфортності проводиться за показниками індексу температури та вологості та індексу вітрової ефективності з ґрунтованими авторськими корективами відповідно до природних умов України.

Результати. Період дослідження охоплює 30 років: з 1991 по 2021 рр. Використано матеріали по всіх областях України та АР Крим Встановлено, що протягом 7 місяців Україна перебуває у зоні некомфортних погод (з січня по квітень та з жовтня по грудень). Некомфортність спостерігається більше на 1-2 місяці в 8 областях: Рівненській, Житомирській, Львівській, Івано-Франківській та Хмельницькій (9 місяців з січня по травень та з вересня по грудень) та 8 місяців з січня по квітень та з вересня по грудень – у Вінницькій, Чернігівській і Сумській. Виявлено закономірність, що комфортна погода «мігрує» з півдня на північ з травня по серпень. Таке явище пояснюється тим, що у перехідний період спостерігається від'ємна субкомфортність майже у всіх регіонах України, на відмінну від комфортного півдня. У червні комфортність «пересувається» у Центральний регіон (Черкаська, Кіровоградська області), Центрально-Західний регіон (Хмельницька, Вінницька, Житомирська області), Північно-Східний регіон (Чернігівська, Сумська, Полтавська області), Північно-Західний регіон (тільки Волинська область), Південно-Західний (лише Чернівецька область). У липні майже вся територія України має субкомфортну погоду з додатними показниками і лише 3 області є комфортними (Рівненська, Житомирська, Івано-Франківська). Комфортна погода у серпні також «з'являється» у Західному регіоні (Львівській, Івано-Франківській, Рівненській областях) та повертається у Чернігівську, Житомирську, Хмельницьку, Волинську області. У вересні комфортність «повертається» на південь, оскільки не території України вже переважають від'ємна субкомфортна та некомфортна погоди.

Висновки. Дослідженням виявлені періоди з комфортними погодами для різних регіонів України, що можна використовувати для потреб туризму: планування екскурсійних маршрутів; створення стратегій розвитку рекреаційної діяльності в регіоні; формування інформаційних бюлетенів і надання інформації щодо «найкращого» часу для відпочинку; організації сезонних турів по регіонам України.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: клімат, погода, комфортність, субкомфортність, некомфортність, індекс температури та вологості, індекс вітрової ефективності, зелений туризм, рекреація

Як цитувати: Максименко Н. В., Протасова О. С. Порівняльна оцінка кліматичної комфортності областей України для розвитку рекреації і туризму. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2024. Вип. 30. С. 6–25. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-01>

In cites: Maksymenko, N. V., & Protasova, O. S. (2024). Comparative assessment of the climatic comfort of Ukrainian regions for the development of recreation and tourism. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (30), 6-25. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-01> (in Ukrainian)

© Максименко Н. В., Протасова О. С., 2024



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

Вступ

З давніх часів відомо, що розселення людства, у першу чергу, завдячувало кліматичним умовам території. А зараз, коли практично більша частина Землі з комфортним кліматом освоєна людиною і цивілізація орієнтується на інші чинники – ресурси, сусідство, політичні переваги тощо, людина шукає кліматично комфортні місця для відпочинку. Особливо ця тема загострилась під час пандемії в Україні, коли підвищився попит на відпочинок всередині країни. Знання про кліматичну комфортність тих чи інших регіонів нашої країни дозволили б додати альтернативу традиційним курортно-туристичним регіонам - Карпатам та узбережжям Чорного і Азовського морів [1].

Поняття кліматичної комфортності зводиться до того, що виділяє рівень комфорту для здорової людини [2]. На загальний показник кліматичної комфортності погоди впливають метеорологічні величини [3]. «Відчуті» кліматичний комфорт можна через температуру, швидкість вітру, вологість, тривалість сонячного дня, що сприймаються організмом людини [4, 5].

Дослідження клімату для врахування його в повсякденному житті присвячена значна кількість робіт. Їх можна умовно об'єднати в кілька груп. Одна група дослідників вивчає кліматичну комфортність всередині житлових чи виробничих приміщень [6 - 10], друга – роботи, що присвячені формуванню теплового острова у містах та його впливу на кліматичну комфортність життя людини [11 - 15], і, нарешті, третя група вчених досліджують кліматичну комфортність перебування людини в навколишньому середовищі, що найближче до задоволення потреб рекреації і туризму [16, 17].

Різні автори надають відмінні визначення кліматичного комфорту, або як ще відзначають теплового комфорту.

В дослідженні [18] пропонують таке визначення кліматичного комфорту як «..стан розуму, який висловлює задоволення тепловим середовищем», і пропонують зрозуміти таке висловлення у сенсі задоволення тепловими умовами навколишнього середовища, у тому випадку, якщо людина не відчуває дискомфорту від наявних кліматичних умов і при цьому потребує мінімальну енергію для адаптації до нових фізичних та емоційних умов.

Тепловий комфорт визначається, як «умови, коли відносна вологість становить від 30 до 65 %, температура від 21 до 27,5°C, швидкість вітру до 5 м/с» [19]. Запропоновані умови довкілля є оптимальними для життєдіяльності людини.

Надається тлумачення кліматичного комфорту з точки зору суб'єктивної оцінки людини, а саме «стан душі, який виражає задоволення тепловим середовищем» [20]. В роботі [2] вбачають кліматичний комфорт у тому випадку, якщо це «рівень комфорту, який відчувають здорові люди, який забезпечують кліматичні фактори».

Кліматична комфортність людини залежить від факторів навколишнього природного середовища. Варто зазначити, що фактори мають різноманітне походження, то їх поділяють на дві групи:

- кліматичні елементи;
- особисті характеристики.

До кліматичних факторів відносять за різними авторами температуру повітря, швидкість вітру, відносну вологість, опади, хмарність, тривалість сонячного сьйва, сонячну радіацію.

Особисті характеристики включають тип одягу (його утепленість), вид діяльності, фізична активність, маса тіла людини [18, 21, 22].

Особливо актуальним для туристичної діяльності є вплив метеорологічних факторів на можливість та тривалість перебування на свіжому повітрі. Яскравим прикладом є активні види відпочинку, коли фізичне навантаження має тісний зв'язок з умовами навколишнього середовища, а саме кліматичними факторами, що були надані вище [22].

За обраними та проаналізованими джерелами виявлено такі закономірності змін кліматичної комфортності:

- холодні сезони стали менш холодними;
- перехідні сезони стали більш комфортними;
- літній сезон має тенденцію до збільшення.

Існує багато визначень кліматичного комфорту, але усі вони несуть у собі ідею, що кліматичні умови відчуває кожна людина і вона комфортно в них відчувається.

Кліматичні елементи та особисті характеристики у різних варіаціях впливають на відчуття кліматичного комфорту людини, як

з її суб'єктивної точки зору, так і мають вплив на психоемоційну та фізіологічну складову людини.

Методи дослідження

Визначення кліматичного комфорту людини, як правило ґрунтується на аналізі співвідношення таких метеорологічних величин: температура повітря; відносної вологості; швидкості вітру; кількості годин сонячного сяйва.

Згідно [2] першим кроком є розрахунок середньої температури повітря, середньої відносної вологості, середньої швидкості вітру, середньої кількості годин сонячного сяйва з січня по грудень, що в нашому дослідженні виконано за 30-ти річний період для кожної області України.

Наступним кроком в обробці даних є розрахунок індексу температури і вологості та індексу вітрової ефективності для кожної області з 1-го по 12 місяць та загальні середні показники за рік.

Індекс температури і вологості демонструє як організм людини реагує на ці метеорологічні показники (1)

Мета: дослідження кліматичної комфортності областей України, як основи для подальшого розвитку рекреації і туризму.

$$I = T - 0,55 \times (1 - RH) \times (T - 14,4) \quad (1)$$

де: T – середня температура за період оцінки, °С;

RH - середня відносна вологість за певний період, %.

Для оцінки реакції організму на вплив температури, вітру та сонячного світла розраховують індекс вітрової ефективності (2).

$$K = - (10\sqrt{V} + 10,45 - V)(33 - T) + 8,55S \quad (2)$$

де: V – середня швидкість вітру, м/с;

T – середня температура за період оцінки, °С;

S - середня кількість сонячних годин за період оцінки, год/день.

Оцінка кліматичної комфортності має здійснюватися за класифікацією ступеня кліматичного комфорту людини у середовищі поселення, що представлена у табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація ступеня кліматичного комфорту людини в середовищі поселення [2]

Table 1

Classification of climatic comfort degree of a person in settlement environment [2]

Ранг	Ступінь	Індекс температури і вологості	Індекс вітрової ефективності	Опис почуттів здорової людини
1	Надзвичайно холодний	<14.0	<-400	Дуже холодно, незручно
2	Холодний	14.0–16.9	-400 до 300	Відносно холодно, трохи незручно
3	Комфортний	17.0–25.4	-299 до 100	Комфортно
4	Гарячий	25.5–27.5	-99 до 10	Гарячий, трохи незручно
5	Спекотний	>27.5	>-10	Спекотний, незручно

У той же час, в наслідок застосування, запропонованого методу [2] виявлено некоректні результати за ступенями кліматичної комфортності.

Запропоновано внесення корегування в ранжування, згідно особливостей формування умов комфортної погоди в Україні [23]. З використанням формул розрахунку

індексів комфортності [2] виявлено оптимальні показники, шляхом підстановки значень температури та вологості повітря характерні для географічного розташування України. Межами комфортної погоди в Україні вважаються умови з температурою від +10°C до +20 °С, та вологості 40–50 % . Саме розраховані за методикою [2] індекси,

що відповідають вказаним погодним умовам і дали верхню і нижню межу комфортної погоди (95-170) (Табл. 2). Для визначення меж субкомфортного клімату за найбільші показники у бік від'ємних температур використовувались температура +14°C, вологість

75%, а у бік додатних – температура +24°C, вологість 75% (нижня межа субкомфортності – -2, а верхня – 415. Показники індексу комфортності нижче -2 та вище 415 складають некомфортну погоду.

Таблиця 2

Класифікація комфортності погоди для помірного поясу України [23]

Table 2

Weather comfort classification for the temperate zone of Ukraine [23]

Комфортність погоди	Значення індексів температури та вологості і вітрової ефективності	Позначення ступеня комфортності погоди
Комфортна	95-170	
Субкомфортна	від -2 до 95	
	від 170 до 415	
Некомфортна	до -2 і більше 415	

За формулами (1) та (2) обчислено оптимальні показники індексів температури та вологості і вітрової ефективності, шляхом підстановки значень температури, вологості повітря та швидкості вітру. У розрахунку використовуються температурні та вологісні

показники особливі для географічного місцезнаходження України і відповідають категоріям комфортності погоди [23].

Отримана класифікація комфортності погоди апробована для території України і може бути застосована у країнах помірного кліматичного поясу.

Результати дослідження

Для виконання порівняльної кліматичної оцінки областей України за 30-річний період з 1991 по 2021 роки використано дані з Гідрометеорологічних центрів міст України та сайтів погоди [24 -29].

Сформовано масив даних за багаторічний період, який включає такі метеорологічні величини:

- середня температура повітря;
- середня відносна вологість;
- середня швидкість вітру;
- середня кількість сонячних годин.

Використовуючи отримані вихідні дані одержано по 12 показників з кожної метеовеличини відповідно до місяців року за 30 років.

Користуючись методикою розрахунків з інформаційних джерел обчислено:

- індекси температури та вологості;
- індекси вітрової ефективності.

Розрахунки проводились з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel. Обчислення проводилось для обласних центрів України по місяцям та у середньому за рік.

За отриманих показників розраховано індекси температури та вологості, та вітро-

вої ефективності, які вказують на сприйняття людиною кліматичних даних про навколишнє середовище, тобто температури, вологості, швидкості вітру та тривалості надходження сонячного світла протягом дня.

За 30-тирічний період встановлено, що з січня по квітень та з жовтня по грудень на значення індексів температури та вологості і вітрової ефективності Київської області впливають від'ємна та низька температура від -3,2 до +10, помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 64 % до 86 % у типі некомфортної погоди, як видно на рис. 1.

У Чернігівській області на комфортність погоди впливає від'ємна та низька температура від -5,5 до +8,3, помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 66 % до 86 %, швидкість вітру від 4,4 до 5.5 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Сумській області вагомий вплив дають температура повітря від -6,6, до +8,3 помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 69 % до 87 %, швидкість вітру більше за 3 м/с, тобто від 4,4 до 5,5 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

На Полтавщині на індексах комфортності позначаються низька температура від -

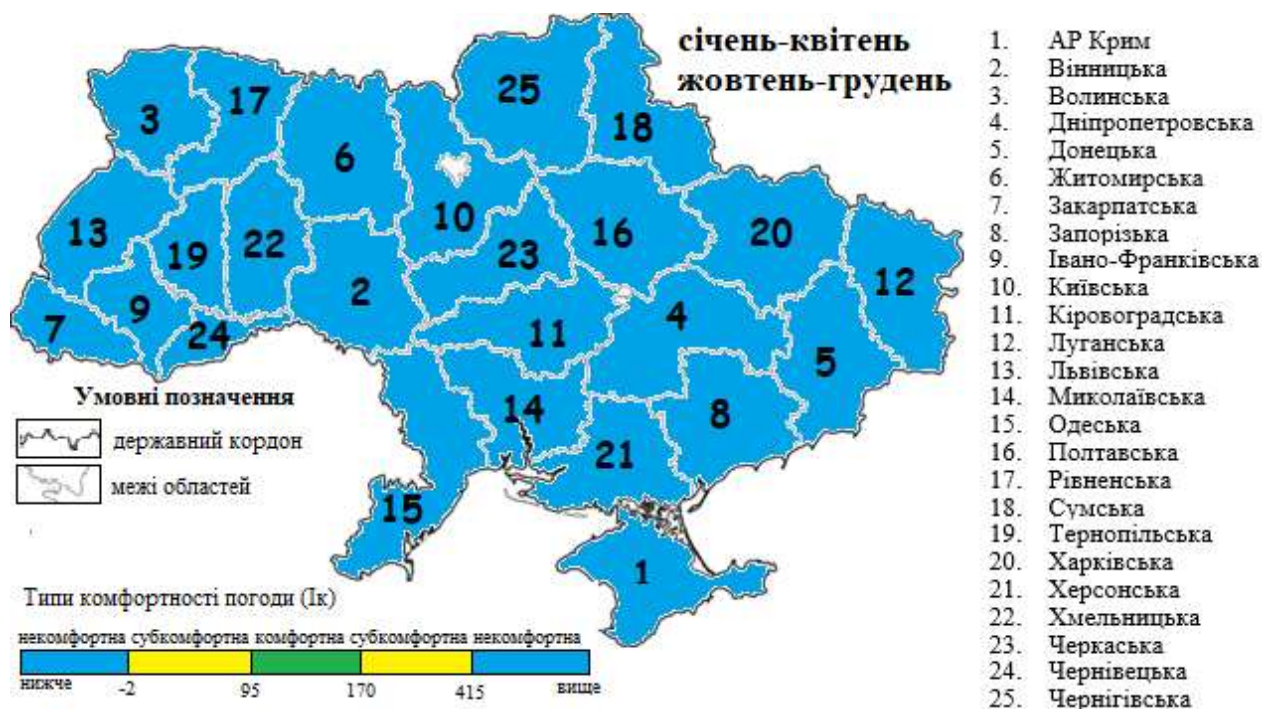


Рис. 1 – Комфортність погоди в Україні з січня по квітень, з жовтня по грудень

Fig. 1 – Weather comfort in Ukraine from January to April, from October to December

5,5 до +8,8, помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 69 % до 87 %, швидкість вітру від 3,8 до 4,7 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

На Харківщині мають вплив ті ж показники низької температури повітря від -4,5 до +9,7, помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 66 % до 87 %, та швидкості вітру від 4,1 до 4,5 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

Луганська область відзначається впливом 3-х величин: низької температури повітря від -5,5 до +9,4, помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 68 % до 87 %, та швидкості вітру від 4,7 до 6,1 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

Донецька область відзначається впливом низької температури повітря від -4,1 до +9,3, помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 66 % до 88 %, та швидкості вітру від 4,6 до 5,1 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

Дніпропетровська область відзначається впливом низької температури повітря від -3,6 до +9,7 помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 67 % до 88 % та швидкості вітру від 4,6 до 5 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

Кіровоградська область відзначається впливом низької температури повітря від -4,4 до +8,8, помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 69 % до 86 % та швидкістю вітру від 4,4 до 4,7 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

Черкаська область відзначається впливом низької температури повітря від -3,1 до +9,8 помірно-сухим, вологим повітрям від 67 % до 84 % та швидкістю вітру від 3,9 до 4,4 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Одеській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря від -1,1 до +9,4 вологе повітря від 75 % до 85 % та швидкість вітру від 4,4 до 5,2 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Миколаївській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря від -1,7 до +10,9, помірно-сухе, вологе повітрям від 67% до 83% та швидкість вітру від 4,4 до 4,9 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Херсонській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря від -2,2 до +10,3, помірно-сухе та вологе повітря від 65% до 82% та швидкість вітру від 3,6 до 4 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Запорізькій області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря від -3,1 до +9,8 помірно-сухе, вологе повітрям від 66% до 88 % та швидкість вітру від 4 до 4,5 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У АР Крим діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від 0,1 до +10,1, помірно-сухе, вологе повітря від 65 % до 83 % та швидкість вітру від 4,1 до 5 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Вінницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від -5,3 у січні і до +8,2 у квітні, помірно-сухе та вологе повітря від 64 % до 84 % та швидкість вітру від 4 до 4,4 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Хмельницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від -6,6 до +8,8 помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 69 % до 89 % та швидкість вітру від 4 до 4,4 м/с у типі некомфортної погоди у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Тернопільській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від +10 до +23,8 вологе та сильно повітря від 72 % до 87 % та швидкість вітру від 4,4 до 6,1 м/с у типі некомфортної погоди у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Івано-Франківській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від -3,3 до +8,3 вологе повітря від 71 до 81 % та швидкість вітру від 3,8 до 4,7 м/с у типі некомфортної погоди у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Чернівецькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від -4 до +9,2, помірно-сухе та вологе повітря від 67 % до 82 % у типі субкомфортної погоди у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Закарпатській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від -1,7 до +11, помірно-сухе та вологе повітря від 62 % до 83 % у типі субкомфортної погоди у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Львівській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від -3,1 до +8,2, помірно-сухе та вологе повітря від 69 % до 85 % у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Волинській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від -3 до +9, помірно-сухе та вологе повітря від 67 % до 84 % та швидкість вітру

від 4,3 до 5,2 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 1).

У Рівненській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря від -3,8 до +7,7, помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 71 % до 86 % та швидкість вітру від 4,4 до 6,1 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

У Житомирській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря – 4,4 до +7,7 помірно-сухе, вологе, сильно вологе повітря від 72 % до 86 % та швидкість вітру від 4,7 до 6,1 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 1).

На комфортність погоди в Україні у травні в Київській області впливають температура +15,8, помірно-сухе повітря 62 % у типі субкомфортної погоди, як позначено на рис. 2.

У Чернігівській області на комфортність погоди впливає температура +14,4, помірно-сухе повітря 62 %, швидкість вітру 5,2 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

У Сумській області вагомий вплив дають температура повітря +15, помірно-сухе повітря 66 %, швидкість вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

На Полтавщині на індексах комфортності позначаються температура +15, помірно-сухе повітря 65 %, швидкість вітру 4,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

На Харківщині мають вплив ті ж показники температури повітря +16,1, помірно-сухе повітря 61 % та швидкості вітру 3,7 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

Луганська область відзначається впливом 3-х величин: температури повітря +15,5, помірно-сухе повітря 61 % та швидкість вітру 5,2 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

Донецька область відзначається впливом температури повітря нижче комфортної +15,3, помірно-сухим повітрям 62 % та швидкістю вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди. (рис. 2).

Дніпропетровська область відзначається впливом температури повітря +16,2 помірно-сухе повітря 62 % та швидкості вітру 3,9 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

Кіровоградська область відзначається впливом температури повітря +15, помірно-сухе повітря 64 % та швидкістю вітру 4,7 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

Черкаська область відзначається впливом температури повітря +14,9 помірно-су-



Рис. 2 – Комфортність погоди в Україні, травень

Fig. 2 – Comfortable weather in Ukraine, May

хим повітрям 62 % та швидкістю вітру 3,5 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2). У Одеській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +15 помірно-сухе повітря 70% та швидкість вітру 4,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

У Миколаївській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +17,4 помірно-сухе повітря 62 % у типі комфортної погоди (рис. 2).

У Херсонській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +16,2 помірно-сухе повітря 60 % та швидкість вітру 3,2 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

Запорізькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +16,2 помірно-сухе повітря 62 % та швидкість вітру 3,6 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

У АР Крим діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +16 помірно-сухе повітря 62 % та швидкість вітру 3,6 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

У Вінницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +14,1 помірно-сухе повітря 62 % та

швидкість вітру 3,6 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

У Хмельницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,3 помірно-сухе повітря 69 % та швидкість вітру 3,5 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 2).

У Тернопільській області діє на значення індексів комфортності погоди висока температура повітря +28,8 вологе повітря 72 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 2).

У Івано-Франківській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,3 вологе повітря 73 % та швидкість вітру 4,4 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 2).

У Чернівецькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +14,6 помірно-сухе повітря 65 % та швидкість вітру 3,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

У Закарпатській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +16,1 помірно-сухе повітря 65 % та швидкість вітру у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

У Львівській області діє на значення індексів комфортності погоди температура

повітря +13,7 вологе повітря 71 % у типі не-комфортної погоди (рис. 2).

У Волинській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +15 помірно-сухе повітря 67 % та швидкість вітру 3,9 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 2).

У Рівненській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,8 вологе повітря 71 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 2).

У Житомирській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,8 помірно-сухе повітря 70 % та швидкість вітру 4,7 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 2).

На комфортність погоди в Україні у червні в Київській області впливають температура +19,5, помірно-сухе повітря 67 % у типі субкомфортної погоди, як продемонстровано на рис. 3.

У Чернігівській області на комфортність погоди впливає температура +17,7, помірно-сухе повітря 62 %, у типі комфортної погоди (рис. 3).

У Сумській області вагомий вплив дають температура повітря +18,3, у типі комфортної погоди (рис. 3).

На Полтавщині на індексах комфортності позначаються температура +18,3, помірно-сухе повітря 54 %, швидкість вітру 3,3 м/с у типі комфортної погоди (рис. 3).

На Харківщині мають вплив ті ж показники температури повітря +20, помірно-сухе повітря 65 % та швидкості вітру 3,5 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

Луганська область відзначається впливом 3-х величин: температури повітря +19,4, помірно-сухе повітря 63 % та швидкість вітру 4,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

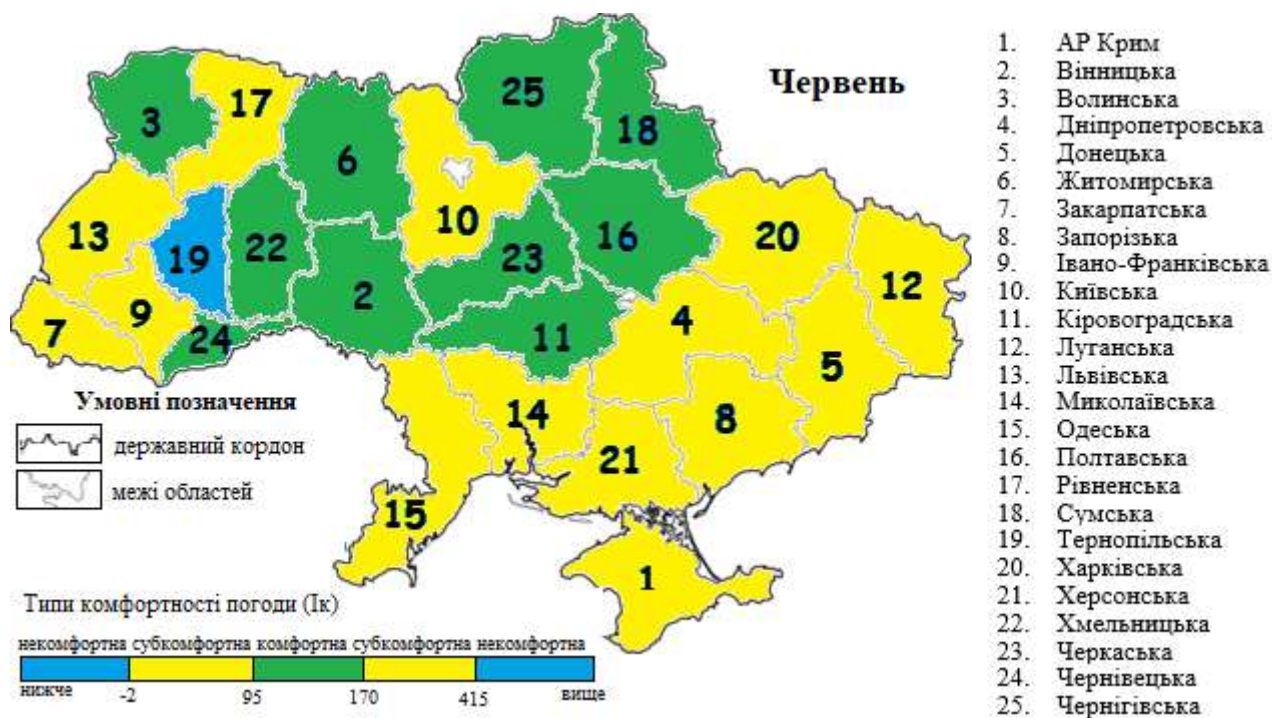


Рис. 3 – Комфортність погоди в Україні, червень

Fig. 3 – Weather comfort in Ukraine, June

Донецька область відзначається впливом температури повітря нижче комфортної +19,2, помірно-сухим повітрям 62 % та швидкістю вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

Дніпропетровська область відзначається впливом температури повітря +19,8 по-

мірно-сухе повітря 62 % та швидкості вітру 3,9 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

Кіровоградська область відзначається впливом температури повітря +18,3, помірно-сухе повітря 68 % та швидкістю вітру 3,8 м/с у типі комфортної погоди (рис. 3).

Черкаська область відзначається впливом температури повітря +18 помірно-сухим повітрям 62 % та швидкістю вітру 3 м/с у типі комфортної погоди (рис. 3).

У Одеській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +19,4 помірно-сухе повітря 70 % та швидкість вітру 4,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

У Миколаївській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +21,7 помірно-сухе повітря 59 % та швидкість вітру 3,9 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

У Херсонській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +20,4 помірно-сухе повітря 57 % у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

Запорізькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +20,1 помірно-сухе повітря 62 % та швидкість вітру 3,6 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

У АР Крим діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +20,5 помірно-сухе повітря 61 % та швидкість вітру 3,5 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

У Вінницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,4 помірно-сухе повітря 63 % та швидкість вітру 3,4 м/с у типі комфортної погоди (рис. 3).

У Хмельницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,2 та швидкість вітру 3,3 м/с у типі комфортної погоди (рис. 3).

У Тернопільській області діє на значення індексів комфортності погоди висока температура повітря +30 вологе повітря 76 % та швидкість вітру 4,4 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 3).

У Івано-Франківській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +16,1 вологе повітря 75 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

У Чернівецькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,9 помірно-сухе повітря 67 % та швидкість вітру 3,3 м/с у типі комфортної погоди (рис. 3).

У Закарпатській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +18,7 помірно-сухе повітря 65 % у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

У Львівській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,7 вологе повітря 71 % у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

У Волинській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17 помірно-сухе повітря 68 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі комфортної погоди (рис. 3).

У Рівненській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +16,1 вологе повітря 76 % та швидкість вітру 4,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 3).

У Житомирській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +16,6 у типі комфортної погоди (рис. 3).

На комфортність погоди в Україні у липні в Київській області впливають температура +21,3, помірно-сухе повітря 68 % у типі субкомфортної погоди, як проілюстровано на рис. 4.

У Чернігівській області на комфортність погоди впливає температура +18,8, помірно-сухе повітря 67 %, швидкість вітру 4,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Сумській області вагомий вплив дають температура повітря +18,8, вологе повітря 74 %, швидкість вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

На Полтавщині на індексах комфортності позначаються температура +20, помірно-сухе повітря 70 %, швидкість вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

На Харківщині мають вплив ті ж показники температури повітря +22, помірно-сухе повітря 65 % та швидкості вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

Луганська область відзначається впливом 3-х величин: температури повітря +21,1, помірно-сухе повітря 63 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

Донецька область відзначається впливом температури повітря нижче комфортної +21,6, помірно-сухим повітрям 64 % та швидкістю вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

Дніпропетровська область відзначається впливом температури повітря +22,1 помірно-сухе повітря 65 % та швидкості вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

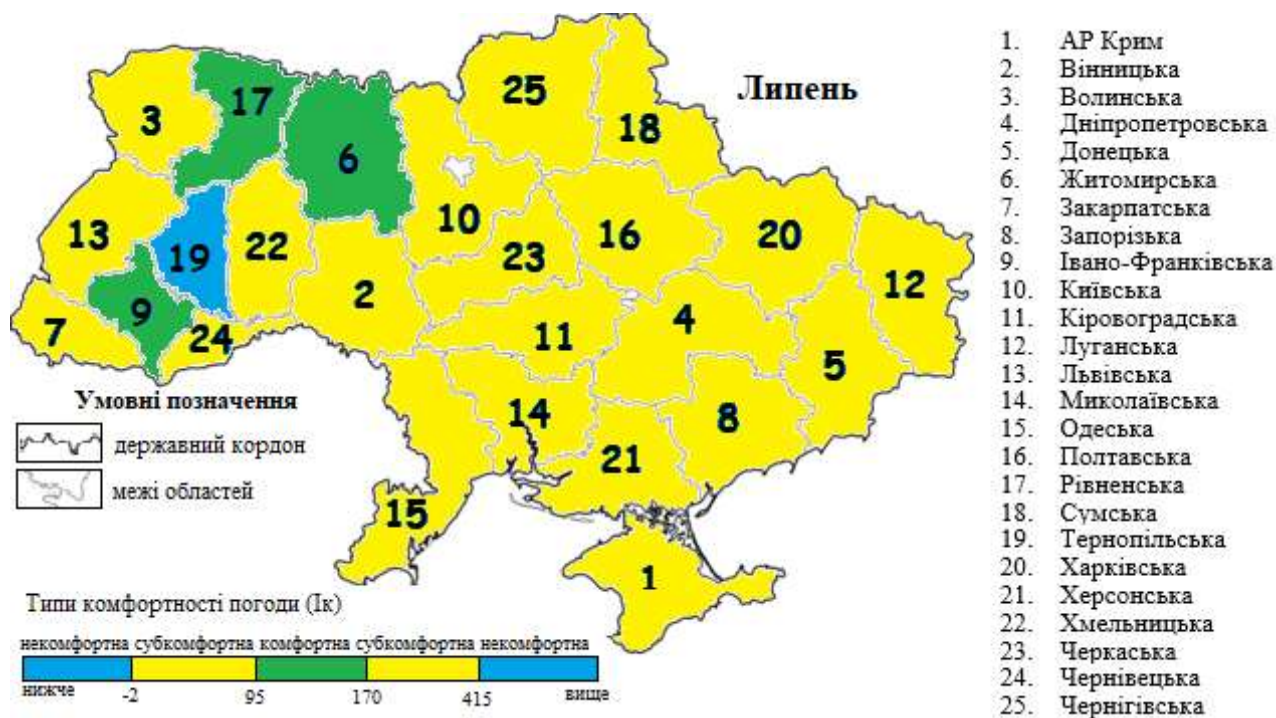


Рис. 4 – Комфортність погоди в Україні, липень

Fig. 4 – Comfortable weather in Ukraine, July

Кіровоградська область відзначається впливом температури повітря +19,4, помірно-сухе повітря 69 % та швидкістю вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

Черкаська область відзначається впливом температури повітря +21,7 помірно-сухим повітрям 65 % у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Одеській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +21,6 помірно-сухе повітря 60 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Миколаївській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +24,3 помірно-сухе повітря 57 % та швидкість вітру 3,9 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Херсонській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +22,8 помірно-сухе повітря 54 % у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

Запорізькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +22,5 помірно-сухе повітря 62 % та швидкість вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У АР Крим діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +23,4 помірно-сухе повітря 56 % та швид

кість вітру 3,6 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Вінницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +19,2 помірно-сухе повітря 66 % та швидкість вітру 3,2 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Хмельницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +18,3 вологе повітря 72 % та швидкість вітру 3,1 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Тернопільській області діє на значення індексів комфортності погоди висока температура повітря +31,6 вологе повітря 76 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 4).

У Івано-Франківській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,7 та швидкість вітру 3,8 м/с у типі комфортної погоди (рис. 4).

У Чернівецькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +19,6 помірно-сухе повітря 69 % у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Закарпатській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +20,8 помірно-сухе повітря 67 % у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Львівській області діє на значення

індексів комфортності погоди температура повітря +18,2 вологе повітря 75 % у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Волинській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +19 вологе повітря 71 % та швидкість вітру 3,7 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 4).

У Рівненській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,7 та швидкість вітру 3,8 м/с у типі комфортної погоди (рис. 4).

У Житомирській області діє на зна-

чення індексів комфортності погоди температура повітря +17,7 у типі комфортної погоди (рис. 4).

На комфортність погоди в Україні у серпні в Київській області впливають температура +20,4, помірно-сухе повітря 67 % у типі субкомфортної погоди, як показано на рис. 3.30.

У Чернігівській області на комфортність погоди впливає температура +17,7, помірно-сухе повітря 64 %, швидкість вітру 3,8 м/с у типі комфортної погоди, як показано на рис. 5.

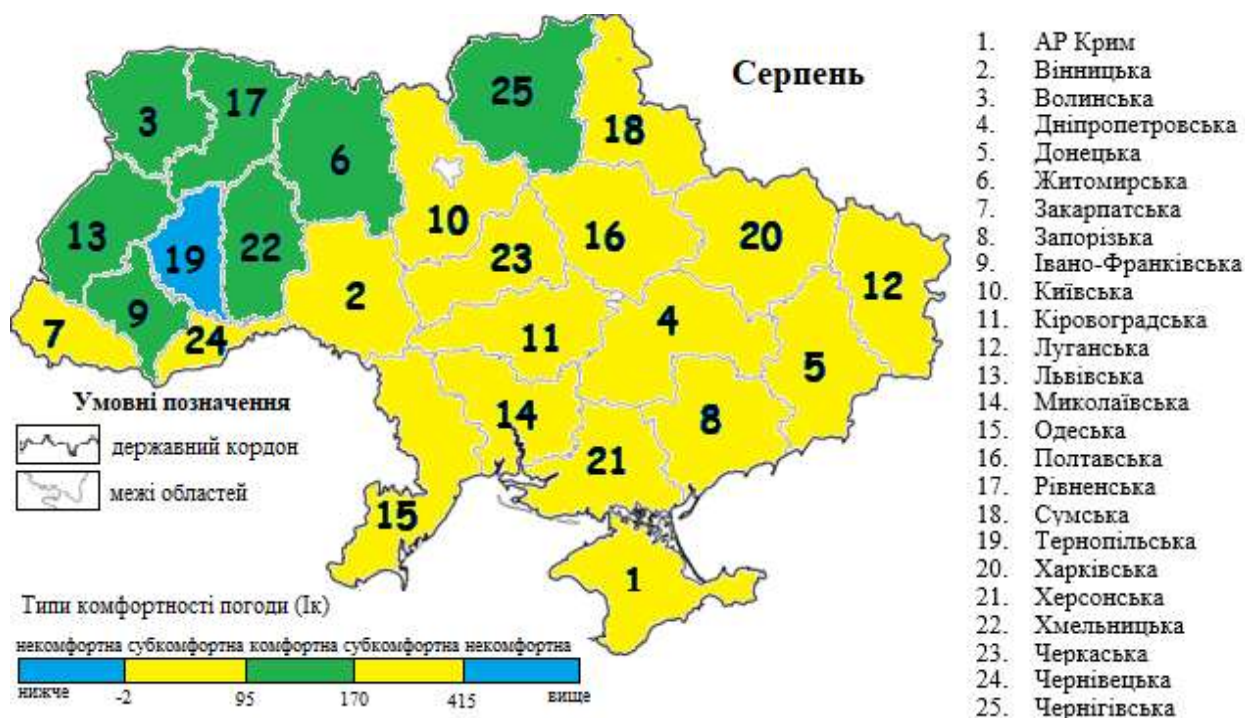


Рис. 5 – Комфортність погоди в Україні, серпень

Fig. 5 – Weather comfort in Ukraine, August

У Сумській області вагомий вплив дають температура повітря +18,3, вологе повітря 72 %, швидкість вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди, як показано на рис. 3.30.

На Полтавщині на індексах комфортності позначаються температура +18,8, помірно-сухе повітря 67 %, швидкість вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

На Харківщині мають вплив ті ж показники температури повітря +21,1, помірно-сухе повітря 63 % та швидкості вітру 3,2 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

Луганська область відзначається впливом 3-х величин: температури повітря +20, помірно-сухе повітря 60 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

Донецька область відзначається впливом температури повітря нижче комфортної +20,7, помірно-сухим повітрям 60 % та швидкістю вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

Дніпропетровська область відзначається впливом температури повітря +21,3 помірно-сухе повітря 62 % та швидкості вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

Кіровоградська область відзначається впливом температури повітря +19,5, помірно-сухе повітря 69 % та швидкістю вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

Черкаська область відзначається впливом температури повітря +19,4 помірно-сухим повітрям 62 % у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

У Одеській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +21,1 помірно-сухе повітря 65 % та швидкість вітру 4,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

У Миколаївській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +21,4 помірно-сухе повітря 52 % та швидкість вітру 3,9 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

У Херсонській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +22 помірно-сухе повітря 50 % у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

Запорізькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +21,9 помірно-сухе повітря 59 % та швидкість вітру 3,3 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

У АР Крим діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +23,5 помірно-сухе повітря 54 % та швидкість вітру 3,6 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

У Вінницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +18,9 помірно-сухе повітря 63% у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

У Хмельницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,2 у типі комфортної погоди (рис. 5).

У Тернопільській області діє на значення індексів комфортності погоди висока температура повітря +32,7 вологе повітря 75 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 5).

У Івано-Франківській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,7 та швидкість вітру 3,8 м/с у типі комфортної погоди (рис. 5).

У Чернівецькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +18,8 помірно-сухе повітря 68 % у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

У Закарпатській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +20,2 помірно-сухе повітря 69 % у типі субкомфортної погоди (рис. 5).

У Львівській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,7 у типі комфортної погоди (рис. 5).

У Волинській області діє на значення індексів комфортності погоди температура

повітря +18 помірно-сухе повітря 68% та швидкість вітру 3,6 м/с у типі комфортної погоди (рис. 5).

У Рівненській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,2 та швидкість вітру 3,8 м/с у типі комфортної погоди (рис. 5).

У Житомирській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,2 у типі комфортної погоди (рис. 5).

На комфортність погоди в Україні у вересні в Київській області впливають температура +14,8, вологе повітря 74 % у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

У Чернігівській області на комфортність погоди впливає температура +14,4, помірно-сухе повітря 62 %, швидкість вітру 5.2 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 6).

У Сумській області вагомий вплив дають температура повітря +13,3, вологе повітря 74 %, швидкість вітру 4,4 м/с у типі некомфортної погоди, як зображено на рис. 6.

На Полтавщині на індексах комфортності позначаються температура +14,4, помірно-сухе повітря 69 % у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

На Харківщині мають вплив ті ж показники температури повітря +15,1, помірно-сухе повітря 70 % та швидкості вітру 3,5 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

Луганська область відзначається впливом 3-х величин: температури повітря +15, помірно-сухе повітря 64 % та швидкість вітру 4.7 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

Донецька область відзначається впливом температури повітря нижче комфортної +15,1, помірно-сухим повітрям 67 % та швидкістю вітру 3,8 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

Дніпропетровська область відзначається впливом температури повітря +15,6 помірно-сухе повітря 70 % та швидкості вітру 4,1 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

Кіровоградська область відзначається впливом температури повітря +15, помірно-сухе повітря 67 % та швидкістю вітру 3,7 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

Черкаська область відзначається впливом температури повітря +14,4 помірно-сухим повітрям 68 % та швидкістю вітру 3,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

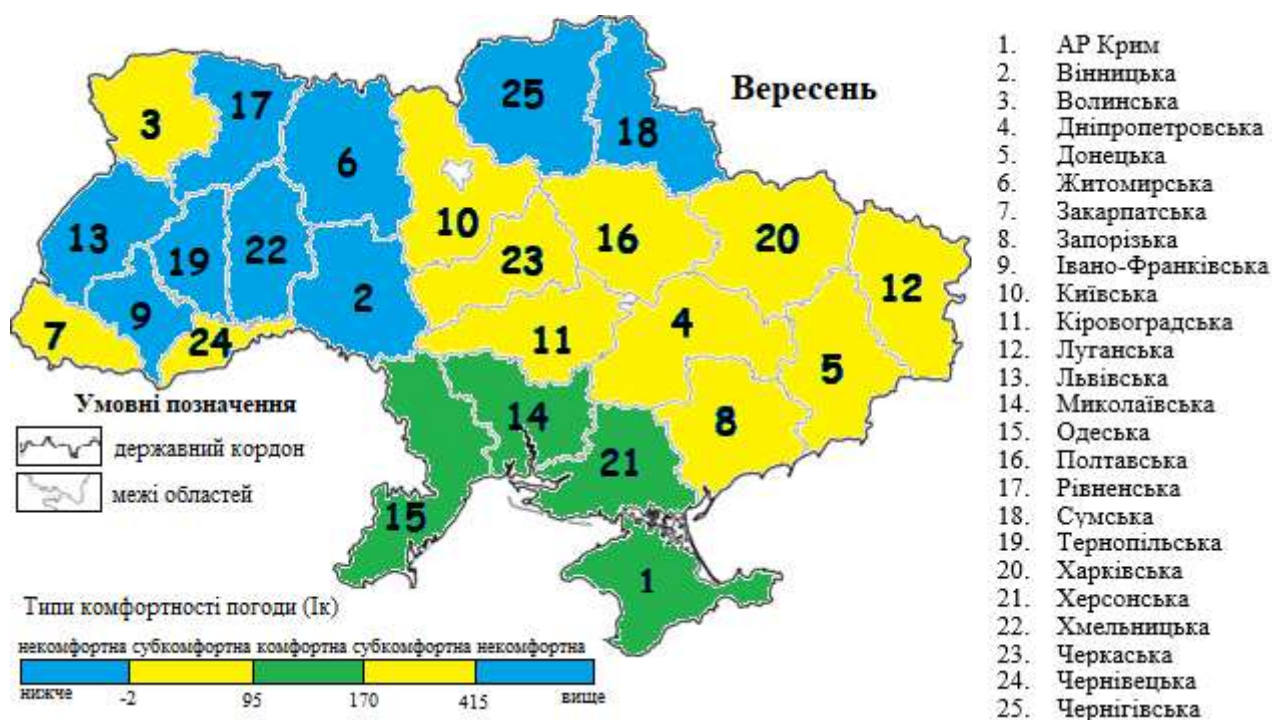


Рис. 6 – Комфортність погоди в Україні, вересень
Fig. 6 – Comfortable weather in Ukraine, September

У Одеській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +16,6 у типі комфортної погоди (рис. 6).

У Миколаївській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +17,4 помірно-сухе повітря 62 % у типі комфортної погоди (рис. 6).

У Херсонській області діє на значення індексів комфортності погоди низька температура повітря +17 помірно-сухе повітря 59 % у типі комфортної погоди (рис. 6).

Запорізькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +16,1 помірно-сухе повітря 66 % та швидкість вітру 3,6 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

У АР Крим діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +17,8 помірно-сухе повітря 63 % у типі комфортної погоди (рис. 6).

У Вінницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,9 помірно-сухе повітря 68 % та швидкість вітру 3,4 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

У Хмельницькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,8 вологе повітря 75 % у типі некомфортної погоди (рис. 6).

У Тернопільській області діє на значення індексів комфортності погоди висока

температура повітря +28,8 вологе повітря 77 % та швидкість вітру 4,4 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 6).

У Івано-Франківській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,8 вологе повітря 75 % та швидкість вітру 3,8 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 6).

У Чернівецькій області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +14,6 помірно-сухе повітря 70% у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

У Закарпатській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +15,5 вологе повітря 73% у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

У Львівській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13 вологе повітря 79 % у типі некомфортної погоди (рис. 6).

У Волинській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +14 вологе повітря 73 % та швидкість вітру 4,1 м/с у типі субкомфортної погоди (рис. 6).

У Рівненській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,3 вологе повітря 76 % та швидкість вітру 4,7 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 6).

У Житомирській області діє на значення індексів комфортності погоди температура повітря +13,3 вологе повітря 75 % та швидкість вітру 4,7 м/с у типі некомфортної погоди (рис. 6).

Якщо проводити аналіз метеорологічних показників за географічним районуванням України [15], то можна знайти спільні риси між обласними центрами.

Центральний регіон (Київська, Черкаська, Кіровоградська області) характеризується 7 місячним періодом надзвичайно холодної погоди (з січня по квітень та з жовтня по грудень) та 5 місячним періодом спекотної погоди (з травня по вересень). Деяку відмінність має Черкаська область спекотний період тут триває 4 місяці (з травня по серпень) і спостерігається холодний період протягом 1 місяця (вересень). З січня по квітень та з жовтня по грудень показники є негативними та не сприяють рекреації населення. З травня по серпень та вересень характеризуються позитивними значеннями і сприяють рекреації серед жителів.

Центрально-Західний регіон (Хмельницька, Вінницька, Житомирська області). Специфічними ознаками регіону є 9 місячний період надзвичайно холодної погоди (з січня по травень та з вересня по грудень), спекотний період триває 3 місяці (з червня по серпень).

З січня по травень та з вересня по грудень можна помітити, що показники є негативними та не сприяють рекреації населення. З червня по серпень дані є позитивними і допомагають у розвитку рекреації регіону.

Центрально-Східний регіон (Харківська, Дніпропетровська, Запорізька області) визначається 7 місячним періодом надзвичайно холодної погоди (з січня по квітень та з жовтня по грудень) та 5 місячним періодом спекотної погоди (з травня по вересень).

З січня по квітень та з жовтня по грудень спостерігаються негативні показники, що не сприяють рекреації населення. Лише з травня по вересень можливий відпочинок населення.

Регіон Донбасу (Донецька, Луганська області) визначається 7 місячним періодом надзвичайно холодної погоди (з січня по квітень та з жовтня по грудень) та 5 місячним періодом спекотної погоди (з травня по вересень).

З січня по квітень та з жовтня по грудень спостерігаються негативні показники,

що не сприяють рекреації населення. Лише з травня по вересень можливий відпочинок населення.

Північно-Східний регіон (Чернігівська, Сумська, Полтавська області) відзначається 7 – 8 місячним періодом надзвичайно холодної погоди та 3 – 4 місячним періодом спекотної погоди (в залежності від області). Холодна погода спостерігається у двох областях регіону Чернігівській (травень) та Полтавській (вересень).

Південний регіон (Одеська, Миколаївська, Херсонська області). Його особливістю є 7 місячний період надзвичайно холодної погоди (з січня по квітень та з жовтня по грудень) та 5 місячним періодом спекотної погоди (з травня по вересень).

З січня по квітень та з жовтня по грудень спостерігаються негативні показники, що не сприяють рекреації населення. Лише з травня по вересень можливий відпочинок населення.

Північно-Західний регіон (Волинська, Рівненська, Львівська, Тернопільська області) характеризується 6–9 місячним періодом надзвичайно холодної погоди та 3 – 5 місячним періодом спекотної погоди (в залежності від області). Холодна погода спостерігається у одній області регіону Тернопільській і припадає на жовтень.

Холодне півріччя у регіоні складає від 6 до 9 місяців з від'ємними показниками і негативно впливає на розвиток рекреації та туризму. Тепле півріччя триває від 3 до 5 місяців, включаючи холодний період з позитивним показником слугує зростанню рекреації серед жителів.

Південно-Західний (Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька області) виділяється 7–9 місячним періодом надзвичайно холодної погоди та 3–5 місячним періодом спекотної погоди (в залежності від області). Лише у Чернівецькій області 2 місяці спостерігається комфортна погода, яка припадає на травень та вересень.

Холодне півріччя у регіоні складає від 7 до 9 місяців і негативно впливає на розвиток рекреації та туризму. Тепле півріччя триває від 3 до 7 місяців, включаючи комфортні місяці травня та вересня у Чернівецькій області і слугують зростанню рекреації серед жителів.

Регіон Крим (Автономна Республіка Крим, включаючи обласний центр Сімферополь). Своєрідними ознаками є 7 місячний період надзвичайно холодної погоди (з січня

по квітень та з жовтня по грудень) та 5 місячним періодом спекотної погоди (з травня по вересень). З січня по квітень та з жовтня

по грудень спостерігаються негативні показники, що не сприяють рекреації населення. Лише з травня по вересень можливий відпочинок населення.

Обговорення

Встановлено, що 7 місяців Україна перебуває у некомфортній погоді, крім Тернопільської області та інших областей (Рівненська, Житомирська, Львівська, Івано-Франківська, Хмельницька, Вінницька, Чернігівська, Сумська), де некомфортність спостерігається більше на 1-2 місяці. Комфортні і субкомфортні періоди зустрічаються з травня по вересень по всій території України.

Виявлено закономірність, що комфортна погода «мігрує» з півдня на північ з травня по серпень та у вересні повертається у південні регіони. Таке явище пояснюється тим, що у перехідний весняно-осінній період спостерігається від'ємна субкомфортність майже у всіх регіонах України, на відмінну від комфортного півдня.

У червні комфортність пересувається у Центральний регіон (Черкаська, Кіровоградська області, крім Київської області), Центрально-Західний регіон (Хмельницька, Вінницька, Житомирська області), Північно-Східний регіон (Чернігівська, Сумська, Полтавська області), Північно-Західний регіон (тільки Волинська область), Південно-Західний (лише Чернівецька область), оскільки у більш південних областях стає не сприятлива погода з боку додатних температур і водночас Західні регіони (Рівненська, Львівська, Івано-Франківська області, крім Закарпатської) ще не «нагрілись» і мають від'ємну субкомфортність.

У липні майже уся територія України має субкомфортну погоду з додатними показниками і лише 3 області є комфортними (Рів

ненська, Житомирська, Івано-Франківська).

Комфортна погода також з'являється у Західному регіоні (Львівській, Івано-Франківській, Рівненській областях) та повертається у Чернігівську, Житомирську, Хмельницьку, Волинську області у серпні. Це пов'язано з тим, що додатна субкомфортність минає у цих областях в кінці літа.

Отже, найбільш комфортною областю є Чернівецька, що є частиною Південно-західного географічного регіону, яка має 2 місяці комфортної погоди.

Дослідженням виявлені періоди з комфортними погодою для різних регіонів, а саме Волинська, Житомирська, Хмельницька, Чернівецька, Вінницька, Черкаська, Кіровоградська, Полтавська, Чернігівська, Сумська, Рівненська, Івано-Франківська, Львівська, Одеська, Миколаївська, Херсонська області та АР Крим.

Комфортна погода поширена на півдні у травні і вересні. У червні вона концентрується у центральній (крім Київської області), північній та західних частинах України. У липні комфортно у Житомирі, Рівному, Івано-Франківську. У серпні герографія розширюється ще на Чернігівську, Хмельницьку, Львівську, Волинську області.

Протягом 12 місяців некомфортною погодою визначається Тернопільська область, де на комфортність впливає температура повітря від +10 у січні до +32,7 у серпні, вологе та сильно вологе повітря від 72% у квітні та травні до 87% у грудні, швидкість вітру від 3,8 м/с у травні, липні та серпні до 6,1 м/с у січні.

Висновки

Внаслідок виконаної наукової роботи одержані результати для оцінки кліматичної комфортності за 12-тьма місяцями 30-річного періоду спостережень з 1991 по 2021 роки. Виконано розрахунки для 23 обласних центрів України, міста Києва та Автономної Республіки Крим за такими метеоданими: температура, вологість повітря, швидкість вітру, кількість сонячних годин. Оцінені ін-

декси температури і вологості та індекси вітрової ефективності за розробленою шкалою класифікації погоди.

Найбільший період комфортної погоди (2-3 місяці) мають Житомирська (з червня по серпень), Чернігівська (червень, серпень), Хмельницька (червень, серпень), Івано-Франківська (липень, серпень), Волинська (червень, серпень), Миколаївська області (травень, вересень). Також виявлені пе-

ріоди з комфортними погодами в таких областях як Волинська, Житомирська, Хмельницька, Чернівецька, Вінницька, Черкаська, Кіровоградська, Полтавська, Чернігівська, Сумська, Рівненська, Івано-Франківська, Львівська, Одеська, Миколаївська, Херсонська та АР Крим.

Оскільки для метеозалежних людей за медичними показаннями доцільно на відпочинку уникати екстремальних змін погодних умов, вказані регіони мають перспективи для розвитку кліматичного туризму. Це прямо пов'язано з підйомом сільського і зеленого туризму, оскільки метеозалежними є

люди старшого віку і для них комфортні погоди дозволяють поєднувати відпочинок з сільськими умовами проживання. Саме в цьому ми вбачаємо один із напрямків співпраці з європейськими країнами, де зараз набуває популярності сільський і зелений туризм.

Отримані результати можна використовувати для потреб туризму: планування екскурсійних маршрутів; створення стратегій розвитку рекреаційної діяльності в регіоні; формування інформаційних бюлетенів і надання інформації щодо «найкращого» часу для відпочинку; організації сезонних турів по регіонам України.

Конфлікт інтересів

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

Список використаної літератури

1. Протасова О. С., Максименко Н. В. Зміни патогенності погоди узбережжя Азовського моря протягом року. *Матеріали науково-практичної конференції за результатами II туру всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності „науки про Землю (Гідрометеорологія)“*: зб. матеріалів доп. учасн. наук.-практ. конф., 23-24 бер., 2021 р. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 21.
2. Zhang D., Zhou C., Zhou Y., Zikirya B. Spatiotemporal relationship characteristic of climate comfort of urban human settlement environment and population density in China. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2022. P. 1–12.
3. Protasova O. Assessment of climatic comfort on the coast of the Azov sea (Ukraine). *IV International scientific congress society of ambient intelligence 2021 (student sections)*: coll. addit. mater. part. inter. of scien. cong., 12-16 apr., Praha.: Oktan Print, 2021 p. 336.
4. Протасова О. С., Максименко Н. В. Оцінка кліматичної комфортності території Житомирської області. *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи*: зб. тез доп. Тези II Міжнар. інтер. конф., 23 бер. 2023 р. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна С. 41–42.
5. Protasova O. S., Maksymenko N. V. Formation peculiarities of the annual weather comfort in the Carpathian region of Ukraine. *Ecology is a priority*: тези Всеукр. студ. англ.мов. конф., 19 квіт. 2023 р. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна С. 82.
6. Delgado, J.; Matos, A.M.; Guimarães, A.S. Linking Indoor Thermal Comfort with Climate, Energy, Housing, and Living Conditions: Portuguese Case in European Context. *Energies* 2022. Vol.15. N16. P. 6028. <https://doi.org/10.3390/en15166028>
7. Fürtön, B.; Szagri, D.; Nagy, B. The Effect of European Climate Change on Indoor Thermal Comfort and Overheating in a Public Building Designed with a Passive Approach. *Atmosphere* 2022. Vol.13. 2052. <https://doi.org/10.3390/atmos13122052>
8. Calama-González, C.M., León-Rodríguez, Á.L. & Suárez, R. Climate change mitigation: thermal comfort improvement in Mediterranean social dwellings through dynamic test cells modelling. *Int J Energy Environ Eng*. 2023. Vol.14. P.121–134 <https://doi.org/10.1007/s40095-022-00498-1>
9. Tamaskani Esfehankalateh, A., Farrokhzad, M., Tamaskani Esfehankalateh, F., Soflaei, F.: Bioclimatic passive design strategies of traditional houses in cold climate regions. *Environ. Dev. Sustain*. 2021. <https://doi.org/10.1007/S10668-021-01855-6>
10. Ibbetson, A., Milojevic, A., Mavrogianni, A., Oikonomou, E., Jain, N., Tsoulou, I., Petrou, G., Gupta, R., Davies, M., Wilkinson, P.: Mortality benefit of building adaptations to protect care home residents against heat risks in the context of uncertainty over loss of life expectancy from heat. *Clim. Risk Manag.* Vol.32. 100307 (2021). <https://doi.org/10.1016/J.CRM.2021.100307>
11. Silva, T., Lopes, A., Vasconcelos, J. *et al.* Thermal stress and comfort assessment in urban areas using Copernicus Climate Change Service Era 5 reanalysis and collected microclimatic data. *Int J Biometeorol*. 2024. Vol.68. P.949–963. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02639-z>
12. Zheng Y, Ren C, Shi Y, Yim SHL, Lai DYF, Xu Y, Fang C, Li W Mapping the spatial distribution of nocturnal

- urban heat island based on Local Climate Zone framework. *Build Environ.* 2023. Vol.234.110197. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110197>
13. Oliveira A., Lopes A., Soares A., Excess Heat Factor climatology, trends, and exposure across European Functional Urban Areas. *Weather Clim Extremes.* 2022. Vol.36. N 100455 P.1–12. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100455>
14. Oliveira A., Lopes A., Correia E., Niza S., Soares A. An urban climate-based empirical model to predict present and future patterns of the Urban Thermal Signal. *Sci Total Environ* 2021. Vol.790. N147710. P.1–14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147710>
15. Oliveira A., Lopes A., Correia E., Niza S., Soares A. Heatwaves and summer urban heat islands: A daily cycle approach to unveil the urban thermal signal changes in Lisbon Portugal. *Atmosphere.* 2021. Vol.12. N 3. P.1–23. <https://doi.org/10.3390/atmos12030292>
16. Matei, N.A., García-León, D., Dosio, A., Batista e Silva, F., Ribeiro Barranco, R., Císcar Martínez, J.C. Regional impact of climate change on European tourism demand. 2023. Publications Office of the European. DOI: <https://doi.org/10.2760/899611>
17. Masoudi, M. Estimation of the spatial climate comfort distribution using tourism climate index (TCI) and inverse distance weighting (IDW) (case study: Fars Province, Iran). *Arab J Geosci.* 2021. Vol. 14. 363. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06605-6>
18. Cinar İ., Karakus N., Toy S. Analysing daytime summer thermal comfort conditions for Turkey’s third largest tourism destination. *Environmental Science and Pollution Research.* 2022. P. 1-14.
19. Olgyay V. Design with climate, bioclimatic approach to architectural regionalism. *Prinston University Press.* 1973. P. 155.
20. Fanger P. O. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. *Danish Technical Press.* 1970. P. 244.
21. Thorsson S., Rocklöv J., Konarska J., Lindberg F., Holmer B., Dousset B., Rayner D. Mean radiant temperature. *A predictor of heat related mortality. Urban Clim.* 2014. P. 332–345
22. Malinović-Milićević S., Petrović M. D., Radovanović M. M. Evaluation of outdoor thermal comfort conditions: evidence from the Serbian major ski resort over the last 30 years. *International Journal of Biometeorology.* 2023. P. 1-11.
23. Протасова О. С., Максименко Н. В. Методичні підходи до оцінки кліматичної комфортності територій. «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування Освіта – наука – виробництво – 2023»: зб. тез XXV Міжнар. наук.-практ. конф., 27-28 квіт. 2023 р. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна. С. 2.
24. Кліматичні дані по Києву. *Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського.* URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/diialnist/klimatolohichna/klimatychni-dani-po-kyievu>. (дата звернення: 20.01.2023).
25. Клімат світу: Україна. *Погода и климат.* URL: <http://www.pogodaiklimat.ua/climate.php>. (дата звернення: 20.01.2023).
26. Ukraine - weather averages. *Weatherbase* URL: <http://www.weatherbase.com/weather/city.php3?c=UA&name=Ukraine>. (дата звернення: 20.01.2023).
27. Клімат: Україна. *Climate-Data* : URL: <https://ru.climate-data.org/%d0%b5%d0%b2%d1%80%d0%be%d0%bf%d0%b0/%d1%83%d0%ba%d1%80%d0%b0%d0%b8%d0%bd%d0%b0-231/>.(дата звернення: 07.02.2023).
28. Клімат України. *Метеопост* : веб-сайт. URL: <https://meteopost.com/weather/climate-normals/>. (дата звернення: 07.02.2023).
29. Як виділити регіони України на порталі NomadMania.com. *Блог Ореста Зуба.* URL: <https://openmind.com.ua/2019/07/08/nomadmania-ukraine/>.(дата звернення: 17.02.2023).

Стаття надійшла до редакції 20.04.2024

Стаття рекомендована до друку 28.05.2024

N. V. MAKSYMENKO¹, DSc (Geography), Prof.,
Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: maksymenko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

O. S. PROTASOVA,
Student
e-mail: lenaprotasova2001@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-4296-830X>

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

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE CLIMATIC COMFORT OF UKRAINIAN REGIONS FOR THE DEVELOPMENT OF RECREATION AND TOURISM

Purpose. To study the climatic comfort of Ukrainian regions as a basis for further development of recreation and tourism.

Research methodology. Comparison of climatic comfort is carried out according to the index of temperature and humidity and the index of wind efficiency with reasonable author's adjustments in accordance with the natural conditions of Ukraine.

Results. The study period covers 30 years: from 1991 to 2021. Materials from all regions of Ukraine and the Autonomous Republic of Crimea were used. It was found that for 7 months Ukraine is in the zone of uncomfortable weather (from January to April and from October to December). The discomfort is observed for 1-2 months longer in 8 regions: Rivne, Zhytomyr, Lviv, Ivano-Frankivsk, and Khmelnytsky (9 months from January to May and from September to December) and 8 months from January to April and from September to December in Vinnytsia, Chernihiv, and Sumy. A regularity was found that comfortable weather "migrates" from south to north from May to August. This phenomenon can be explained by the fact that during the transition period, negative subcomfort is observed in almost all regions of Ukraine, unlike the comfortable south. In June, the comfort "moves" to the Central region (Cherkasy, Kirovohrad regions), the Central-Western region (Khmelnysky, Vinnytsia, Zhytomyr regions), the North-Eastern region (Chernihiv, Sumy, Poltava regions), the North-Western region (only Volyn region), and the South-Western region (only Chernivtsi region). In July, almost the entire territory of Ukraine has subcomfortable weather with positive indicators, and only 3 regions are comfortable (Rivne, Zhytomyr, Ivano-Frankivsk). Comfortable weather in August also "appears" in the Western region (Lviv, Ivano-Frankivsk, Rivne regions) and returns to Chernihiv, Zhytomyr, Khmelnytsky, and Volyn regions. In September, comfort "returns" to the south, as negative subcomfortable and uncomfortable weather prevails in Ukraine.

Conclusions. The study has identified periods with comfortable weather for different regions of Ukraine, which can be used for tourism needs: planning excursion routes; creating strategies for the development of recreational activities in the region; creating newsletters and providing information on the "best" time for recreation; organizing seasonal tours to the regions of Ukraine.

KEYWORDS: *climate, weather, comfort, subcomfort, discomfort, temperature and humidity index, wind efficiency index, green tourism, recreation*

References

1. Protasova, O. S., & Maksymenko, N. V. (2021). Changes in the pathogenicity of the weather on the coast of the Sea of Azov during the year. *Proceedings of the scientific and practical conference based on the results of the II round of the All-Ukrainian competition of student scientific papers in the specialty: Earth Science (Hydrometeorology)*, Odesa, 2021, Marth 23-24, (p. 21). Odesa: ODEKU.
2. Zhang, D., Zhou, C., Zhou, Y., & Zikirya, B. (2022). Spatiotemporal relationship characteristic of climate comfort of urban human settlement environment and population density in China. *Frontiers in Ecology and Evolution*. P. 1–12. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.953725>
3. Protasova, O. (2021). Assessment of climatic comfort on the coast of the Azov sea (Ukraine). *Proceedings of the IV International scientific congress society of ambient intelligence 2021 (student sections)*, Praha, 2021, April 12-16, (p. 336), Praha: Oktan Print,
4. Protasova, O. S., & Maksymenko, N. V. (2023). Assessment of climatic comfort of the territory of Zhytomyr region. *Proceedings of the II International inter. Conference: Actual problems of formal and informal education in environmental monitoring and protected affairs*, Kharkiv, 2023, March 23 (pp. 41–42), Kharkiv:

- V. N. Karazin Kharkiv National University.
5. Protasova O. S., Maksymenko N. V. Formation peculiarities of the annual weather comfort in the Carpathian region of Ukraine. *Proceedings of the All-Ukrainian student English conference: Ecology is a priority*, Kharkiv, 2023, April 19, (p.82). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University.
 6. Delgado, J., Matos, A.M., & Guimarães, A.S. (2022). Linking Indoor Thermal Comfort with Climate, Energy, Housing, and Living Conditions: Portuguese Case in European Context. *Energies*, 15(16), 6028. <https://doi.org/10.3390/en15166028>
 7. Fürtön, B., Szagri, D., & Nagy, B. (2022). The Effect of European Climate Change on Indoor Thermal Comfort and Overheating in a Public Building Designed with a Passive Approach. *Atmosphere*, 13, 2052. <https://doi.org/10.3390/atmos13122052>
 8. Calama-González, C.M., León-Rodríguez, Á.L. & Suárez, R. (2023). Climate change mitigation: thermal comfort improvement in Mediterranean social dwellings through dynamic test cells modelling. *Int J Energy Environ Eng.*, 14, 121–134 <https://doi.org/10.1007/s40095-022-00498-1>
 9. Tamaskani Esfehankalateh, A., Farrokhzad, M., Tamaskani Esfehankalateh, F., & Soflaei, F. (2022). Bioclimatic passive design strategies of traditional houses in cold climate regions. *Environ. Dev. Sustain.*, 24, 10027–10068. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01855-6>
 10. Ibbetson, A., Milojevic, A., Mavrogianni, A., Oikonomou, E., Jain, N., Tsoulou, I., Petrou, G., Gupta, R., Davies, M., & Wilkinson, P. (2021). Mortality benefit of building adaptations to protect care home residents against heat risks in the context of uncertainty over loss of life expectancy from heat. *Clim. Risk Manag.* 32, 100307 <https://doi.org/10.1016/J.CRM.2021.100307>
 11. Silva, T., Lopes, A., Vasconcelos, J., Chokhachian, A., Wagenfeld M., & Santucci D. (2024). Thermal stress and comfort assessment in urban areas using Copernicus Climate Change Service Era 5 reanalysis and collected microclimatic data. *Int J Biometeorol*, 68, 949–963. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02639-z>
 12. Zheng, Y, Ren, C, Shi, Y, Yim, S.H.L., Lai, D.Y.F., Xu, Y., Fang, C., & Li, W. (2023). Mapping the spatial distribution of nocturnal urban heat island based on Local Climate Zone framework. *Build Environ.*, 234, 110197. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110197>
 13. Oliveira, A., Lopes, A., & Soares, A. (2022). Excess Heat Factor climatology, trends, and exposure across European Functional Urban Areas. *Weather Clim Extremes* 36(100455), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100455>
 14. Oliveira, A., Lopes, A., Correia, E., Niza, S., & Soares, A. (2021). An urban climate-based empirical model to predict present and future patterns of the Urban Thermal Signal. *Sci Total Environ*, 790(147710), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147710>
 15. Oliveira, A., Lopes, A., Correia, E., Niza, S., & Soares, A. (2021). Heatwaves and summer urban heat islands: A daily cycle approach to unveil the urban thermal signal changes in Lisbon Portugal. *Atmosphere*, 12(3), 1–23. <https://doi.org/10.3390/atmos12030292>
 16. European Commission, Joint Research Centre, Anca Matei, N., García-León, D., Dosio, A. Batista e Silva, F., Ribeiro Barranco, R., Císcar Martínez, J.C. (2023). *Regional impact of climate change on European tourism demand*, Publications Office of the European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/899611>
 17. Masoudi, M. (2021). Estimation of the spatial climate comfort distribution using tourism climate index (TCI) and inverse distance weighting (IDW) (case study: Fars Province, Iran). *Arab J Geosci*, 14, 363 <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06605-6>
 18. Cinar, İ., Karakus, N., & Toy, S. (2023). Analysing daytime summer thermal comfort conditions for Turkey's third largest tourism destination. *Environmental Science and Pollution Research*. 1-14. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1328555/v1>
 19. Olgyay, V. (1973). Design with climate, bioclimatic approach to architectural regionalism. *Princeton University Press*. <https://doi.org/10.2307/j.ctvc77kqb>
 20. Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. *Danish Technical Press*.
 21. Thorsson, S., Rocklöv, J., Konarska, J., Lindberg, F., Holmer, B., Dousset, B., & Rayner, D. (2014). Mean radiant temperature. A predictor of heat related mortality. *Urban Clim.*, 10(2), 332–345. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.01.004>
 22. Malinović-Miličević, S., Petrović, M. D., & Radovanović, M. M. (2023). Evaluation of outdoor thermal comfort conditions: evidence from the Serbian major ski resort over the last 30 years. *International Journal of Biometeorology*, 67, 807-819. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02456-w>
 23. Protasova O. S., Maksymenko N. V. Methodical approaches to the assessment of climatic comfort of territories. *Proceedings of the XXV International science and practice conference: Ecology, protection of the surrounding environment and balanced use of nature Education - science - production – 2023*, Kharkiv, 2023, April 27-28,(p. 2), Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University.
 24. Climatic data for Kyiv. Central geophysical observatory named after Boris Sreznovsky. Retrieved from

- <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/diialnist/klimatolohichna/klimatychni-dani-po-kyievu>
25. Climate of the world: Ukraine. Weather and climate. Retrieved from <http://www.pogodaiklimat.ua/climate.php>
26. Ukraine - weather averages. *Weatherbase*. Retrieved from <http://www.weatherbase.com/weather/city.php3?c=UA&name=Ukraine>
27. Climate: Ukraine. *Climate-Data*. Retrieved from <https://ru.climate-data.org/%d0%b5%d0%b2%d1%80%d0%be%d0%bf%d0%b0/%d1%83%d0%ba%d1%80%d0%b0%d0%b8%d0%bd%d0%b0-231/>
28. Climate of Ukraine. Meteorological station. Retrieved from <https://meteopost.com/weather/climate-normals/>
29. How to highlight the regions of Ukraine on the NomadMania.com portal. Orest Zuba's blog: Retrieved from <https://openmind.com.ua/2019/07/08/nomadmania-ukraine/>

The article was received by the editors 20.04.2024

The article is recommended for printing 28.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-02>
УДК (UDC) 574.4:631.436

В. А. ГОРБАНЬ, канд. біол. наук, доц.,
завідувач кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології
e-mail: gorvadym@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8288-6153>
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
пр-т Науки, 72, м. Дніпро, 49010, Україна
Н. А. БІЛОВА, д-р біол. наук, проф.,
професор кафедри підприємництва та економіки підприємства
e-mail: natalyabilova51@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9136-9076>
Університет митної справи та фінансів,
вул. В. Вернадського, 2/4, м. Дніпро, 49000, Україна

ВПЛИВ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ НА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЧОРНОЗЕМІВ ПІВДЕННИХ

Мета. Оцінка впливу лісових насаджень *Robinia pseudoacacia* L. та *Quercus robur* L. на теплопровідність, теплоємність та теплопровідність чорноземів південних.

Методи. Теплофізичні властивості ґрунтів визначали методом імпульсного нагрівання з використанням спеціально розробленої установки та програмного забезпечення. Температуру ґрунту в польових умовах визначали на поверхні ґрунту та на глибинах за допомогою температурних датчиків. Температуру повітря вимірювали цифровим анемометром-термометром-вологоміром Starmeter (ST8021).

Результати. Вплив лісових насаджень на теплофізичні властивості виконували з використанням ґрунтових зразків, відібраних з зональних чорноземів південних (використовувався як контроль), чорноземів південних під насадженням *R. pseudoacacia* та під насадженням *Q. robur* поблизу м. Зеленодольська (Криворізький район, Дніпропетровська область). Встановлено, що зростання лісових насаджень зумовило зниження температури поверхні, температури на глибині 50 см, середньої температури шару 0–50 см чорноземів південних порівняно з зональним чорноземом південним. Шар 0–50 см зонального чорнозему південного характеризується більш різкими змінами температури порівняно з чорноземами південними під лісовими насадженнями. Ріст лісового насадження *R. pseudoacacia* на чорноземі південному призвів до зростання величин його теплофізичних властивостей верхніх горизонтів порівняно з зональним чорноземом південним. Вплив насадження *Q. robur* на чорнозем південний зумовив зростання величин його теплопровідності, зменшення величин теплоємності та практично не призвело до змін величин теплопровідності.

Висновки. Насадження *R. pseudoacacia* зумовлює більш виражену зміну теплофізичних властивостей чорноземів південних порівняно з насадженням *Q. robur*, особливо це стосується верхніх горизонтів досліджуваних чорноземів південних.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *теплопровідність, теплоємність, теплопровідність, чорнозем південний, лісові насадження, R. pseudoacacia, Q. Robur*

Як цитувати: Горбань В. А., Білова Н. А. Вплив лісових насаджень на теплофізичні властивості чорноземів південних. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2024. Вип. 30. С. 26 – 35. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-02>

In cites: Gorban, V. A. & Bilova, N. A. (2024). Forest plantations influence on the thermophysical properties of southern chernozems. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (30), 26-35. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-02> (in Ukrainian)

Вступ

Тепловий режим ґрунтів, який зумовлений переважно станом їх поверхні та теплофізичними властивостями, впливає на бі-

льшість ґрунтових процесів, початок та закінчення вегетаційного періоду, ріст і розвиток рослин, особливості поширення у ґрунті

кореневих систем, мікробіологічну активність ґрунту і швидкість надходження води і елементів живлення до коренів [1]. При цьому теплофізичні властивості ґрунтів в значній мірі залежать від їх гранулометричного складу [2], вмісту органічних речовин [3], вологи [4, 5], солей [6], щільності та пористості [7]. На сьогодні процес визначення теплофізичних властивостей ґрунтів та вимірювання їх теплового потоку залишається відносно витратним, руйнівним та трудомістким внаслідок мінливості параметрів у просторі та часі [8]. В Україні визначенню теплофізичних властивостей ґрунтів, не зважаючи на їх виключну роль у більшості ґрунтових процесах, не приділяється належна увага, про що свідчить дуже обмежена кількість публікацій за останні роки, які присвячені висвітленню результатів відповідних досліджень.

Об'єкти та методи дослідження

Дослідження теплофізичних властивостей виконували з використанням ґрунтових зразків, відібраних з зональних чорноземів південних (пробна площа 1), чорноземів південних під насадженням *R. pseudoacacia* (пробна площа 2) та під насадженням *Q. robur* (пробна площа 3) поблизу м. Зеленодольська (Криворізький район, Дніпропетровська область).

Пробна площа 1 (47°41'28.2"N 33°38'44.0"E) закладена на полі, яке під час відбору зразків було вільним від рослинності. Тип лісорослинних умов – СГ₁ (суглинок сухуватий). Ґрунтовий профіль: Н₁ (0–10 см) + Н₂ (10–23 см) + Н_р (23–50 см) + Ph (50–77 см) + Pk (77–120 см). Ґрунт – чорнозем південний середньовилугований малогумусовий середньосуглинковий на лесоподібних суглинках.

Пробна площа 2 (47°41'16.0"N 33°39'02.6"E) розташована в насадженні *R. pseudoacacia*, яке зростає на плакорі. Тип лісорослинних умов – СГ₁ (суглинок сухуватий). Тип світлової структури – напівосвітлений. Світловий стан посилений. Склад деревостану – 10 Ак. б., вік насадження – 50 років, висота – 7–8 м, діаметр стовбурів – 9–15 см. Зімкнутість деревостану – 0,6. Ґрунтовий профіль: Н₁ (0–10 см) + Н₂ (10–30 см) + Н_р (30–50 см) + Ph (50–68 см) + Pk (68–120 см). Ґрунт – чорнозем

В семіаридних умовах степової зони як України, так і інших країн, заліснення вважається одним з найбільш ефективних заходів щодо збереження та відновлення ґрунтового покриву [9 – 11]. Однак для подальшого ефективного функціонування та використання ґрунтів лісових насаджень необхідно враховувати зміни їх властивостей, які зумовлені породним складом, віком та іншими особливостями лісонасаджень [12].

Серед чорноземів степової зони одними з найменш досліджених залишаються чорноземи південні. Враховуючи особливості генезису цих чорноземів, пов'язані з тривалими періодами посухи, викликаних дефіцитом атмосферних опадів та високими температурами повітря влітку [13], актуальним завданням постає дослідження їх теплофізичних властивостей, а також їх змін, зумовлених зростанням лісових насаджень.

південний лісопокращений середньовилугований малогумусовий середньосуглинковий на лесоподібних суглинках.

Пробна площа 3 (47°41'28.5"N 33°38'52.1"E) закладена в насадженні *Q. robur*, яке зростає на плакорі. Тип лісорослинних умов – СГ₁ (суглинок сухуватий). Тип світлової структури – тінювий. Світловий стан нормальний. Склад деревостану – 10Д. зв., вік насадження – 50 років, висота – 7–9 м, діаметр стовбурів – 9–12 см. Зімкнутість деревостану – 0,7. Ґрунтовий розріз: Н₁ (0–10 см) + Н₂ (10–20 см) + Н_р (20–45 см) + Ph (45–78 см) + Pk (78–120 см). Ґрунт – чорнозем південний лісопокращений середньовилугований малогумусовий середньосуглинковий на лесоподібних суглинках.

Теплофізичні властивості ґрунтів (температуропровідність, теплоємність та теплопровідність) визначали методом імпульсного нагрівання з використанням спеціально розробленої для цієї мети установки та програмного забезпечення. Установка складається з двох частин: вимірювальної та реєструючої. Вимірювальна частина являє собою прямокутний ящик розміром 100×100×50 мм, поперечної площини якого встановлений тонкий плоский електронагрівач потужністю 1,1 кВт з розмі-

ром робочого контуру 90×90 мм. Тепловий імпульс забезпечується включенням електронагрівача на певний період часу (зазвичай 3–5 с). Датчиками температури служать платинові термоопори, розміщені на відстані 10, 15, 20 і 25 мм від нагрівача. Термоопори розташовані на поздовжній осі ящика, що зменшує вплив бічних втрат тепла. Досліджуваний зразок ґрунту просіюється через сито з діаметром отворів 3 мм, щоб зберегти особливості структурно-агрегатного складу зразка, і поміщається у вимірювальну частину установки. У реєструючій частині зібрані мости постійного струму, в діагональ яких включені термоопори. Сигнал розбалансування, що виникає при зміні опору датчиків, який що викликається зміною температури, збільшується за допомогою підсилювача. Аналоговий сигнал, пропорційний зміні температури, перетворюється на цифровий код аналогово-цифровим перетворювачем. Цифрові дані обробляються мікроконтролером і передаються в ЕОМ. Мікроконтролер також управляє роботою різних блоків реєструючої частини та забезпечує зв'язок комп'ютера та установки в цілому. Управ-

ління установкою здійснюється ЕОМ за допомогою розробленого програмного забезпечення, яке дозволяє отримувати графічні та цифрові дані про температуру ґрунту залежно від часу та проводити обробку отриманих результатів. Пристрій дозволяє вимірювати температуру від 0 до 100°C з точністю до 0,01°C при частоті вимірювань від 20 мс до 2,500 с. Час нагріву також змінюється і може становити 0,4–50 с. Вимірювані залежності відображаються під час досліджень у вигляді графіка, їх також можна зберегти як текстовий файл для подальшої обробки та зберігання. Дані подаються як п'ять стовпців чисел, перший у тому числі відповідає часу, інші – температурі на відстанях 10, 15, 20 і 25 мм від нагрівача [14]. Використання чотирьох термопар забезпечує суттєве зростання точності виконуваних вимірів [15]. Температуру ґрунту в польових умовах визначали на поверхні ґрунту та на глибинах 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 та 50 см за допомогою температурних датчиків, які розміщували у попередньо підготовленій свердловині. Температуру повітря вимірювали цифровим анемометром-термометром-вологоміром Starmeter (ST8021) [14].

Результати та обговорення

В результаті вимірювання температури повітря та ґрунтів під різними типами рослинності (табл. 1) встановлено, що наприкінці вересня 2019 р. максимальна температура повітря спостерігалася над зональним чорноземом південним, а мінімальна – над чорноземом південним під насадженням *Q. robur*. Насадження *R. pseudoacacia* вплинуло на мікроклімат, внаслідок чого температура повітря при вимірюванні 28.09.2019 р. зменшилася на 5°C, а насадження *Q. robur* сприяло зменшенню температури повітря на 7°C порівняно з температурою повітря над зональним чорноземом південним. Максимальна температура поверхні ґрунту встановлена в зональному чорноземі південному, мінімальна – в чорноземі південному під насадженням *Q. robur*. Вплив лісового насадження *R. pseudoacacia* проявився у зменшенні температури поверхні чорнозему південного на 2,7°C, а лісового насадження *Q. robur* – на 5,3°C порівняно з зональним чорноземом південним. Максимальну температуру ґрунту на глибині

50 см також виявлено в зональному чорноземі південному, а мінімальну – в чорноземі південному під насадженням *Q. robur*. Насадження *R. pseudoacacia* зумовило зменшення температури чорнозему південного на глибині 50 см на 1,6°C, а насадження *Q. robur* – на 2,8°C порівняно з зональним чорноземом південним. Максимальна величина середньої температури шару ґрунту 0–50 см виявлена в зональному чорноземі південному, а мінімальна – в чорноземі південному під насадженням *Q. robur*. Вплив насадження *R. pseudoacacia* призвів до зменшення середньої температури шару 0–50 см чорнозему південного на 2,5°C, а насадження *Q. robur* – на 4,5°C порівняно з зональним чорноземом південним. Максимальна різниця між температурою повітря та середньою температурою ґрунту виявилася в зональному чорноземі південному (5,4°C), мінімальна – в чорноземах південних під насадженнями *R. pseudoacacia* та *Q. robur* (2,9°C). Максимальна різниця між температурою поверхні ґрунту та на глибині 50

см характерна для зонального чорнозему південного (3,4 °С), мінімальна – для чорнозему південного під насадженням *Q. robur* (0,9 °С).

На рис. 1 наведено особливості змін величин температури з глибиною в чорноземах південних під різними типами рослинності. З рисунку можна побачити більш різку зміну величин температури в шарі 0–50 см в зональному чорноземі південному порівняно з чорноземами південними під лісовими насадженнями.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що більш вираженим середовищеперетворювальним впливом на степове середовище, зокрема на температуру повітря та ґрунтів, характеризується насадження *Q. robur*, що формує тінюву світлову структуру, порівняно з насадженням *R. pseudoacacia*, яке відрізняється напівосвітленою світловою структурою [16, 17].

Таблиця 1

Температурні показники повітря та чорноземів південних під різними типами рослинності (28.09.2019 р.)

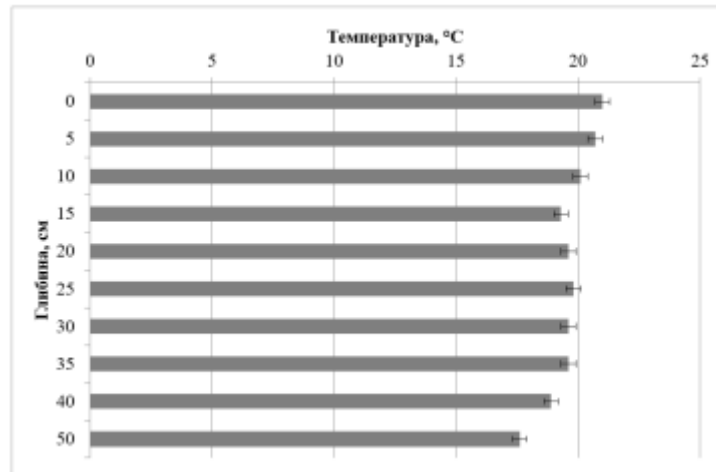
Table 1

Temperature indicators of air and southern chernozems under different types of vegetation (September 28, 2019)

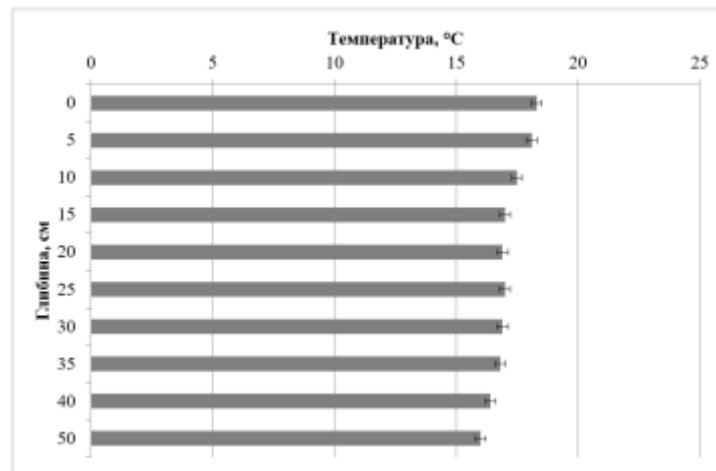
Зональний чорнозем південний	Чорнозем південний під насадженням <i>R. pseudoacacia</i>	Чорнозем південний під насадженням <i>Q. robur</i>
Температура повітря, °С		
25,0	20,0	18,0
Температура поверхні ґрунту, °С		
21,0	18,3	15,7
Температура ґрунту на глибині 50 см, °С		
17,6	16,0	14,8
Середня температура шару ґрунту 0–50 см, °С		
19,6	17,1	15,1

Дослідженнями теплофізичних властивостей (табл. 2) виявлено, що в зональному чорноземі південному максимальна величина температуропровідності властива горизонту Pk ($7,118 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$), мінімальна – горизонту H₁ ($6,624 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$), зі збільшенням глибини спостерігається поступове збільшення її величин. Це може бути зумовлено підвищенням дисперсності нижніх горизонтів внаслідок погіршення структурно-агрегатного складу, за рахунок зменшення вмісту органічних речовин та зниженням інтенсивності структуроутворюючої ролі рослин та тваринного світу в нижніх горизонтах порівняно з верхніми [18, 19]. В чорноземі південному під насадженням *R.*

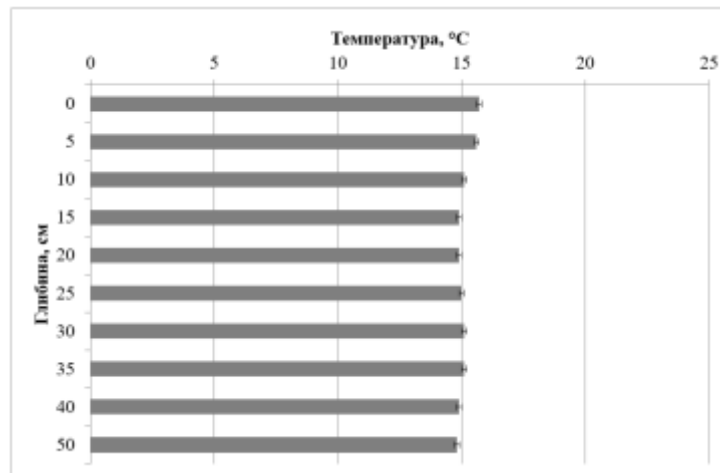
pseudoacacia максимальна величина температуропровідності виявлена в горизонті H₁ ($7,379 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$), з глибиною спостерігається зменшення її величин, а мінімальна величина характерна для горизонту Ph ($6,330 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$). Це можна пояснити надходженням еолово-ґрунтового матеріалу, зазвичай збагаченого мулистого фракцією, на поверхню ґрунтів лісових насаджень [20]. В чорноземі південному під насадженням *Q. robur* максимальна величина температуропровідності властива горизонту H_p ($6,795 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$), а мінімальна – горизонту Ph ($6,549 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$), що може бути зумовлено особливостями профільного розподілу вмісту органічних речовин [21] та гранулометричного складу досліджуваних ґрунтів [22].



1



2



3

Рис. 1 – Температурні показники чорноземів південних (28.09.2019 р.): 1 – зональний чорнозем південний; 2 – чорнозем південний під насадженням *R. pseudoacacia*; 3 – чорнозем південний під насадженням *Q. robur*
Fig. 1 – Temperature indicators of southern chernozems (September 28, 2019): 1 – zonal southern chernozems; 2 – southern chernozem under the plantation of *R. pseudoacacia*; 3 – southern chernozem under the plantation of *Q. robur*

Таблиця 2

Теплофізичні властивості чорноземів південних

Table 2

Thermophysical properties of southern chernozems

Генетичний горизонт	Температуропровідність, $10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, середнє \pm стандартна помилка	Теплоємність, $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, середнє \pm стандартна помилка	Теплопровідність, $\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$, середнє \pm стандартна помилка
Зональний чорнозем південний			
H ₁	6,624 \pm 0,267	1,285 \pm 0,075	0,851 \pm 0,064
H ₂	6,663 \pm 0,614	1,294 \pm 0,029	0,863 \pm 0,098
H _p	6,994 \pm 0,396	1,283 \pm 0,031	0,898 \pm 0,073
Ph	6,720 \pm 0,125	1,330 \pm 0,064	0,895 \pm 0,060
Pk	7,118 \pm 0,100	1,247 \pm 0,060	0,888 \pm 0,056
Чорнозем південний під насадженням <i>R. pseudoacacia</i>			
H ₁	7,379 \pm 0,336	1,335 \pm 0,028	0,984 \pm 0,024
H ₂	6,797 \pm 0,829	1,278 \pm 0,117	0,875 \pm 0,179
H _p	6,613 \pm 0,682	1,307 \pm 0,063	0,867 \pm 0,125
Ph	6,330 \pm 0,750	1,270 \pm 0,158	0,812 \pm 0,188
Pk	6,545 \pm 0,522	1,282 \pm 0,159	0,844 \pm 0,161
Чорнозем південний під насадженням <i>Q. robur</i>			
H ₁	6,782 \pm 0,214	1,253 \pm 0,055	0,850 \pm 0,055
H ₂	6,771 \pm 0,101	1,269 \pm 0,050	0,860 \pm 0,040
H _p	6,795 \pm 0,538	1,272 \pm 0,061	0,866 \pm 0,109
Ph	6,549 \pm 0,766	1,278 \pm 0,059	0,840 \pm 0,136
Pk	6,633 \pm 0,878	1,256 \pm 0,077	0,838 \pm 0,161

Аналіз величин теплоємності виявив, що її максимальна величина в зональному чорноземі південному характерна для горизонту Ph (1,330 МДж/(м³·К)), а мінімальна – для горизонту Pk (0,247 Дж/(м·с·К)). Максимальна величина теплоємності в чорноземі південному під насадженням *R. pseudoacacia* виявлена в горизонті H₁ (1,335 Дж/(м·с·К)), з глибиною спостерігається зменшення її величин, а мінімальна величина пов'язана з в горизонтом Ph (1,270 Дж/(м·с·К)). В чорноземі південному під насадженням *Q. robur* максимальна величина теплоємності характерна для горизонту Ph (1,278 Дж/(м·с·К)), а мінімальна – для горизонту H₁ (1,253 Дж/(м·с·К)), зі збільшенням глибини спостерігається зростання її величин.

Дослідження теплопровідності виявили, що в зональному чорноземі південному її максимальна величина пов'язана з горизонтом H_p (0,898 Дж/(м·с·К)), а мінімальна – з горизонтом H₁ (0,851 Дж/(м·с·К)). В чорноземі південному під насадженням *R. pseudoacacia* максимальну величину теплопровідності виявлено в горизонті H₁ (0,984 Дж/(м·с·К)), з глибиною

спостерігається її зменшення, а мінімальна величина встановлена в горизонті Ph (0,812 Дж/(м·с·К)). Максимальна величина теплопровідності в чорноземі південному під насадженням *Q. robur* характерна для горизонту H_p (0,866 Дж/(м·с·К)), а мінімальна – для горизонту Pk (0,838 Дж/(м·с·К)).

Виявлені особливості профільного розподілу величин теплоємності та теплопровідності чорноземів південних можуть бути зумовлені вмістом органічних речовин, гранулометричним та структурно-агрегатним складом досліджуваних ґрунтів [23].

Розрахунок коефіцієнтів варіації встановив, що зональний чорнозем південний відрізняється найменшою мінливістю температуропровідності, теплоємності та теплопровідності (5,3, 4,2 та 7,2 % відповідно). Насадження *R. pseudoacacia* призвело до майже двократного збільшення величин коефіцієнта варіації зазначених теплофізичних властивостей (9,8, 7,9 та 15,8 % відповідно). Вплив насадження *Q. robur* також проявився у збільшенні

величин коефіцієнтів варіації температуропровідності, теплоємності та теплопровідності (7,5, 4,2 та 11,0 %) порівняно з зональним чорноземом південним, однак у меншій мірі порівняно з чорноземом південним під насадженням *R. pseudoacacia*.

Отримані результати свідчать, що зростання насадження *R. pseudoacacia* зумовлює більш виражену зміну теплофізичних властивостей чорноземів південних порівняно з насадженням *Q. robur*, особливо це стосується верхніх горизонтів досліджуваних чорноземів південних.

Висновки

Вимірювання температури, здійснені наприкінці вересня 2019 р., виявили, що лісові насадження *R. pseudoacacia* та *Q. robur* зумовили зниження температури поверхні (на 2,7 та 5,3 °C відповідно), температури на глибині 50 см (на 1,6 та 2,8 °C відповідно), середньої температури шару 0–50 см (на 2,5 та 4,5 °C відповідно) чорноземів південних порівняно з зональним чорноземом південним.

Зональний чорнозем південний характеризується більш різкими змінами температури в шарі 0–50 см порівняно з чорноземами південними під лісовими насадженнями.

Вплив лісового насадження *R. Pseudoacacia* на чорнозем південний призвів до зрос-

тання величин його теплофізичних властивостей верхніх горизонтів порівняно з зональним чорноземом південним.

Насадження *Q. robur* на чорноземі південному зумовило зростання величин його температуропровідності, зменшення величин теплоємності та практично не вплинуло на величини теплопровідності.

Вплив насадження *R. pseudoacacia* зумовлює більш виражену зміну теплофізичних властивостей чорноземів південних порівняно з насадженням *Q. robur*, особливо це стосується верхніх горизонтів досліджуваних чорноземів південних

Конфлікт інтересів

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

Список використаної літератури

1. Медведєв В. В., Булигін С. Ю., Вітвицький С. В. Фізика ґрунту: навч. посіб. К.: НУБіП, 2018. 289 с. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b7c5e2be-3af2-4e13-a6af-cb605534aa61/content>
2. Yun P., Hu M.-J., Ying A., Wang X.-Q. Testing of coral sand thermal physical parameters and comparative analysis of prediction models. *Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics*. 2023. Vol. 44. N 3. P. 884–895. DOI: <https://doi.org/10.16285/j.rsm.2022.1321>
3. Zhao B. W., Zhao Y., Liu H., Li, Y. Q., Duan K. X., Zhang X. Effect of Wheat Straw Biochar on Thermophysical Properties of Loessial Soil. *Nature Environment and Pollution Technology*. 2021. Vol. 20. N 3. P. 1033–1039. DOI: <https://doi.org/10.46488/nept.2021.v20i03.010>
4. Lunt P. H., Fuller K., Fox M., Goodhew S., Murphy T. R. Comparing the thermal conductivity of three artificial soils under differing moisture and density conditions for use in green infrastructure. *Soil Use and Management*. 2022. Vol. 39. N 1. P. 260–269. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12841>
5. Zhu X., Gao Z., Chen T., Wang W., Lu C., Zhang Q. Study on the Thermophysical Properties and Influencing Factors of Regional Surface Shallow Rock and Soil in China. *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol.10. 864548. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2022.864548>
6. Bublik S., Semin M., Levin L., Brovka A., Dedyulya I. Experimental and Theoretical Study of the Influence of Saline Soils on Frozen Wall Formation. *Applied Sciences*, 2023. Vol. 13. N 18. 10016. <https://doi.org/10.3390/app131810016>
7. Petcu C., Dobrescu C. F., Dragomir C. S., Ciobanu A. A., Lăzărescu A. V., Hegyi, A. Thermophysical Characteristics of Clay for Efficient Rammed Earth Wall Construction. *Materials*, 2023. Vol. 16. N 17. 6015. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16176015>

8. Alpar S., Berger J., Rysbaiuly B., Belarbi R. Estimation of soils thermophysical characteristics in a nonlinear inverse heat transfer problem. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2024. Vol. 218. 124727. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124727>
9. Якуба М. С., Горбань В. А. Історичні аспекти створення та особливості функціонування полезахисних насаджень степової зони України. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*. 2021. Вип. 50. С. 33–43. DOI: <https://doi.org/10.15421/442104>
10. Dubyna D. V., Ustylenko P. M., Baranovski B. A., Karmyzova L. A. Forest strips of Ukraine in the modern realities, state assessment and ways of their restoration. *Agronomy*. 2023. Vol. 6. N 2. P. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.32819/021205>
11. Wu W., Chen G., Meng T., Li C., Feng H., Si B., Siddique K. H. M. Effect of different vegetation restoration on soil properties in the semi-arid Loess Plateau of China. *Catena*. 2023. Vol. 220. 106630. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106630>
12. Wang J., Zhao W., Wang G., Pereira, P. Afforestation changes the trade-off between soil moisture and plant species diversity in different vegetation zones on the Loess Plateau. *Catena*. 2022. Vol. 219. 106583. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106583>
13. Казаков В. Л., Паранько І. С., Сметана М. Г., Шипунова В. О., Коцюруба В. В., Калініченко О. О. Природнича географія Кривбасу. Кривий Ріг: КДПУ, 2005. 156 с.
14. Gorban V. A. Soil thermal properties of forest biogeocenoses in steppe zone as a diagnostic indicator of their soil genesis. *Fundamental and Applied Soil Science*. 2019. Vol. 19. N 1. P. 26–30. DOI: <https://doi.org/10.15421/041905>
15. Corasaniti S., Coppa P., Potenza M., Bovesecchi G. Probes for Contemporary Measurement of Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity, and Convection Heat Transfer. *ASME Journal of Heat and Mass Transfer*, 2023. Vol. 145. N 6. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4056369>
16. Грицан Ю. І. Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище. Д.: ДДУ, 2000. 300 с.
17. Іванько І. А. Екологічна роль світлової структури у формуванні штучних лісових насаджень у степовій зоні України. *Біогеоценологічні дослідження лісів степової зони України*. Д.: Свідлер А.Л., 2016. С. 155–171.
18. Дегтярьов В. В. Гумус чорноземів лівобережного Лісостепу і Степу України. Х.: Майдан, 2011. 360 с
19. Яковенко В. М., Білова Н. А. Біогенне мікроструктурування лісових ґрунтів степової зони України. Дніпро: Середняк Т. К., 2018. 204 с.
20. Avescilla F., Panebianco J. E., Iturri L. A., de Oro L. A., Comas R. N., Buschiazzo, D. E. Dust deposition in agricultural landscapes: Temporal and spatial dynamics along a transect into a natural forest patch. *Aeolian Research*. 2023. Vol. 63–65. 100887. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2023.100887>
21. Liu M., Zhao L., Hu G., Xiao Y., Xiao M., Zhao J., Chu X., Li X. Improved thermal conductivity parameterization of SHAW model in permafrost regions on the Qinghai-Tibet Plateau. *Cold Regions Science and Technology*. 2024. Vol. 218. 104057. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2023.104057>
22. Schjønning P. Thermal conductivity of undisturbed soil – Measurements and predictions. *Geoderma*. 2021. Vol. 402. 115188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115188>
23. Kharel G., Dhakal M., Deb S. K., Slaughter L. C., Simpson C., West C. P. Effect of Long-Term Semiarid Pasture Management on Soil Hydraulic and Thermal Properties. *Plants*. 2023. Vol. 12. N 7. 1491. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12071491>

Стаття надійшла до редакції 20.03.2024

Стаття рекомендована до друку 14.05.2024

V. A. GORBAN, Ph. D. (Biology), Associate Professor,
Head of the Department of Geobotany, Soil Science and Ecology
e-mail: gorvadym@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8288-6153>
Oles Honchar Dnipro National University,
72, Nauki ave., Dnipro, 49010, Ukraine

N. A. BILOVA, DSc (Biology), Professor,
Professor of the Department of Entrepreneurship and Enterprise Economics
e-mail: natalyabilova51@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9136-9076>
University of Customs and Finance,
2/4, V. Vernadskogo Street, Dnipro, 49000, Ukraine

FOREST PLANTATIONS INFLUENCE ON THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SOUTHERN CHERNOZEMS

Purpose. Evaluation of the influence of *Robinia pseudoacacia* L. and *Quercus robur* L. forest plantations on thermal diffusivity, specific heat and thermal conductivity of southern chernozems.

Methods. The thermophysical properties of soils were determined by the method of pulse heating using a specially developed installation and software. Soil temperature in the field was determined on the soil surface and at depths using temperature sensors. Air temperature was measured with a digital anemometer-thermometer-hygrometer Starmeter (ST8021).

Results. The influence of forest plantations on thermophysical properties was performed using soil samples taken from zonal southern chernozems (used as a control), southern chernozems under *R. pseudoacacia* plantations and under *Q. robur* plantations near the city of Zelenodolsk (Kryvorizky district, Dnipropetrovsk region). It was established that the growth of forest plantations led to a decrease in the surface temperature, the temperature at a depth of 50 cm, and the average temperature of the 0–50 cm layer of southern chernozems compared to zonal southern chernozems. The 0–50 cm layer of zonal southern chernozem is characterized by sharper temperature changes compared to southern chernozem under forest plantations. The growth of the forest plantation of *R. pseudoacacia* on the southern chernozem led to an increase in the values of its thermophysical properties of the upper horizons compared to the zonal southern chernozem. The influence of planting *Q. robur* on southern chernozem led to an increase in its thermal diffusivity, a decrease in specific heat, and practically did not lead to changes in thermal conductivity.

Conclusions. The growth of the *R. pseudoacacia* plantation leads to a more pronounced change in the thermophysical properties of southern chernozems compared to the *Q. robur* plantation, especially in the upper horizons of the studied southern chernozems.

KEYWORDS: *thermal diffusivity, specific heat, thermal conductivity, southern chernozem, forest plantations, R. pseudoacacia, Q. robur*

References

1. Medvedev, V. V., Bulyhin, S. Yu., & Vitvitskyi, S. V. (2018). Soil physics. NUBiP, Kyiv. Retrieved from <https://dglib.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b7cce2be-3af2-4e13-a6af-cb605534aa61/content> (in Ukrainian)
2. Yun, P., Hu, M.-J., Ying, A., Wang, X.-Q. (2023). Testing of coral sand thermal physical parameters and comparative analysis of prediction models. *Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics*, 44(3), 884–895. <https://doi.org/10.16285/j.rsm.2022.1321>
3. Zhao, B. W., Zhao, Y., Liu, H., Li, Y. Q., Duan, K. X., & Zhang, X. (2021). Effect of Wheat Straw Biochar on Thermophysical Properties of Loessial Soil. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(3), 1033–1039. <https://doi.org/10.46488/nept.2021.v20i03.010>
4. Lunt, P. H., Fuller, K., Fox, M., Goodhew, S., & Murphy, T. R. (2022). Comparing the thermal conductivity of three artificial soils under differing moisture and density conditions for use in green infrastructure. *Soil Use and Management*, 39(1), 260–269. <https://doi.org/10.1111/sum.12841>
5. Zhu, X., Gao, Z., Chen, T., Wang, W., Lu, C., & Zhang, Q. (2022). Study on the Thermophysical Properties and Influencing Factors of Regional Surface Shallow Rock and Soil in China. *Frontiers in Earth Science*, 10, 864548. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.864548>

6. Bublik, S., Semin, M., Levin, L., Brovka, A., & Dedyulya, I. (2023). Experimental and Theoretical Study of the Influence of Saline Soils on Frozen Wall Formation. *Applied Sciences*, 13(18), 10016. <https://doi.org/10.3390/app131810016>
7. Petcu, C., Dobrescu, C. F., Dragomir, C. S., Ciobanu, A. A., Lăzărescu, A. V., & Hegyi, A. (2023). Thermophysical Characteristics of Clay for Efficient Rammed Earth Wall Construction. *Materials*, 16(17), 6015. <https://doi.org/10.3390/ma16176015>
8. Alpar, S., Berger, J., Rysbauly, B., & Belarbi, R. (2024). Estimation of soils thermophysical characteristics in a nonlinear inverse heat transfer problem. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 218, 124727. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124727>
9. Yakuba, M. S., & Gorban, V. A. (2021). Historical creations aspects and functioning features of field protective forest plantations in the steppe zone of Ukraine. *Issues of steppe forestry and forest reclamation of soils*, 50, 33–43. <https://doi.org/10.15421/442104> (in Ukrainian)
10. Dubyna, D. V., Ustymenko, P. M., Baranovski, B. A., & Karmyzova, L. A. (2023). Forest strips of Ukraine in the modern realities, state assessment and ways of their restoration. *Agrology*, 6(2), 38–44. <https://doi.org/10.32819/021205>
11. Wu, W., Chen, G., Meng, T., Li, C., Feng, H., Si, B., & Siddique, K. H. M. (2023). Effect of different vegetation restoration on soil properties in the semi-arid Loess Plateau of China. *Catena*, 220, 106630. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106630>
12. Wang, J., Zhao, W., Wang, G., & Pereira, P. (2022). Afforestation changes the trade-off between soil moisture and plant species diversity in different vegetation zones on the Loess Plateau. *Catena*, 219, 106583. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106583>
13. Kazakov, V. L., Paranko, I. S., Smetana, M. G., Shipunova, V. O., Kotsyruba, V. V., & Kalinichenko, O. O. Natural geography of Kryvbas (2005). KDPU, Kryvyi Rih. (in Ukrainian)
14. Gorban, V. A. (2019). Soil thermal properties of forest biogeocenoses in steppe zone as a diagnostic indicator of their soil genesis. *Fundamental and Applied Soil Science*, 19(1), 26–30. <https://doi.org/10.15421/041905>
15. Corasaniti, S., Coppa, P., Potenza, M., & Bovesecchi, G. (2023). Probes for Contemporary Measurement of Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity, and Convection Heat Transfer. *ASME Journal of Heat and Mass Transfer*, 145(6). <https://doi.org/10.1115/1.4056369>
16. Grytsan, Yu. I. (2000). Ecological foundations of the transforming effect of forest vegetation on the steppe environment. DSU, Dnipropetrovsk. (in Ukrainian)
17. Ivanko, I. A. (2016). The ecological role of light structure in the formation of artificial forest plantations in the steppe zone of Ukraine. *Biogeocenological studies of the forests of the steppe zone of Ukraine*. Svidler A.L., Dnipro, 155–171 (in Ukrainian)
18. Dehtiarov, V. V. (2011). Humus of chernozems of the left-bank forest-steppe and steppe of Ukraine. Maidan, Kharkiv, 360 (in Ukrainian)
19. Yakovenko, V. M., & Bilova N. A. (2018). Biogenic microstructuring of forest soils of the steppe zone of Ukraine. Serdiuk T.K., Dnipro, 204 (in Ukrainian)
20. AVECILLA, F., Panebianco, J. E., Iturri, L. A., de Oro, L. A., Comas, R. N., & Buschiazzi, D. E. (2023). Dust deposition in agricultural landscapes: Temporal and spatial dynamics along a transect into a natural forest patch. *Aeolian Research*, 63–65, 100887. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2023.100887>
21. Liu, M., Zhao, L., Hu, G., Xiao, Y., Xiao, M., Zhao, J., Chu, X., & Li, X. (2024). Improved thermal conductivity parameterization of SHAW model in permafrost regions on the Qinghai-Tibet Plateau. *Cold Regions Science and Technology*, 218, 104057. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2023.104057>
22. Schjønning, P. (2021). Thermal conductivity of undisturbed soil – Measurements and predictions. *Geoderma*, 402, 115188. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115188>
23. Kharel, G., Dhakal, M., Deb, S. K., Slaughter, L. C., Simpson, C., & West, C. P. (2023). Effect of Long-Term Semiarid Pasture Management on Soil Hydraulic and Thermal Properties. *Plants*, 12(7), 1491. <https://doi.org/10.3390/plants12071491>

The article was received by the editors 20.03.2024
The article is recommended for printing 14.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-03>

УДК (UDC) 628.1.033

А. А. ЛІСНЯК¹, канд. с.-г. наук, доц.,
доцент кафедри екології та менеджменту довкілля
e-mail: anlisnyak@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5850-7328>

М. І. КУЛИК¹, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри екології та менеджменту довкілля
e-mail: m.kulyk@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0605-9367>

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

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД З РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ВОДОПОСТАЧАННЯ У КИЇВСЬКОМУ РАЙОНІ М. ХАРКОВА

Мета. Оцінити якість питної води з різних джерел водопостачання на прикладі Київського району м. Харкова.

Методи. Польовий (відбір зразків води з різних джерел), лабораторно-аналітичний аналіз якості води, статистичний (обробка отриманих даних і порівняльний аналіз).

Результати. Відібрано зразки води з різних джерел водопостачання: природна джерельна вода, вода зі свердловин, з колодязя, з міського водопроводу та з автоматів розливу питної води. У зразках артезіанської води торгової марки «Роганська» (автомат розливу води) не визначено перевищень нормативних значень за жодним показником. Зразки води з колодязя та централізованого водопостачання мають підвищені рівні загальної жорсткості, вмісту хлору, нітратів та заліза, що вимагає обмеження їх використання як питної води без додаткового очищення. Зразки води з приватних свердловин мають підвищений рівень загальної мінералізації, засолення та електропровідності води. Досліджено способи очистки водопровідної води від загальних солей в домашніх умовах: заморожування води, фільтрація, відстоювання, кип'ятіння.

Висновки. На підставі органолептичних, фізико-хімічних та токсикологічних показників якості води, згідно з ДСТУ 4808, вода з автомата ТМ «Роганська» відповідає 1 класу якості, джерельна вода – 2 класу, вода зі свердловин – 3 класу, а вода з колодязя і централізованого водопостачання – 4 класу. Щодо покращення якості водопровідної води від загальних солей в домашніх умовах рекомендується заморожування та фільтрація.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: питна вода, джерельна вода, показники якості води, міське водопостачання, оцінка якості води

Як цитувати: Лісняк А. А., Кулик М. І. Оцінка якості вод з різних джерел водопостачання у Київському районі м. Харкова. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2024. Вип. 30. С. 36-48. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-03>

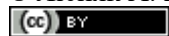
In cites: Lisnyak, A. A., & Kulyk, M. I. (2024). Assessment of water quality from different water supply sources in the Kyiv district of the city of Kharkiv. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (30), 36-48. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-03> (in Ukrainian)

Вступ

У сучасному світі забезпечення організму чистою питною водою зі збалансованим

мінеральним складом є надзвичайно важливим. Чиста вода не тільки підтримує основні

© Лісняк А. А., Кулик М. І., 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/)

фізіологічні процеси, але й сприяє загальному зміцненню організму, підвищуючи його стійкість до стресів та підтримуючи оптимальне функціонування внутрішніх органів. Вода необхідна для всіх метаболічних процесів в організмі та сприяє засвоєнню поживних речовин клітинами. Вона також виконує роль охолоджуючого агента та регулятора температури тіла.

Забезпечення високої якості питної води є комплексним завданням, що вимагає координації зусиль на державному, регіональному та місцевому рівнях, участі громадянського суспільства та застосування сучасних наукових досягнень. Це є ключовим для забезпечення здоров'я і благополуччя населення, а також для стійкого розвитку суспільства [1].

Вода, яку ми споживаємо, повинна відповідати певним стандартам якості, оскільки її складові можуть впливати на наше здоров'я. Тестування якості води може виявити наявність забруднюючих речовин, хімікатів, бактерій та інших шкідливих елементів. Проте рідко замислюємося над тим, яку важливу роль відіграє вода в нашому житті. Вода може як покращувати, так і шкодити нашому здоров'ю, тому потрібно постійно стежити за її які

стю. Кожна людина хоча б раз замислювалася про якість питної води. Щодня ЗМІ наголошують на тому, що водопровідну воду не можна пити нефільтрованою, колодязну воду не можна пити сирого тощо. Вода супроводжує нас цілий день і її присутність часто непомітна, бо вона є природною і звичною [2, 3].

Щоб добре почуватися, слід пити тільки чисту, якісну питну воду. Вона не повинна містити шкідливих для організму речовин і має містити корисні мінерали, необхідні для нормального функціонування. Очищення питної води може значно покращити якість життя та позитивно вплинути на здоров'я людини. Водопровідна вода може забруднюватися під час транспортування, перш ніж потрапляє до споживача, що створює проблеми для доочищення на місці споживання. Традиційні методи очищення водопровідної води мають серйозний недолік – регулярну заміну витратних матеріалів, що збільшує вартість очищення [1, 4].

Сьогодні важливо перевіряти якість води для забезпечення безпеки та здоров'я, оскільки це може виявити наявність шкідливих речовин і забруднень, що впливають на здоров'я.

Мета: оцінити якість питної води з різних джерел водопостачання на прикладі Київського району м. Харкова.

Об'єкти та методи досліджень

Об'єктом дослідження є питна вода з джерел централізованого та децентралізованого водопостачання на території Київського району міста Харкова. Предмет дослідження – органолептичні, токсикологічні та фізико-хімічні показники якості води.

Для визначення якості питної води відібрано зразки води з природних джерел, розташованих у Київському районі міста Харкова (рис. 1):

Зразок 1. Джерело питної води №1, вулиця Кільцева (Жуківське джерело);

Зразок 2. Джерело питної води №2, Мокшів яр, вулиця Дружби Народів;

Зразок 3. Джерело питної води №3, Котлярчин яр, вулиця Сердюка;

Зразок 4. Сverdловина приватного використання №1, вулиця Чуйківська, глибина 7 м;

Зразок 5. Сverdловина приватного використання №2, пров. Чебишева 4, глибина 27 м;

Зразок 6. Сverdловина приватного використання №3, вулиця Чкалова 12, використовується з 2010 року, глибина 46 м;

Зразок 7. Колодязь приватного використання, селище П'ятихатки, вулиця Академіка Вальтера 5, використовується понад 30 років, глибина 12 м;

Зразок 8. Вода міського водопостачання, квартира на вулиця Шишківська 9;

Зразок 9. Вода міського водопостачання, квартира на вулиця Саперна 16;

Зразок 10. Вода торгової марки «Роганська» з автомата розливу води.

Для оцінки якості питної води з природних джерел різних типів залягання та походження в Київському районі м. Харків відбиралося по 1,5 літра води з кожного джерела. Зразки води для дослідження відібрані у вересні 2023 року.

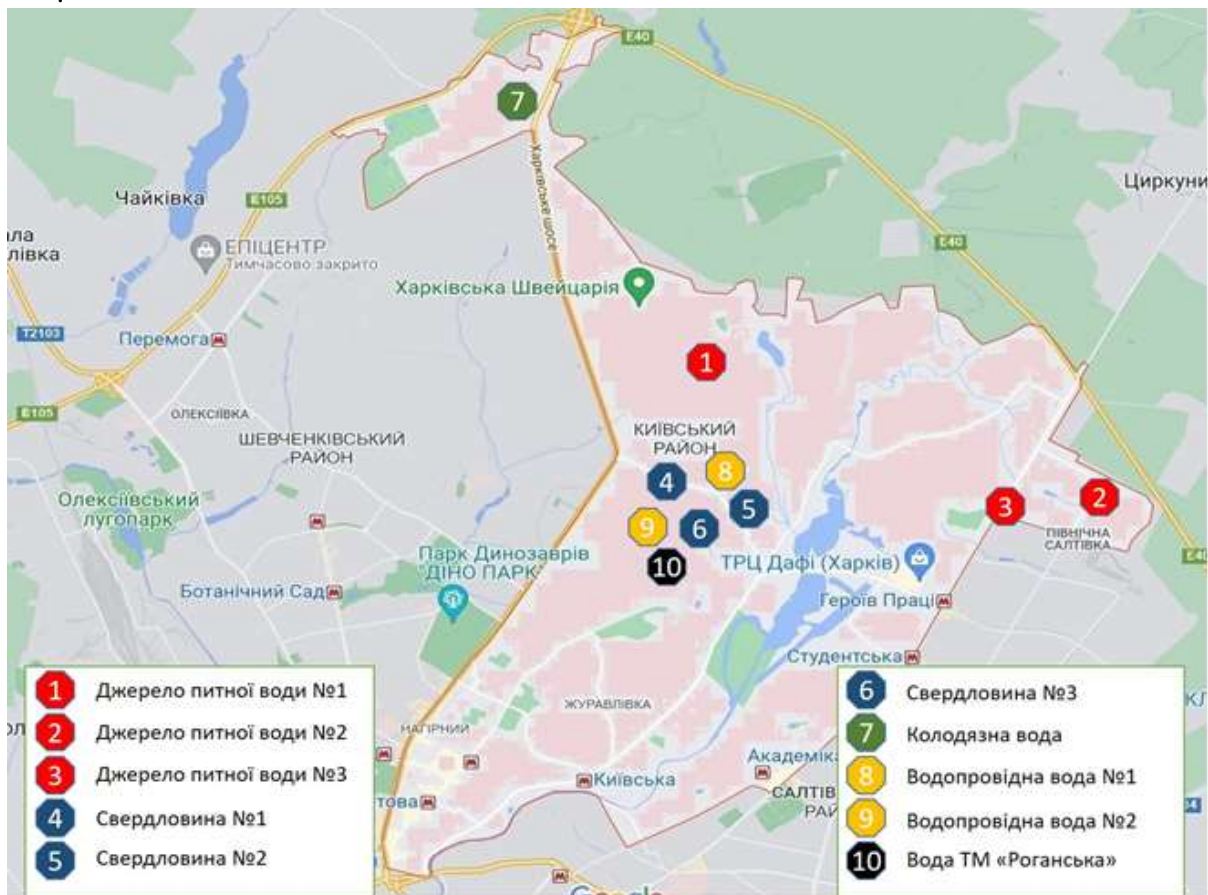


Рис. 1 – Схема розташування відібраних зразків води з джерел питної води у Київському районі міста Харкова

Fig. 1 – Location scheme of selected water samples from drinking water sources in the Kyiv district of the city of Kharkiv

Лабораторний аналіз води проводився у навчально-дослідній лабораторії аналітичних екологічних досліджень навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Визначення показників виконували за стандартизованими та тимчасово затвердженими методиками.

Запах визначали за ДСТУ EN 1420-1:2004, прозорість – за ДСТУ ISO 7027:2003, водневий показник (рН) – за ДСТУ 4077-2001, загальну жорсткість – за ДСТУ ISO 6059:2003, загальну лужність – за ДСТУ ISO 9963-1:2007, хлориди – за ДСТУ ISO 9297:2007, вміст важких металів – за ПНДФ 14.1:2.253-09, нітрити – за ДСТУ ISO 15923-1:2018 [5-9]. Санітарно-гігієнічні критерії оцінки якості питної води встановлені згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 («Держа-

вні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», затверджені Наказом МОЗ від 12.05.2010 № 400) [10].

Для оцінки якості питних вод використовували інших параметрів води, щоб забезпечити безпеку та відповідність вимогам для споживачів. Він регулює якість води з різних джерел, включаючи водопровідні системи та пляжі. Це важливий інструмент для забезпечення громадського здоров'я та екологічної ДСТУ 4808 [11]. Цей стандарт визначає вимоги до хімічного складу, мікробіологічних показників та безпеки. Відповідно до ДСТУ 4808, залежно від рівня забруднення води, зразки водних об'єктів класифікуються за відповідними класами (табл. 1).

Таблиця 1

Клас якості зразків води згідно ДСТУ 4808 [11]

Table 1

Quality class of water samples according to DSTU 4808 [11]

Клас води за показниками	Якість води за показниками
Перший (1 клас)	бажана якість води - відмінна
Другий (2 клас)	прийнятна якість води - добра
Третій (3 клас)	прийнятна якість води - задовільна
Четвертий (4 клас)	небажана якість води, обмежено придатна - посередня

Результати досліджень

Перший етап аналітичного дослідження включав аналіз запаху та прозорості, які є органолептичними показниками безпечності та якості питної води. Інтенсивність запаху зразків води тестували при температурі 20°C. У всіх зразках не було виявлено запаху, за винятком зразків колодязної та водопровідної води, яким було присвоєно 1 бал за запахом. Запах колодязної води (зразок №7) оцінено як затхлий, що може бути результатом потрапляння до колодязю відмерлих організмів. У зразку води з водогону на вул. Шишківська (зразок №8) виявлено запах хлору на рівні 1 балу, ймовірно спричинений обробкою води хлораміном в цілях дезінфекції. У воді водогону на вул. Саперна (зразок №9) визначено запах на рівні 1 балу з залістим відтінком, що може виникати при тривалому використанні водогінних труб.

Прозорість усіх досліджуваних зразків води відповідала нормативу і становила 30 см, що свідчить про відсутність домішок.

Таким чином, у всіх досліджених зразках органолептичні показники виявилися нижчими за нормативи (згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10).

На другому етапі аналізувалися фізико-хімічні показники неорганічної складової. До них належать водневий показник (рН), загальна жорсткість, лужність, загальна мінералізація, загальне залізо, мідь та хлориди. Водневий показник рН в досліджуваних водних зразках коливався від 6,70 до 8,25, що також в межах норми (згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10) Результати дослідження рН наведені на рис. 2.

Найнижчий рівень рН спостерігався у зразках водопровідної води на вул. Шишківська та вул. Саперна, і складав відповідно 6,70 та 6,85. Найвищі значення рН були у водах питних джерел (зразки 2, 3) та колодязної води (зразки 7), де рівень рН становив відповідно 7,26, 7,48 та 8,25.

Загальна мінералізація в досліджуваних водних зразках варіюється від 212 до 654 мг/дм³, що також відповідає нормам (згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10). Результати дослідження загальної мінералізації води наведені на рисунку 3.

Найнижчий рівень загальної мінералізації спостерігається у зразках води з автомату розливу. Найвищі значення загальної мінералізації зафіксовані у свердловинах (зразки 4, 5, 6), що свідчить про те, що чим глибше залягає вода в свердловині, тим вища її мінералізація. Високий вміст солей у цих свердловинах також підтверджується результатами досліджень засоленості води (рис. 4) та електропровідності води (рис. 5). Загальний рівень мінералізації води впливає на організм людини. Велика кількість розчинених у воді солей може накопичуватися в організмі, викликаючи різні захворювання, зокрема артрит, каміння у нирках, жовчні камені, порушення біохімічних та обмінних процесів, а також підвищення ризику інфаркту та ішемічної хвороби серця [12].

У природній воді залізо присутнє у вигляді двовалентних або тривалентних сполук. Оскільки сполуки заліза у воді існують у різ-

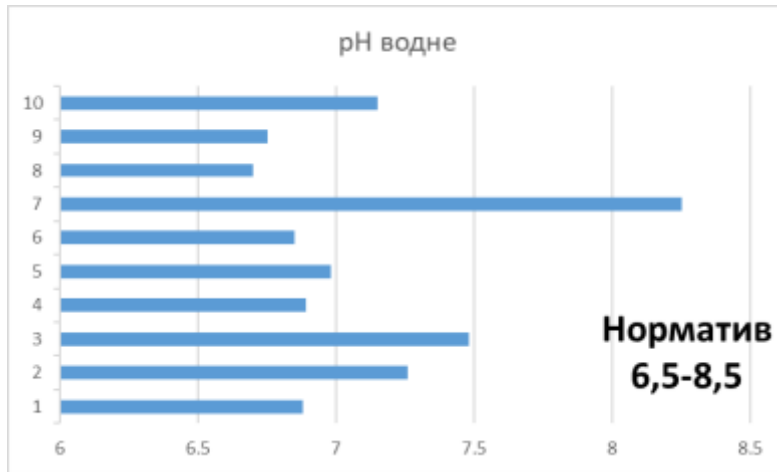


Рис. 2 – Показник рН у зразках води
Fig. 2 – pH indicator in water samples



Рис. 3 – Вміст загальної мінералізації у зразках води
Fig. 3 – Content of total mineralization in water samples

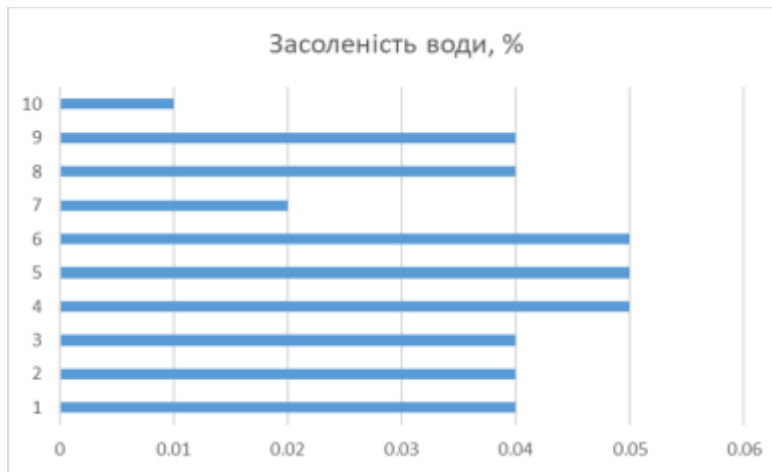


Рис. 4 – Рівень засоленості у зразках води
Fig. 4 – Salinity level in water samples

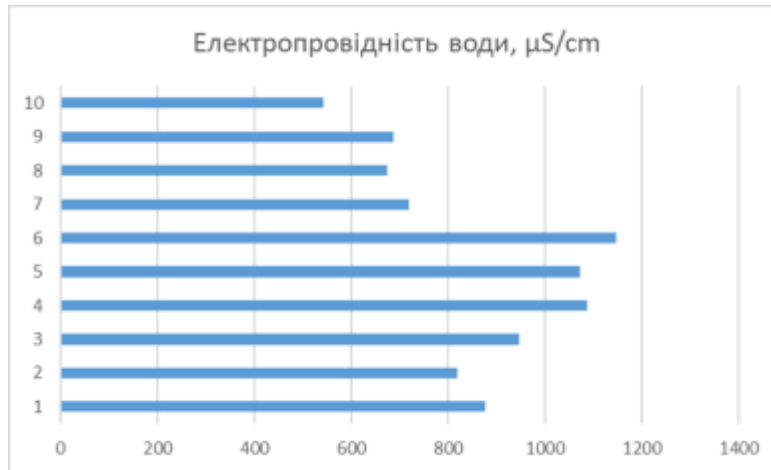


Рис. 5 – Рівень електропровідності у зразках води
Fig. 5 – Level of electrical conductivity in water samples

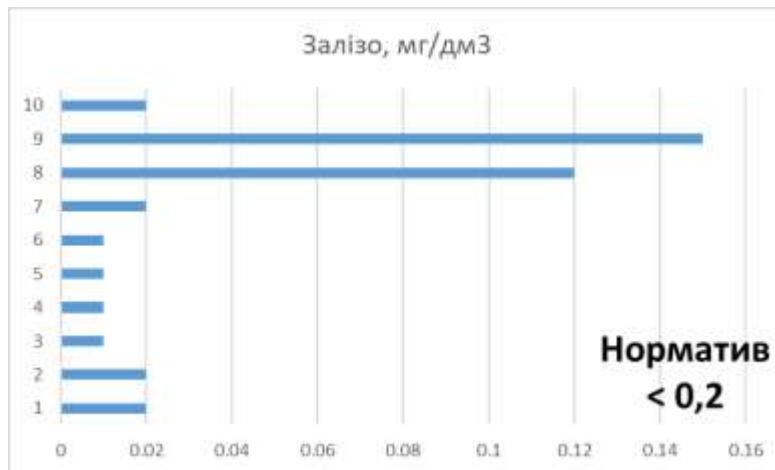


Рис. 6 – Вміст заліза у зразках води
Fig. 6 – Iron content in water samples

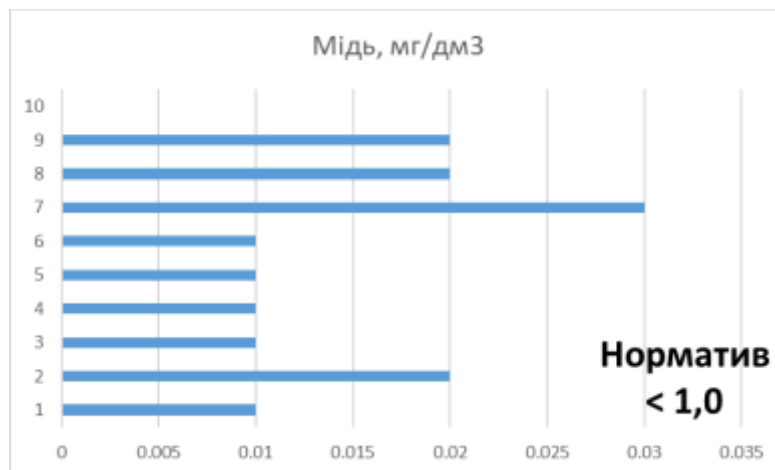


Рис. 7 – Вміст міді у зразках води
Fig. 7 – Copper content in water samples

них формах, точні результати можна отримати лише при вимірюванні суми всіх форм заліза, так званого "загального заліза" [13].

Вміст заліза в досліджуваних зразках варіюється від 0,01 до 0,15 мг/дм³, причому найбільша кількість заліза виявлена у зразках водопровідної води (зразки 8 та 9), де його вміст наближається до нормативного рівня (рис. 6).

Кількість міді у досліджених зразках коливається від 0,01 до 0,03 мг/дм³ (рис. 7). У розливній воді з автомату мідь не виявлено. Найвищий вміст міді спостерігається у колодязній воді серед усіх досліджених зразків. Проте в усіх випадках кількість міді у воді знаходиться в межах норми, визначених згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Загальна жорсткість в досліджуваних зразках варіюється від 5,3 до 8,6 ммоль/дм³, що відповідає нормі для питної води, встановленій на рівні 7,0 ммоль/дм³ (відповідно до

ДСанПіН 2.2.4-171-10). Результати аналізу зразків води на загальну жорсткість представлені на рисунку 8.

Мінімальний рівень загальної жорсткості зафіксовано у зразку води з автомату розливу і складає відповідно 5,3 ммоль/дм³. Максимальні значення рівня загальної жорсткості виявлені у водах свердловин і становлять відповідно 8,1, 8,3 та 8,6 ммоль/дм³.

Деякі джерела та колодязі також показують перевищення у рівні жорсткості, що вказує на необхідність попереднього зменшення твердості води. Вищий рівень жорсткості, який перевищує нормативні значення та має неорганічне походження, може бути шкідливим для здоров'я людини. Це може призвести до проблем з опорно-руховим апаратом (надмірне відкладення солей у суглобах), сечокам'яної хвороби та руйнування жовчних проток [14].

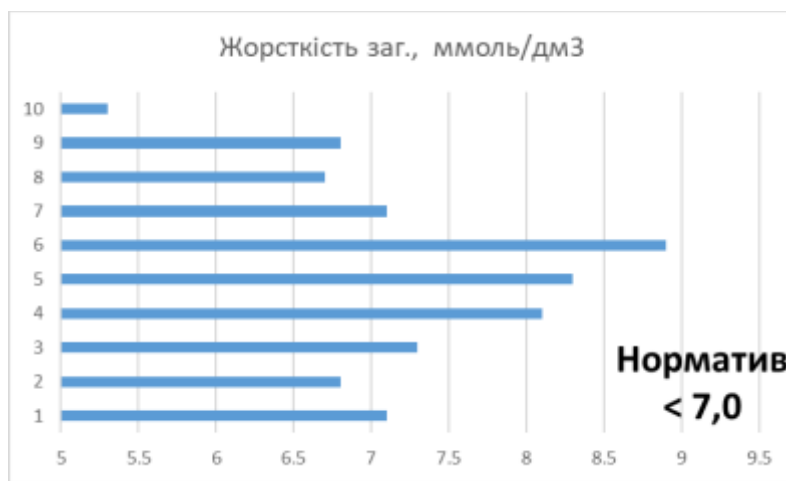


Рис. 8 – Вміст загальної жорсткості у зразках води
Fig. 8 – Content of total hardness in water samples

Дослідження рівня хлору залишкового загального показало (рис.9), що у всіх зразках, що були проаналізовані, його концентрація не перевищує нормативне значення. Однак у водопровідній воді вміст хлору становить 0,6-0,7 мг/дм³, що є найвищим значенням. У всіх інших зразках рівень хлору залишкового загального складає 0,1-0,2 мг/дм³. Використання хлору для дезінфекції води може негативно впливати на здоров'я людини [15], тому необхідно вживати заходи щодо очищення питної води від хлору.

На третьому етапі аналізу досліджувалася неорганічна складова гігієнічних і токсикологічних показників, що включала в себе визначення вмісту нітратів у зразках води.

Результати аналізу вмісту нітратів у воді подані на рисунку 10. Виявлено, що вміст нітратів у всіх досліджених зразках значно нижчий за рівень нормативу [10]. Максимальний вміст нітратів був у зразках води з колодязя приватного використання, і становив майже половину нормативу на рівні 21,34 мг/дм³. Нітрати не було виявлено тільки у воді з торго-

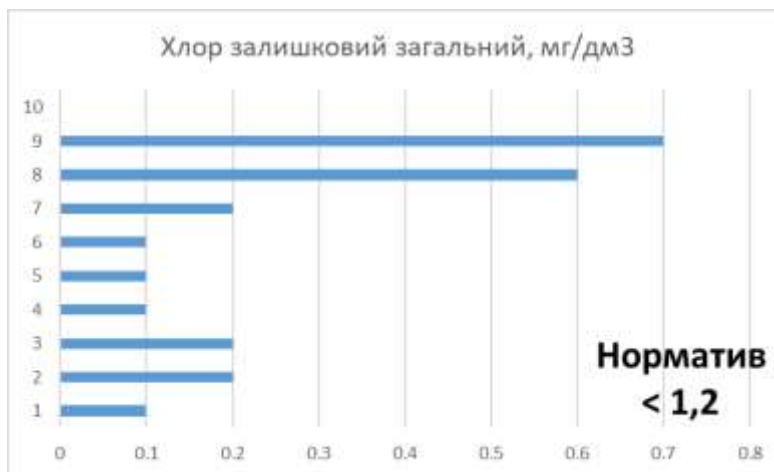


Рис. 9 – Вміст хлору залишкового загального у зразках води
Fig. 9 – Total residual chlorine content in water samples

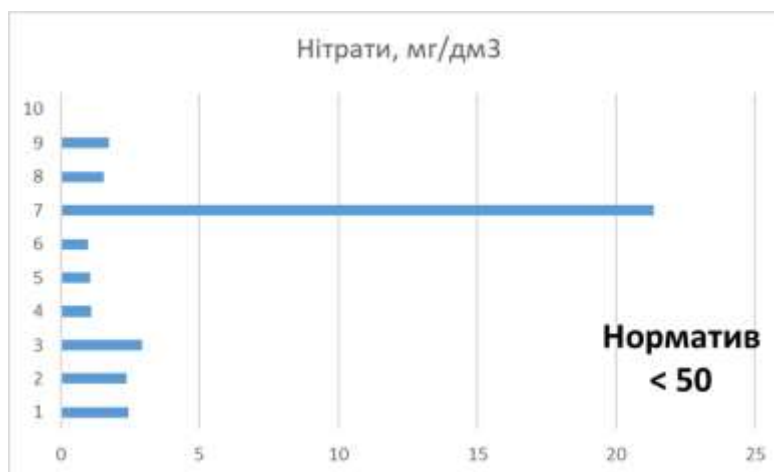


Рис. 10 – Вміст нітратів у зразках води
Fig. 10 – Nitrate content in water samples

вого автомата, а у інших зразках вміст нітратів становив 1,06-2,95 мг/дм³.

При наявності у воді токсичних хімічних речовин може відбуватися комбінований вплив на здоров'я людини. Для забезпечення захисту здоров'я від такого комбінованого впливу необхідно дотримуватися правил кумулятивної токсичності. Це означає, що сума фактичної концентрації речовини у воді та коефіцієнта ГДК не повинна перевищувати 1 [1, 3].

Нітрати в питній воді є потенційно небезпечними, оскільки можуть викликати порушення дихання (так звану гіпоксію), метгемоглобінемію, ослаблення організму [1]. Хронічне споживання води з високим вмістом нітратів також може призвести до втоми, слабкості

та зниження працездатності, погіршення самопочуття та вплинути на роботу нервової системи, серця, нирок і печінки [16]. Тому важливо регулярно вести моніторинг рівня нітратів, оскільки це допомагає запобігти забрудненню водних ресурсів і гарантувати, що вода відповідає стандартам безпеки [17].

Оцінка якості досліджуваних вод, відповідно до ДСТУ 4808, показала (табл. 2), що вода з автомата торгової марки «Роганська» відповідає 1 класу якості (всі показники в межах норми). Джерельні води відносяться до 2 класу через певні показники, особливо загальну жорсткість. Води зі свердловин віднесені до 3 класу через високу жорсткість. Вода з колодязя і централізованого водопостачання

Таблиця 2

Значення класу якості для зразків води

Table 2

Quality class values for water samples

Зразок води	Клас якості вод [11]
Зразок 1. Джерело питної води №1, вулиця Кільцева (Жуківське джерело)	2 клас (жорсткість)
Зразок 2. Джерело питної води №2, Монжосів яр, вулиця Дружби Народів	2 клас (жорсткість)
Зразок 3. Джерело питної води №3, Котлярчин яр, вулиця Сердюка	2 клас (жорсткість)
Зразок 4. Свердловина приватного використання №1, вулиця Чуйківська, глибина 7 м	3 клас (жорсткість)
Зразок 5. Свердловина приватного використання №2, провулок Чебишева 4, глибина 27 м	3 клас (жорсткість)
Зразок 6. Свердловина приватного використання №3, вулиця Чкалова 12, глибина 46 м	3 клас (жорсткість)
Зразок 7. Колодязь приватного використання, селище П'ятихатки, вулиця Академіка Вальтера 5, глибина 12 м	4 клас (нітрати)
Зразок 8. Вода міського водопостачання, квартира на вулиця Шишківська 9	4 клас (хлориди, залізо)
Зразок 9. Вода міського водопостачання, квартира на вулиця Саперна 16	4 клас (хлориди, залізо)
Зразок 10. Вода торгової марки «Роганська» з автомата розливу води	1 клас

відноситься до 4 класу якості (за нітратами, хлоридами і залізом), що свідчить про найгіршу якість серед усіх досліджуваних зразків води.

У зв'язку з вищевикладеним, випробувано кілька методів очищення води в домашніх умовах, включаючи відстоювання, кип'ятіння, заморожування, а також фільтрацію води через спеціальні глечики-фільтри, такі як «Аквафор Ідеал» та «Аквафор Лакі». Експеримент із вивченням методів очищення води проводився виключно з водопровідною водою з Київського району м. Харків. В досліді оцінювалися такі параметри, як запах, електропровідність, загальна мінералізація і засоленість (табл. 3).

Дослідження водопровідної води показало, що початковий хлорний запах зник у всіх випробуваних варіантах очищення води.

Відстоювання води з централізованого водопостачання на протязі 6 годин не впливає значно на показники. Кип'ятіння води протягом 15 хвилин і відстоювання протягом 6 годин також не призводить до зниження показників; навпаки, концентрація загальних солей дещо зросла, що відображається у загальній мінералізації, електропровідності та засоленості води після кип'ятіння.

Заморожування водопровідної води на протязі 6 годин при температурі -25°C (зі зливанням незамерзлої частини води) і послідує розморожування замерзлої води – значно покращує досліджувані показники навіть до рівня джерельної води і води торгової марки «Роганська», що ми досліджували вище.

Використання побутових глечиків-фільтрів, таких як «Аквафор Ідеал» і «Аквафор

Таблиця 3

Порівняльна характеристика способів очищення води в домашніх умовах

Table 3

Comparative characteristics of water purification methods at home

Варіанти Показ- ники	Запах, при 20 °С, бал	Загальна мінералізація, мг/дм ³	Електропро- відність, µS/cm	Засолення, %
1. Початкова вода з централізованого водопроводу м. Харків	1	411	787	0,04
2. Відстоювання води з водопроводу м. Харків	0	398	780	0,04
3. Заморожування води з водопроводу м. Харків	0	202	357	0,02
4. Кип'ятіння води з водопроводу м. Харків	0	437	823	0,05
5. Фільтрування через глечик-фільтр «Аквафор Ідеал» води з водопроводу м. Харків	0	206	520	0,02
6. Фільтрування через глечик-фільтр «Аквафор Лакі» води з водопроводу м. Харків	0	184	384	0,01
<i>Нормативне значення</i>	2	1000	-	-

Лакі», також демонструє ефективність у очищенні води значно знижуючи всі показники. Фільтр «Аквафор Лакі» конструктивно більший, ніж фільтр «Аквафор Ідеал», і краще відфільтровує домішки у воді, що підтверджується результатами досліджень. Цей метод очищення є дієвим, але його вартість значно затратніша, ніж відстоювання, заморожування і кип'ятіння.

Отже, найбільш ефективними способами очищення води від загальних солей в домашніх умовах є заморожування та фільтрація. Заморожування води є найбільш економічно вигідним варіантом очищення води від солей у домашніх умовах. Відстоювання та кип'ятіння води показали найгірші результати, тому їх не рекомендується використовувати для очищення води в домашніх умовах.

Висновки

Прозорість усіх досліджуваних зразків води відповідала нормативу. Найнижчий рівень рН спостерігався у зразках водопровідної води, а найвищі значення рН у водах питних джерел та колодязної води. Найнижчий рівень загальної мінералізації спостерігається у зразках води з автомату розливу, а найвищі значення зафіксовані у свердловинах. Найбільша кількість заліза виявлена у зразках водопровідної води, найвищий вміст міді у колодязній воді. Мінімальний рівень загальної жорсткості

зафіксовано у зразку води з автомату розливу, а максимальні значення рівня загальної жорсткості виявлені у водах свердловин. Вміст загального хлору у водопровідній воді є найвищим значенням. Максимальний вміст нітратів у зразках води з колодязя приватного використання.

Вода з автомату торгової марки «Роганська» відноситься до 1 класу якості вод, оскільки в ній не виявлено перевищень нормативних значень та має кращі поміж інших зразків показники. Джерельні води відносяться до 2

класу якості вод, оскільки мають підвищені показники загальної жорсткості. Води зі свердловин відносяться до 3 класу якості за ще більшими рівнями загальної жорсткості, підвищеної загальної мінералізації та засоленості води. Вода з колодязя і вода з централізованого водопостачання відносяться до 4 класу якості вод, оскільки ці води мають підвищені рівні вмісту нітратів, загального хлору та вмісту заліза, і потребують обмеження їх вживання як питної води без доочистки.

Найкращими способами очистки водопровідної води від загальних солей в домашніх умовах є заморожування води на протязі 6 годин при температурі -25°C (зі зливанням незамерзлої частини води) та фільтрація через глинки-фільтри фірми «Аквафор». Відстоювання і кип'ятіння води мають гірші результати, тому їх не рекомендується застосовувати для очистки водопровідної води від загальних солей в домашніх умовах.

Конфлікт інтересів

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

Список використаної літератури

1. Прокопов В. О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти. Київ: Медицина. 2016. 400 с.
2. Бірюков О. В. Гідрохімічний аналіз динаміки змін якості поверхневих вод річки Оскіл. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2023. Вип. 29. С. 17–25. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-02>
3. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Зозуля В. М. Оцінка ризику споживання питної води з підвищеним вмістом нітратів на здоров'я населення Житомирської об'єднаної територіальної громади. *Екологічні науки*. 2021. № 3 (36). С. 137-141. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22>
4. Прибилова В. М. Оцінка якісного складу питних підземних вод водоносного горизонту буцацько-канівських відкладів на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія Геологія. Географія. Екологія*. 2014. Т.40. №1098. С.42-45. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/1077>
5. ДСТУ EN 1420-1:2004 Якість води. Визначення впливу органічних речовин на якість води, призначеної для споживання людиною. Проведення оцінювання води в трубопровідних системах на запах і присмак. Частина 1. Метод випробовування (EN 1420-1:1999, IDT). – Київ, ІВПіМ НААН, 2004. URL: https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=73065&minregion=852
6. ДСТУ 4077-2001 Якість води. Визначення рН (ISO 10523:1994, MOD). – Київ, 2001. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52791
7. ДСТУ ISO 6059:2003 Якість води. Визначення сумарного вмісту кальцію та магнію. Титриметричний метод із застосуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти (ISO 6059:1984, IDT). – Київ, 2003. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52715
8. ДСТУ ISO 9297:2007 Якість води. Визначення хлоридів. Титрування нітратом срібла із застосуванням хрому як індикатора (метод Мора) (ISO 9297:1989, IDT). – Київ, 2007. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53158
9. ДСТУ ISO 15923-1:2018 Якість води. Визначення окремих параметрів з використанням систем дискретного аналізу. Частина 1. Вміст амонію, нітрату, нітриту, хлориду, ортофосфату, сульфату та силікату з фотометричним детектуванням (ISO 15923-1:2013, IDT). Київ, 2018. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=79777
10. ДСанПіН 2.2.4-171-10: 2010. Державні санітарні норми та правила. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Затверджено МОЗ України наказом № 400 від 12.05.2010 року]. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180
11. ДСТУ 4808:2007: 2007. Державний стандарт України. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правил вибирання. [Прийнято та надано чинності 05.07.2007]. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 36 с.
12. Клименко М. О., Вознюк Н. М., Вербецька К. Ю. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів та природокористування*. Київ, 2012. Вип. 1(30). URL: http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf

13. Клещ А.А., Самойлова Ю.В. Організація водоохоронних зон в містах України: методичні проблеми та шляхи їх вирішення засобами ландшафтно-екологічного планування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. № 31. С. 26-39. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-03>
14. Лісняк А. А., Кулик М. І. Оцінка якості питної води з природних джерел у межах міста Харкова. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2022. Вип. 27. С. 20-31. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/21128/19766>
15. Ричак Н.Л., Гричаний О.М. Оцінка навантаження поверхневого стоку на водний об'єкт в умовах урболандшафту. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. № 31. С. 104-116. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-10>
16. Третьяков О. В., Шевченко Т. О., Безсонний В. Л. Підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання Харківського регіону (Україна). *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 5/10 (77). 2015. С. 40–49. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398>
17. Yelistratova L., Apostolov A., Lyalko V., Tomchenko O., Khyzhniak A., Hodorovsky A.: The results of socio-ecological monitoring during military operations in Ukraine using satellite information. *Revue Roumaine de Géographie /Romanian Journal of Geography*, vol. 66. No 2.2022. P. 117–136.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2024

Стаття рекомендована до друку 24.05.2024

A. A. LISNYAK¹, PhD (Agriculture), Assoc. Prof.,
Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: anlisnyak@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5850-7328>

M. I. KULYK¹, PhD (Technica), Assoc. Prof.,
Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: m.kulyk@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0605-9367>

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

ASSESSMENT OF WATER QUALITY FROM DIFFERENT WATER SUPPLY SOURCES IN THE KYIV DISTRICT OF THE CITY OF KHARKIV

Purpose To evaluate the quality of drinking water from various sources of water supply on the example of the Kyiv district of the city of Kharkiv.

Methods. Field (selection of water samples from various sources), laboratory-analytical analysis of water quality, statistical (processing of received data and comparative analysis).

Results. Water samples were taken from various sources of water supply: natural spring water, water from wells, from a well, from the city water supply and from drinking water dispensers. In the samples of artesian water of the "Roganska" trade mark (automatic water dispenser), no exceeding of the normative values was determined for any indicator. Water samples from wells and centralized water supply have elevated levels of total hardness, chlorine, nitrate and iron content, which requires the restriction of their use as drinking water without additional treatment. Water samples from private wells have an increased level of general mineralization, salinity and electrical conductivity of water. Methods of purifying tap water from common salts at home were studied: water freezing, filtration, settling, boiling.

Conclusions. On the basis of organoleptic, physico-chemical and toxicological parameters of water quality, according to DSTU 4808, water from the machine of TM "Roganska" corresponds to the 1st quality class, spring water - 2nd class, water from wells - 3rd class, and water from a well and centralized water supply - 4th class. In order to improve the quality of tap water from common salts at home, freezing and filtration are recommended.

KEY WORDS: drinking water, spring water, water quality indicators, city water supply, water quality assessment

References

1. Prokopov, V. O. (2016). Drinking water of Ukraine: medical-ecological and sanitary-hygienic aspects. Kiev: Medicine. 400 p. (in Ukrainian).

2. Biryukov, O. V. (2023). Hydrochemical analysis of the dynamics of changes in the quality of surface waters of the Oskil River. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (29), 17–25. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-02> (in Ukrainian)
3. Valerko, R. A., Herasymchuk, L. O., & Zozulya, V. M. (2021). Risk assessment of drinking water consumption with high nitrate content on the health of the population of the Zhytomyr united territorial community. *Environmental sciences*, 3(36), 137-141. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22> (in Ukrainian).
4. Prybylova, V.M. (2014). Assessment of the qualitative composition of potable groundwater of the aquifer of the Buchach-Kaniv deposits in the territory of the Kharkiv region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series « Geology. Geography Ecology»*, 40 (1098), 42-45. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/1077> (in Ukraine).
5. DSTU EN 1420-1:2004. (2004). Water quality. Determination of the influence of organic substances on the quality of water intended for human consumption. *Evaluation of water in pipeline systems for smell and taste. Part 1. Test method (EN 1420-1:1999, IDT)*. Kyiv, IVPiM NAAS. Retrieved from https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=73065&minregion=852 (in Ukrainian).
6. DSTU 4077-2001. (2001). Water quality. Determination of pH (ISO 10523:1994, MOD). Kyiv. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52791 (in Ukrainian).
7. DSTU ISO 6059:2003. (2003). Water quality. Determination of the total content of calcium and magnesium. Titrimetric method using ethylenediaminetetraacetic acid (ISO 6059:1984, IDT). Kyiv. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52715 (in Ukrainian).
8. DSTU ISO 9297:2007. (2007). Water quality. Determination of chlorides. Titration with silver nitrate using chromate as an indicator (Mohr's method) (ISO 9297:1989, IDT). Kyiv. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53158 (in Ukrainian).
9. DSTU ISO 15923-1:2018 (2018). Water quality. Determination of individual parameters using discrete analysis systems. Part 1. Ammonium, nitrate, nitrite, chloride, orthophosphate, sulfate and silicate content with photometric detection (ISO 15923-1:2013, IDT). Kyiv. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=79777 (in Ukrainian).
10. DSanPiN 2.2.4-171-10 (2010). National sanitary standards and rules. Hygienic precautions for drinking water intended for human living. [Approved by the Ministry of Health of Ukraine by order No. 400 dated May 12, 2010]. Retrieved from https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180 (in Ukrainian).
11. DSTU 4808:2007 (2007). State standard of Ukraine. Dzherela of centralized drinking water supply. Hygienic and environmentally friendly benefits are achieved through careful selection of water and rules. [Accepted and assigned 07/05/2007]. Kyiv: Derzhspozhivstandart of Ukraine. (in Ukrainian).
12. Klymenko, M. O., Voznyuk, N. M., & Verbetskaya, K. Yu. (2012). Comparative analysis of surface water quality standards. *Scientific reports of the National University of Life and Environmental Sciences*, (1(30)). Retrieved from http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf (in Ukrainian).
13. Klieshch, A. A., & Samoilo, Yu. V. (2019). Development of water-protection zones in an UA city: method-ical problems and ways of their solution through landscape-ecological planning. *Man and environment. Issues of neoecology*, No 31, 26-39. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-03> (in Ukrainian).
14. Lisnyak, A. A., Kulik, M. I. (2022). Assessment of the quality of drinking water from natural springs near the Kharkov town. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv national university. Series Ecology*. (27), 20-31. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/21128/19766> (in Ukrainian).
15. Rychak, N. L. & Grychanyi, O. M. (2019). Estimation of impact from surface runoff on water objects inurban landscape conditions. *Man and environment. Issues of neoecology*, No 31, 104-116. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-10> (in Ukrainian).
16. Tretyakov, O. V., Shevchenko, T. O. & Bezsonniy, V. L. (2015). Increasing the level of ecological safety of drinking water supply in the Kharkiv region (Ukraine). *Eastern European journal of advanced technologies*. 5/10 (77). 40–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398> (in Ukrainian).
17. Yelistratova, L., Apostolov, A., Lyalko, V., Tomchenko O., Khyzhniak, A., & Hodorovsky, A. (2022). The results of socio-ecological monitoring during military operations in Ukraine using satellite information. *Romanian Journal of Geography*. 66 (2). 117–136.

The article was received by the editors 21.04.2024
The article is recommended for printing 24.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-04>

УДК 502.51(282)(477.87):504.5

М. О. ВОВКУНОВИЧ

аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища

e-mail: mykhailo.vovkunovych@uzhnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-7273-0418>

Ужгородський національний університет

пл. Народна, 3, м. Ужгород, 88000, Україна

РЕТРОСПЕКТИВА ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ БАСЕЙНУ РІЧКИ БОРЖАВА (ЗАКАРПАТСЬКА ОБЛАСТЬ)

Річка Боржава є важливим елементом річкової мережі області та цінним природним ресурсом для місцевого населення Закарпатської області.

Мета. Аналіз опублікованих праць, що містять відомості про особливості екологічного стану басейну і забруднення вод річки Боржава.

Результати. Проаналізовано наукові праці, які присвячені результатам дослідження гідрохімічного та гідробіологічного аналізу якості поверхневих і підземних вод, а також визначення вмісту важких металів, пестицидів та інших забруднюючих речовин у ґрунтах, донних відкладах басейну р. Боржава з 2005 по 2020 рр. В умовах постійного антропогенного навантаження, екологічний стан басейну та рівень забруднення вод неодноразово потерпає негативних змін.

Висновки. Опрацювання літературних даних забезпечило структурування інформації та визначення рівня вивченості екологічного стану басейну р. Боржава.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: екологічна ситуація, забруднення, гідрохімічний режим, антропогенний вплив, річкова система, річка Боржава

Як цитувати: Вовкунович М. О. Ретроспектива досліджень екологічного стану басейну річки Боржава (Закарпатська область). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2024. Вип. 30. С. 49 – 62. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-04>

In cites: Vovkunovych, M. O. (2024). Research retrospective on the ecological state of Borzhava river basin (Transcarpathian region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (30), 49 – 62. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-04> (in Ukrainian)

Зростання антропогенного тиску та прояви глобальних змін клімату загострюють проблему збереження водних ресурсів, які потребують особливої уваги з точки зору екологічного вивчення. У структурі річкової мережі Закарпатської області особливе місце займає річка Боржава, яка бере свій початок на гірському масиві Полонина Боржава та охоплює центральну частину області, зокрема – Хустський та Берегівський райони [1]. Вона є основним водним ресурсом для місцевого населення та невід’ємною умовою функціонування і розвитку сільськогосподарства, рекреаційно-туристичної сфери та ін. На сьогодні води річки Боржава та її допливів інтенсивно використовують для водопостачання промислових і господарських об’єктів, зрощення сільськогоспо-

дарських угідь, потреб домогосподарств та ін. Це спричиняє забруднення вод агрохімікатами, важкими металами, побутовими відходами та загалом загострює проблему погіршення якості поверхневих і підземних вод. Також погіршення екологічного стану та поширення забруднюючих речовин у річковій системі негативно впливає на біологічне різноманіття, спричиняючи деградацію та порушення функціонування екосистеми [2, 3]. Тому в умовах прогресивного антропогенного тиску на сьогодні актуальним є вивчення екологічного стану басейну річкової системи, а також визначення рівня і особливостей забруднення вод річки Боржава.

Використання басейнового підходу до вивчення сучасного стану є ефективним інструментом для комплексного аналізу вод-

них ресурсів та екологічного стану й організації природного середовища. Він дозволяє якісно визначити екологічну ситуацію та провести системний аналіз взаємозв'язків між джерелами та рівнем забруднення на рівні всього водозбірному басейну та окремих його складових частин, що дозволяє встановити особливості міграційних процесів забруднень та проаналізувати екологічну стабільність території [4]. У вітчизняній науковій літературі особлива увага приділена моніторингу та екологічній оцінці якості вод різних річок України головно для визначення впливу господарської діяльності та поширення різних видів забруднення вод [5-12]. Для визначення екологічного стану річкових систем науковці застосовують гідрохімічний аналіз річкових вод для визначення концентрації та динаміки показників забруднень [13-18].

З метою комплексного аналізу екологічної ситуації в басейні р. Боржава необхідним є не тільки визначення джерел та рівня забруднень вод на основі їх гідрохімічного аналізу, але й ідентифікація осередків найбільшого антропогенного тиску та оцінка характеру забруднення найбільш лабільних елементів довкілля. На цьому шляху першочерговим завданням на сьогодні є аналіз опублікованих праць та матеріалів з метою систематизації наявної інформації про екологічний стан басейну та забруднення вод р. Боржава, який раніше не проводився.

Аналіз екологічної вивченості басейну та забруднення вод р. Боржава характеризується аналітично-описовим змістом та ґрунтується на систематизації опублікованих наукових праць і матеріалів. Для визначення вкладу дослідників у вивченні екологічної ситуації в басейні опрацьовано та порівняно основні результати їхнього дослідження, проаналізовано методичні особливості та місця відбору проб, висновки науковців щодо джерел забруднення елементів середовища та ін. Для комплексного охоплення всіх аспектів історії екологічного вивчення басейну р. Боржава систематизовано опубліковані праці, що свідчить про домінування двох основних векторів наукових досліджень: моніторинг якості річкових вод та фізико-хімічне вивчення забруднення елементів довкілля (з урахуванням антропогенних факторів); дослідження інтенсивності та аналіз територіального поширення гідроло-

гічних, лісопатологічних та інших небезпечних процесів у межах басейну. В основу аналізу лягли наукові праці першого, основного напрямку екологічного вивчення басейну р. Боржава.

Особливу увагу приділено аналізу опублікованих картографічних та статистичних матеріалів екологічного спрямування різних наукових праць. Вони сприяють формуванню просторового уявлення про рівень забруднення та якість вод, розміщення основних антропогенних об'єктів та галузей господарської діяльності з негативним екологічним навантаженням на геокомплекси басейну р. Боржава. Хронологічна послідовність в аналізі наукових праць щодо екологічного вивчення басейну та забруднення річкових вод дає змогу визначити специфіку дослідження та науковий доробок дослідників, а також систематизувати отриману актуальну інформацію про екологічну ситуацію в басейні р. Боржава в контексті сучасних господарських навантажень.

Аналіз опублікованих наукових праць та матеріалів, в яких міститься інформація про особливості екологічної ситуації на різних ділянках басейнової системи р. Боржава (рис.1) та забруднення окремих елементів довкілля, свідчить про значну зацікавленість територією з боку дослідників в галузі природничих наук (рис.2). Основна частина наукових досліджень стосується вивчення екологічного стану басейнової системи на основі використання лабораторних (експериментальних) фізико-хімічних методів визначення вмісту та концентрації забруднюючих речовин у воді, річкових наносах, ґрунтах та ін.

Результати перших ґрунтовних досліджень екологічного стану та відомості про вміст забруднюючих речовин (феруму та маргану) у воді різних ділянок р. Боржава представлені у науковій статті С. Галла-Бобик, Е. Осійського та С. Сухарева, що була опублікована у 2005 р. [19]. Основною метою їхнього дослідження був моніторинг якості вод у межах колишнього Берегівського району, у межах якого знаходилася нижня частина течії р. Боржава та канал Верке. За період з лютого по квітень 2005 року дослідниками було відібрано низку проб із річкових вод, колодязів та свердловин у межах басейну р. Боржава (в околицях сіл Верхні Ремети, Квасово, Бене та ін.) [19]. Аналіз проб за допомогою атомно-абсорбційного спектрометру дозволив визначити значне

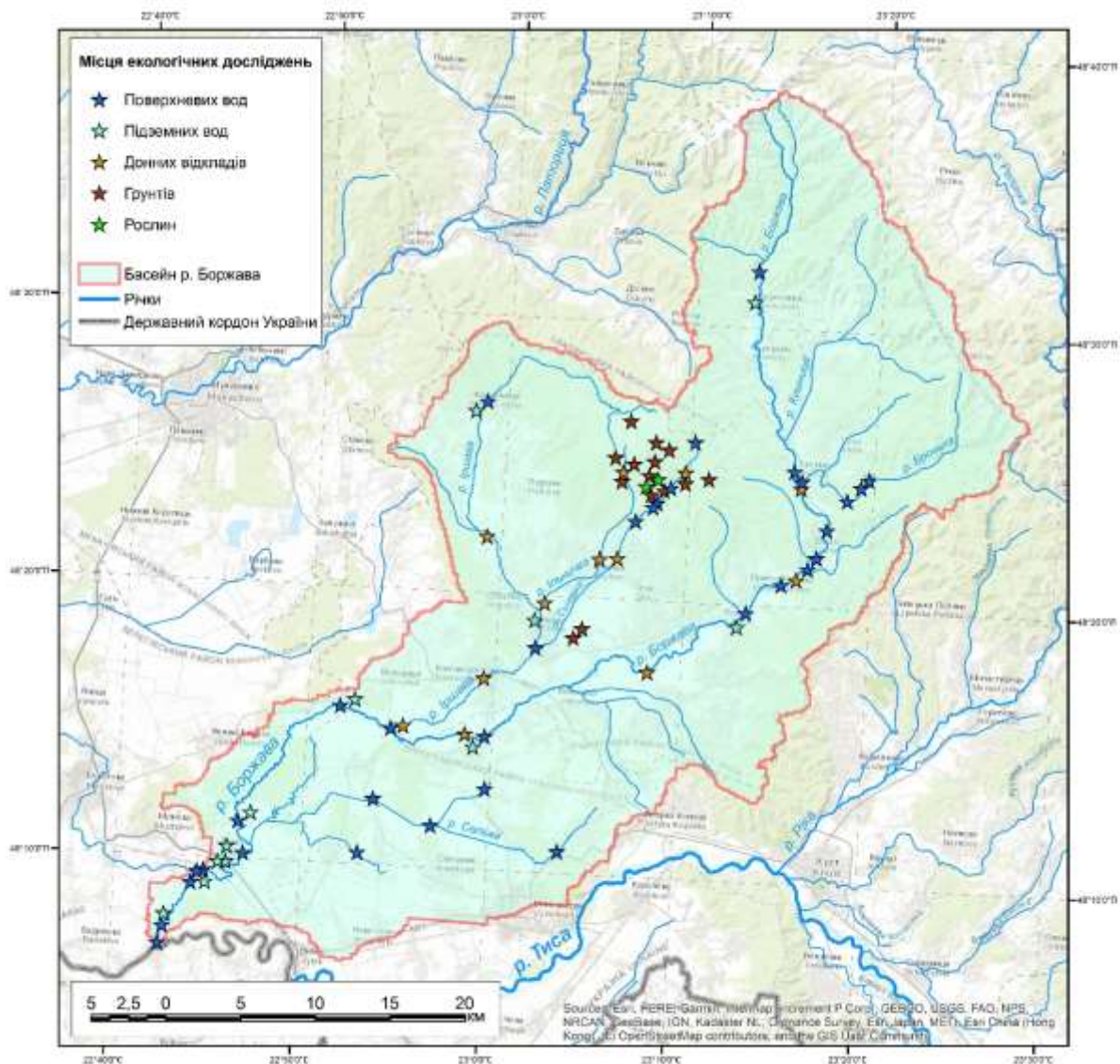


Рис. 1 – Місця екологічного дослідження басейну р. Боржава

Fig. 1 – Sites of ecological study of the Borzhava river basin

перевищення феруму (до 15 разів) головно у поверхневих водах, тоді як концентрація мангану у воді була у межах норми [19].

У 2009 році об'єктом екологічних досліджень стали річки Сальва, Бельва, Онок та Вербовець, що належать до гідрологічної мережі р. Боржава у межах Виноградівського району. З метою визначення антропогенного навантаження та рівня забруднення вод вище названих річок І. Чонка та В. Палько провели відбір проб води на 6 різних пунктах [20]. За допомогою фотометричних методів визначили вміст іонів амонію, нітрат-, нітрит-, фосфат- іонів, завислих су-

спендованих речовин, а також показники хімічного (ХСК) та біологічного споживання кисню (БСК) [20]. У результаті було визначено, що за гідрохімічними показниками річка Сельва характеризується помірним забрудненням, а серед досліджуваних її допливів найгірший екологічний стан притаманний для р. Бельва. Дослідження І. Чонка та В. Палько свідчать, що за показниками ХСК та БСК її води належать до категорії помірно забруднених вод оскільки містить значну кількість органічних речовин [20].

Також у 2009 році група дослідників О. Симканич та ін. за допомогою методів



Рис. 2 – Галузева структура експериментальних екологічних досліджень басейну р. Боржава
Fig. 2 – Branch structure of experimental ecological studies of the Borzhava river basin

гамма-спектроскопії провели наукові дослідження з метою визначення питомого вмісту гамма-активних нуклідів (ГАМ) природних рядів урану ^{238}U (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{226}Ra), торію ^{232}Th (^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{228}Ac , ^{208}Tl), природного ^{40}K та техногенного ^{137}Cs у ґрунтах межиріччя р. Синявка та пот. Суха у межах Національного природного парку (НПП) «Зачарований край» [21]. Останній знаходиться у центральній частині басейну р. Боржава та репрезентує ландшафти лісистого середньогір'я. У результаті проведеного дослідження та аналізу ступеня забрудненості ґрунтів національного парку в жодній із семи ґрунтових проб дослідниками не виявлено надмірних забруднень радіонуклідами техногенного походження, включаючи верхній найуразливіший до накопичення забруднень шар ґрунту [21]. Найбільше поширеними радіонуклідами природного походження тут є ізотопи ^{40}K , які рівномірно пронизують ґрунтовий покрив [21].

Інша група дослідників у складі О. Парлаг, Н. Симканич та В. Маслоука провели якісні дослідження радіоекологічного моніторингу намулів в основному руслі р. Боржава та відібрали 4 зразки для низькофонової гамма-спектроскопії з метою визначення вмісту радіонуклідів [22]. За результатами

досліджень встановлено вміст низки гамма-активних нуклідів та обґрунтовано відсутність у пробах ^{212}Bi , що є генетичним до ^{212}Pb [22].

У 2010 році співробітники ДВНЗ «Ужгородський національний університет» О. Сухарева, С. Сухарев та В. Бабич за допомогою методу екстракційно-фотометричних вимірювань визначали наявність важких металів у водних об'єктах та ґрунтах на різних дослідних ділянках Закарпатської області [23]. У рамках виконання дослідження проби ґрунту також були відібрані на території НПП «Зачарований край» у межах басейну р. Боржава. Їх подальший лабораторний аналіз зафіксував незначний вміст металів та відсутність прямих антропогенних забруднень території [23].

Вперше комплексний аналіз та оцінка якості вод р. Боржава на всій її протяжності від витoku до гирла виконали Л. Трапезнікова, Я. Дзихор та О. Ридей у 2010 році [24] (табл.). Головною метою дослідження було визначення екологічного стану та придатності води для господарського використання [24]. Для цього вони відібрали проби води на чотирьох пунктах вниз за течією, починаючи вище с. Березники та закінчуючи неподалік с. Бене у гирловій частині р. Боржава

Таблиця

Характеристика екологічного стану вод та донних відкладів основного русла р. Боржава на основі експериментальних досліджень [24, 26, 35 та ін.]

Table

Characteristics of the ecological state of waters and bottom sediments of the main channel of the Borzhava River based on experimental studies [24, 26, 35, etc.]

Назва показника (за останні роки дослідження)	Одиниці вимірювання	Складові частини р. Боржава		
		Верхня частина течії (верхів'я від витoku до с. Луково)	Середня частина течії (ділянка між с. Луково та с. Верхні Ремети)	Нижня частина течії (ділянка від с. Верхні Ремети до гирла)
1	2	3	4	5
Гідрохімічний аналіз та якість поверхневих вод				
<i>Місця відбору проб (2010 р.)</i>		<i>с. Луково</i>	<i>с. Великі Ком'яти</i>	<i>с. Бене</i>
Свинець	мг/дм ³	<0,005	<0,005	<0,005
Хром (загальний)	мг/дм ³	<0,005	<0,005	<0,005
Цинк	мкг/дм ³	0,0002	0,0005	0,018
Мідь	мг/дм ³	<0,005	0,005	0,017
Кадмій	мг/дм ³	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Феноли	мг/дм ³	<0,001	<0,001	<0,001
Нафтопродукти	мг/дм ³	<0,005	<0,005	<0,005
Хлорофіл А	мкг/дм ³	4,57	8,62	10,48
Сапробність	індекс	1,8	2	2,2
Марганець	мг/дм ³	0,005	0,016	0,034
Магній	мг-екв/дм ³	0,8	0,85	0,95
Кальцій	мг-екв/дм ³	1	1	1
Азот нітритний	мг/дм ³	0,002	0,004	0,013
Жорсткість	мг-екв/дм ³	1,8	1,85	1,95
Нікель	мг/дм ³	<0,005	<0,005	<0,005
Хлорид-іони	мг/дм ³	1,628	2,34	1,7
Кисень розчинений	мг/дм ³	10,2	10,45	8,96
Водневий показник	pH	8,05	7,38	7,41
Сухий залишок	мг/дм ³	163	149	122
Завислі речовини	мг/дм ³	4	6	8
Окислюваність перманганатна	мгО ₂ /дм ³	2,78	3,1	3,58
Хімічне споживання кисню (ХСК)	мгО/дм ³	4,1	8,9	9,9
Біохімічне споживання кисню (БСК)	мгО ₂ /дм ³	2,68	2,97	2,26
Сульфати	мг/дм ³	7,41	9,67	4,12
Азот амонійний	мг/дм ³	0,039	0,241	0,053
Азот нітратний	мг/дм ³	1,04	1,27	1,15
Температура	°C	14,1	13,6	12,8
Фосфор фосфатів	мг/дм ³	0,004	0,007	0,007
СПАР	мг/дм ³	<0,01	0,01	0,011
Залізо	мг/дм ³	0,18	0,4	0,62
Якість вод за їх станом	Узагальнений екологічний індекс	1,4 (якість – відмінна / ступень забруднення – дуже чисті)	1,51 (якість – дуже добрі / ступень забруднення – чисті)	1,51 (якість – дуже добрі / ступень забруднення – чисті)
Гідрохімічний аналіз та якість ґрунтових вод				
<i>Місця відбору проб (2012 р.)</i>		<i>с. Луково</i>	<i>с. Великі Ком'яти</i>	<i>с. Бене</i>
Водневий показник	pH	6,7	7,2	7,8
Нітриди	мг/л	0,1	0,05	0,08
Нітрати	мг/л	7,8	8,4	9,0
Загальна лужність	мг-екв/л	4,2	5,2	5,8
Твердість загальна	мг-екв/л	5,3	7,4	8,2
Кальцій	мг/л	3,9	4,1	4,3
Магній	мг/л	1,4	3,3	3,9
Сухий залишок	мг/л	-	-	-

Продовження таблиці				
1	2	3	4	5
Сульфати	мг/л	59,7	66,2	69,7
Хлориди	мг/л	24,2	48,6	52,8
Залізо	мг/л	0,27	0,6	1,2
Манган	мг/л	0,3	0,5	0,9
Ступінь забруднення ґрунтових вод	Коефіцієнт Σ забруднення	6,41 (слабо забруднені)	11,12 (середньо забруднені)	17,45 (середньо забруднені)
Вміст металів у донних відкладах				
Місця відбору проб (2014-2015 р.)		-	с. Білки	с. Приборжавське
Мідь	мг/кг	-	0,94±0,16	1,15±0,23
Цинк	мг/кг	-	2,69±0,48	3,59±0,75
Свинець	мг/кг	-	0,11±0,2	0,13±0,3
Кадмій	мг/кг	-	0,016±0,003	0,019±0,004

перед її впадінням у р. Тису. За результатами лабораторних гідрохімічних аналізів дослідники визначили параметри 31 показника – свинець, цинк, мідь, нафтопродукти, марганець, магній, водневий показник, завислі речовини, ХСК, БСК та ін. [24]. Їх аналіз свідчив про погіршення екологічного стану води р. Боржава вниз за течією від I класу у верхів'ї (відмінна за станом та дуже чиста за ступенем чистоти/забрудненості) до II класу у гирловій частині (добра за станом та чиста за ступенем чистоти/забрудненості) [24]. На основі отриманих даних Л. Трапезнікова, Я. Дзихор та О. Ридей визначили рівень забруднення компонентами сольового складу, речовинами з токсичною дією і реалізували санітарно-гігієнічну та рибогосподарську оцінку якості води. До основних результатів їхнього дослідження також належить визначений екологічний індекс (I_e) вод р. Боржава та обсяги перевищення норм показників трофо-сапробіологічний блоку – азоту нітратного, азоту нітритного, азоту амонію та ін. [24].

Гирлова частина р. Боржава та канал Верке розміщені у густозаселеній та найбільш господарсько освоєній центральній частині Закарпатської низовини, а тому неодноразово ставали об'єктами гідроекологічних досліджень. У 2011 році О. Глух та Н. Борисова оцінювали актуальний на той час екологічний стан основних водних об'єктів території колишнього Берегівського району в умовах їх інтенсивного використання у сільському господарстві та технічних потребах підприємств [25]. На основі моніторингових даних за період з 2006 по 2011 рр. дослідники порівняли основні гідрохімічні показники р. Боржава та каналу Верке, а також визначили притаманні основні тенденції змін концентрації забруднюючих речовин

[25]. Зокрема, для річки Боржава було зафіксовано чітке збільшення нітратів у воді, що стало результатом ведення сільського господарства та використання добрив [25].

Важливе значення для формування екологічного стану річкових систем відіграють підземні води, які функціонально пов'язані з річками та є одним із джерел їхнього живлення. Вперше системне гідрохімічне дослідження ґрунтових вод у басейні р. Боржава було реалізовано у 2012 році групою науковців ДВНЗ «Ужгородський національний університет» та Басейнового управління водних ресурсів (БУВР) р. Тиса під керівництвом Л. Трапезнікової [26]. Їхні гідрохімічні дослідження ґрунтувалися на відборі проб ґрунтових вод у колодязях сіл Березники, Луково, Великі Ком'яти та Бене, що дозволило оцінити основні показники якості та визначити загальний ступінь їхнього забруднення. У результаті визначено, що на ділянці сіл Березники та Луково ґрунтові води слабо забруднені, тоді як в межах сіл Великі Ком'яти та Бене – середньо забруднені із значним (у декілька разів) перевищенням норм вмісту феруму та мангану [26].

У період 2012-2013 рр. О. Симканич та С. Сухарева опублікували низку наукових праць, що присвячені вивченню особливостей міграції, акумуляції та просторового поширення важких металів у ґрунтах та рослинах на території НПП «Зачарований край» [27-29]. Вони містять важливі дані щодо процесів біоаккумуляції важких металів (Мідь (Cu), свинець (Pb), кадмій (Cd), цинк (Zn)) у домінуючих видах рослинних угруповань парку (мохи, папороть, бук) та їхній зв'язок із рівнем забруднення ґрунтів [27]. У 2012 році дослідники на прикладі НПП «Зачарований край» зафіксували особливості

максимальної акумуляції важких металів у мохах, із яких найбільший рівень забруднення характерний для цинку [27]. Логічним продовженням наукових досліджень О. Симканич та С. Сухарева стало вивчення вмісту важких металів та їх розподіл у товщі ґрунтового покриву території національного парку [28, 29]. Зважаючи на відносну інертність ґрунтів до міграції і розсіювання забруднень у вигляді важких металів та тривалу їх акумуляцію, визначення їх вмісту у зразках ґрунтів проводилося на основі відбору проб на трьох відмітках глибини ґрунтового профілю. У результаті дослідження найбільша концентрація важких металів для території парку була зафіксована у гумусовому та алювіальному горизонтах, що негативно впливає на фізико-хімічні властивості ґрунтів [29]. Також дослідники зробили висновок, що свинець (Pb), як один із найбільш рухомих металів у середовищі, зосереджений головню у верхньому шарі ґрунтового профілю та зумовлений антропогенним фактором – впливом вихлопних газів у минулому та атмосферним перенесенням забруднення з інших регіонів Карпат [29]. Пізніше отримані результати дослідження на території басейну р. Боржава та НПП «Зачарований край» були порівняні із даними щодо забруднення важкими металами й радіонуклідами ґрунтів інших природоохоронних об'єктів Закарпатської області [30].

Радіоекологічні та геохімічні дослідження поширення важких металів і радіонуклідів на території НПП «Зачарований край» були продовжені у 2014 році дещо ширшим колективом у складі О. Симканич, О. Сухаревої та С. Сухарева [31]. Основним завданням досліджень було визначення закономірностей розподілу, міграції та акумуляції важких металів (ртуті (Hg), міді (Cu), свинцю (Pb), кадмію (Cd) та цинку (Zn)) та гамма-активних нуклідів у донних відкладах середньої течії р. Боржава та її допливів – річки Синявка, Ільничка та Іршава [31]. Дослідження ґрунтувалося на щомісячних відборах проб донних відкладів на 11 ділянках. У результаті дослідниками зафіксовано, що серед важких металів найвищий валовий вміст у донних відкладах малих річок притаманний для Cu (0,82-1,16 мкг/кг) та Zn (1,64-3,73 мг/кг) [31]. Також до основних результатів дослідження О. Симканич, О. Сухаревої та

С. Сухарева належать карти розподілу суми важких металів та сумарної питомої активності гамма-активних нуклідів водозборів малих річок центральної частини басейну р. Боржава [31]. Це дало змогу визначити осередок найбільшої акумуляції важких металів в долині р. Боржава на ділянці зменшення швидкості течії та інтенсивних алювіально-акумулятивних процесів в районі с. Довге. Також було зафіксовано фонову питому активність природних гамма-активних радіонуклідів (без урахування ^{40}K) у донних відкладах, яка коливалася у межах 126-184 Бк/кг [31].

Найбільшою правою притокою р. Боржава є р. Іршава, яка бере початок на схилах г. Бужора у межах НПП «Зачарований край» [1]. У 2013 році Л. Трапезнікова, І. Монич та Ю. Хрипта дослідили екологічний стан поверхневих та підземних вод басейну р. Іршава на основі лабораторних гідрохімічних вимірювань проб із трьох ділянок (с. Івашковиця, м. Іршава та с. Бене) [32]. У результаті було визначено 23 показника якості води р. Іршава та 14 показників якості вод із колодязів на території вище згаданих населених пунктів [32]. Детальний гідрохімічний аналіз складу води та якісна систематизація отриманих даних дали змогу дослідникам вивести узагальнений екологічний індекс (I_e), який свідчить про поступове забруднення води вниз за течією [32]. В цьому напрямку також зростає коефіцієнт сумарного забруднення (K_2) ґрунтових вод від 4,8 у колодязях с. Івашковиця до 17,5 – с. Бене [32]. Таким чином, спостерігається кореляція екологічного стану поверхневих та підземних вод, при чому останні в гирловій частині р. Іршавка характеризуються найгіршим ступенем забруднення (середньо забруднені) [32].

Екологічний стан річкових системи є дуже вразливим до постійного антропогенного тиску головню з боку стаціонарних господарсько-промислових, транспортно-інфраструктурних та інших об'єктів. Найбільша концентрація різних джерел забруднення притаманна для населених пунктів, з якими пов'язане постійне екологічне навантаження та забруднення поверхневих і підземних вод. Так, у 2014 році Л. Роман та Т. Білинець опублікували статтю, що присвячена аналізу антропогенного впливу смт. Довге на якість води р. Боржава на основі проведених гідрохімічних та гідробіологічних вимі-

рювань [33]. Особливістю цього населеного пункту є наявність тут низки лікарсько-медичних закладів, в тому числі функціонуючого на той час протитуберкульозного відділення Іршавської районної лікарні без обладнаних належним чином очисних споруд та знезаражувального обладнання. Станом на 2014 рік сумарні обсяги скидів стічних вод з лікарсько-медичних закладів с. Довге становили близько 5 тис. дм³ [33]. Тому з осені 2013 р. по весну 2014 р. Л. Роман та Т. Білинець виконали низку відборів проб. Їх гідрохімічний аналіз підтвердив незначний вплив медичних установ на якість води р. Боржава, який обмежився незначним перевищенням показника БСК₅, збільшення вмісту поліфосфатів та ін. [33]. Гідробіологічне вимірювання також не виявило у воді колифаг та патогенних ентеробактерій [33].

У 2015 році на основі середньорічних даних Державної екологічної інспекції у Закарпатській області В. Ніколайчук та ін. проаналізували концентрації забруднюючих речовин у водних об'єктах області та р. Боржава зокрема [34]. Це регіональне дослідження ґрунтувалося на аналізі даних функціонуючих створів моніторингу поверхневих вод області. Для басейну р. Боржава науковцями були використані репрезентативні дані створу в с. Бене, на основі якого було проаналізовано 19 показників забруднення води [34]. В цей час свої дослідження на визначення важких металів у донних відкладах р. Боржава методами атомно-абсорбційної спектроскопії проводив С. Сухарев [35]. З метою апробації нових хімічних модифікаторів для визначення важких металів у донних відкладах на прикладі вище названої річки було реалізовано експериментальні дослідження відібраних проб у її верхній, середній та нижній течії. У результаті було зафіксовано сезонні коливання вмісту важких металів у воді та збільшення їх концентрації від правого допливу р. Іршава в сторону головної течії р. Боржава (на ділянці с. Довге) [35]. Отримані результати корелюються із даними попередніх досліджень науковця у співавторстві з О. Симканич та О. Сухаревою [31].

В рамках дослідження стаціонарного рекреаційного навантаження на екологічний стан навколишнього середовища та функціонування зони рекреації НПП «Зачарований

край» С. Галла-Бобик дослідила вплив туристично-рекреаційних об'єктів на якість вод р. Синявка [36]. До основних туристично-рекреаційних об'єктів стаціонарної рекреаційної зони національного парку належить комплекси «Зачарована долина», «Смерековий камінь», «Теремок» та ін. Для проведення гідрохімічних досліджень С. Галла-Бобик реалізувала посезонний відбір проб води у р. Синявка вище та нижче від місця скидання стічних вод. У результаті було зафіксовано незначне підвищення вмісту фосфатів та аніоноактивних поверхнево-активних речовин [36]. Також аргументовано суттєве перевищення (у 1,6-2,6 разів) допустимих норм показника біохімічного споживання кисню (БСК₅), що, на думку дослідниці, пов'язано із скиданням неочищених стічних вод та перевищення рекреаційної місткості відповідної зони парку [36].

Небезпечними об'єктами для екологічного стану навколишнього середовища та сильним джерелом забруднення ґрунтів, повітря, поверхневих і підземних вод та інших природних компонентів є сміттєзвалища. На території басейну р. Боржава знаходиться низка сміттєзвалищ різних розмірів, які є осередками підвищеної санітарно-епідеміологічної небезпеки із сприятливими умовами для поширення паразитичної фауни, інфекційних захворювання та патогенної мікрофлори. У 2018 році С. Делеган-Кокайко та ін. провели актуальні дослідження з метою оцінки впливу експлуатації сміттєзвалища в с. Дубрівка на навколишнє середовища та визначення рівня забруднення ґрунтів в зоні його впливу [37]. На основі посезонних відборів проб ґрунтів на 4 різних точках сміттєзвалища та прилеглих територій у період 2015-2016 рр. з подальших їх аналізом за допомогою методу електротермічної атомно-абсорбційної спектроскопії було визначено вміст важких металів (Cd, Pb, Zn, Cu), нітрит-іони, нітрат-іони, та рухомих форм фосфору [37]. У результаті досліджень С. Делеган-Кокайко та ін. у центральній частині сміттєзвалища зафіксовано найбільші перевищення гранично-допустимих норм елементів Cd, Pb та Zn із певними сезонними коливаннями, а також велику концентрацію нітратів [37]. У впливом погодних факторів ці забруднення мігрують вниз по схилу спричиняючи токсикацію ґрунтів [37].

Таким чином, результати моніторингового дослідження підтвердили негативний вплив сміттєзвалищ на екологічний стан доквілля та необхідність впровадження дієвих заходів щодо усунення потенційних небезпек поширення забруднення у ґрунти, поверхневі та підземні води басейну р. Боржава.

Гідрохімічне дослідження Л. Роман та С. Чундак впродовж 2017-2019 рр. присвячено вивченню екологічного стану вод річок Бронька та Синявка, що належать до басейну р. Боржава [38]. До основних результатів моніторингових експериментальних досліджень належать порівняльний аналіз низки показників гідрохімічного режиму річок Бронька і Синявка. Також науковцями об'явлено обсяги вмісту у річкових водах важких металів, амоній-, нітрат-, нітрит-, суль-

фат-, фосфат- та хлорид-іонів, тощо [38]. Для якісного аналізу екологічного стану річкових вод дослідниками посезонно були відібрані проби з 4 ділянок із кожної річки. Їх експериментальний аналіз дозволив визначити суттєве перевищення норм мангану (у 5 разів) та феруму загального (у 2-4 рази) [38].

Останній аналіз гідрохімічного складу вод річки Боржава проведений у 2020 році І. Суханом під керівництвом В. Лети з метою визначення його сезонної мінливості [39]. Їхнє дослідження ґрунтувалося на статистичній обробці та аналізі моніторингових даних БУВР р. Тиса, у результаті чого було визначено перевищення у воді мікроелементів та помітне сезонне коливання біогенних речовин у результаті впливу сільського господарства [39].

Висновки

Перші ґрунтовні екологічні дослідження поверхневих та підземних вод басейну р. Боржава розпочалися у 2005 році. Починаючи з 2009-2010 рр. активізувалися гідрохімічні моніторингові дослідження вод р. Боржава та її допливів, які згодом доповнилися вивченням поширення важких металів та інших забруднень у воді, донних відкладах та ґрунтах різних ділянок басейну. Найбільша кількість наукових праць, головним чином стосувалися вивчення рівня забруднення вод та басейну р. Боржава, опубліковані за період 2012-2016 рр. Також більшість реалізованих наукових досліджень опиралися на гідрохімічний та гідробіологічний аналіз якості вод, а методи спектроскопії та геохімічного моніторингу використані для визначення забруднень важкими металами, гамма-активних нуклідів та ін. Таким чином, на сьогодні в умовах прогресивного антропогенного навантаження необхідним є продовження галузевого моніторингу за якістю

поверхневих та підземних, а також екологічним станом басейну р. Боржава та окремих компонентів природного середовища. Також важливим є проведення комплексного (ландшафтного) вивчення екологічного стану басейну р. Боржава з метою визначення сучасних особливостей процесів функціонування геокомплексів та забезпечення екологічного балансу річкової системи.

Ретроспекція екологічного вивчення басейну та забруднення вод р. Боржава свідчить про актуальність проблеми збереження водних ресурсів та значної уваги наукової спільноти до антропогенних факторів забруднення річкових вод, ґрунтів та інших елементів довкілля. Систематизація опублікованих наукових праць та детальне опрацювання основних результатів досліджень сприяють формуванню загального розуміння вивченості річкового басейну, а також факторів та причин забруднення, локацій найбільшої концентрації забруднюючих речовин та ін

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. Басейнове управління водних ресурсів річки Тиса. Офіційний сайт. URL: <https://buvrtyisa.gov.ua> (дата звернення: 22.05.2024 р.).

2. Сніжко С. І. Теорія і методи аналізу регіональних гідрохімічних систем : дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.07 / Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка, 2002. 416 с.
3. Вільдман І. Л. Наукові основи створення системи інтегральних біоценотичних методів контролю водних систем (на прикладі р. Інгулець) : дис. ... канд. тех. наук. : 21.06.01 / Київський національний університет будівництва та архітектури, 2015. 222 с.
4. Сухий П. О., Скрипник Я. П., Березка І. С. Оцінювання антропогенного впливу на басейнові системи. *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: Географія*. 2012. Вип. 612–613. С. 166–168. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvchnu_2012_612-613_38
5. Коваленко С. А., Пономаренко Р. В., Крайнюк О. В., Северинов О. В. Екологічна оцінка якісного складу поверхневого водного об'єкту (на прикладі річки Псел). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 31–41. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-03>
6. Гололобова О. О., Дорогань, В. В. Екологічна оцінка якості поверхневих вод малих та середніх річок Полтавської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. № 31 (31). С. 84–95. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-08>
7. Василенко Л. О., Жукова О. Г., Русінов Т. О. Оцінка якості води річки Случ за гідрохімічними показниками. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. 2016. Вип. 27. С. 24–29. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2017_27_5
8. Мельник Ю. Т., Царик Л. П., Кузик І. Р. Регламентация господарської діяльності на ставках та водосховищах в басейні річки Нічлава. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2022. № 38. С. 29–38. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-38-03>
9. Кузик І., Мельник Ю. Водокористування як чинник формування екологічної безпеки басейну річки Нічлава. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Сер. Географія*. 2023. Вип. 1 (54). С. 240–247. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.26>
10. Царик Л. П., Кузик І. Р., Янковська Л. В. Водні об'єкти міста Тернопіль: гідрографія, екологічний стан та водопостачання. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2022. № 37. С. 22–36. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-37-02>
11. Лобода Н. С., Яров Я. С., Куза А. М., Катинська, І. В. Комплексна оцінка антропогенних навантажень та наслідків їх впливу на екологічний стан водних об'єктів (на прикладі річки Грузька Кіровоградської області). *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. № 31. С. 103–121. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.07>
12. Ухань О. О., Лузовицька Ю. А. Інтегральна оцінка якості води річок басейну р. Південний Буг та розрахунок їх самоочисної здатності. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2021. № 35. С. 48–57. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-05>
13. Бірюков О. В. Гідрохімічний аналіз динаміки змін якості поверхневих вод річки Оскіл. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2023. Вип. 29. С. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-02>
14. Корбут М. Б., Мальований М. С., Давидова І. В., Скиба Г. В. Оцінювання звалищ твердих побутових відходів на гідрохімічний режим прилеглих територій (на прикладі полігону Житомирської територіальної громади). *Науковий вісник НЛТУ України*. 2023. № 3, т. 23. С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.36930/40330306>
15. Зінченко І. В., Васенко О. Г., Бабіч О. В., Ангіна Л. С. Моніторинг самоочищення дельти Дунаю і річки Мерло за мікробіологічними показниками. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2023. № 39. С. 39–54. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-04>
16. Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Кірейцева Г. В., Демчук Л. І., Скиба Г. В., Вовк В. М. Оцінка стану та фітоторемедіаційного потенціалу антропогенно трансформованих гідроекосистем Малинщини. *Екологічні науки*. 2023. № 5 (50). С. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.12>
17. Лета В., Карабінюк М. Природні умови та антропогенні чинники формування гідроекологічного стану верхів'я басейну річки Тиса. *Екологічні проблеми Закарпаття* / за ред. Н. Кабляк, Л. Фельбаба-Клушина. Ужгород : РІК-У, 2023. С. 14–38. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/60609>
18. Сухарева О. Ю., Делеган-Кокайко С. В., Сухарев С. М. Екстракційно-атомно-абсорбційне визначення деяких важких металів у природних водах. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія*. 2016. Вип. 1 (35). С. 56–61. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuchem_2016_1_13
19. Галла-Бобик С. В., Осійський Е. Й., Сухарев С. М. Моніторинг вмісту феруму та мангану в поверхневих та підземних водах Берегівського району. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія*. 2005. Вип. 13–14. С. 160–166. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/17851>
20. Чонка І. І., Палько В. В. Стан малих річок Боржаського басейну на території Виноградівського району. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія*. 2009. Вип. 21. С. 67–71. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7244>

21. Симканич О. І., Сухарев С. М., Маслюк В. Т., Стець М. В. Низькофононий гамма-спектрометричний моніторинг ґрунтів Національного природного парку «Зачарований край». *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2009. Вип. 21–22. С. 72–76. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7245>
22. Парлаг О. О., Симканич Н. І., Маслюк В. Т. Методологія радіоекологічного моніторингу за донними відкладами рік Закарпаття. *Вісник Львівського університету. Серія: Фізика.* 2009. Вип. 44. С. 206–211. URL: https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/44_30.pdf
23. Сухарева О. Ю., Сухарев С. М., Бабич В. С. Екстракційно-фотометричне визначення деяких важких металів в об'єктах довкілля. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2010. Вип. 23–24. С. 32–39. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7138>
24. Трапезнікова Л. В., Дзихор Я. М., Ридей О. В. Комплексна оцінка якості води р. Боржава. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2010. Вип. 24. С. 190–196. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7236>
25. Глух О. С., Борисова Н. С. Динаміка зміни деяких гідрохімічних показників річки Боржави і каналу Верке. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2011. Вип. 2 (26). С. 101–104. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/12719>
26. Трапезнікова Л. В., Монич І. І., Терембець Л. І., Тюпа М. О. Екологічний стан ґрунтових вод суббасейну р. Боржава. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2012. Вип. 2 (28). С. 94–98. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/2401>
27. Симканич О. І., Сухарев С. М. Особливості міграції та акумуляції важких металів в системі ґрунт–рослина на прикладі заповідника «Зачарований край», Закарпаття. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2012. Вип. 2 (28). С. 99–102. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/2402>
28. Симканич О. І., Сухарев С. М. Визначення вмісту важких металів у ґрунтах Національного природного парку «Зачарований край». *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи).* 2012. Вип. 3, т. 4. С. 338–341. URL: <http://ibhb.chnu.edu.ua/biosystem/t4-v3-2012>
29. Симканич О. І., Сухарев С. М. Розподіл важких металів по профілю ґрунтів Національного природного парку «Зачарований край». *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування.* 2013. № 1. С. 53–59. URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/2479>
30. Симканич О. І., Сухарев С. М., Делеган-Кокайко С. В., Маслюк В. Т., Сватюк Н. І. Розподіл важких металів та радіонуклідів в об'єктах заповідних територій Закарпаття. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Фізика.* 2015. Вип. 37. С. 139–145. DOI: <https://doi.org/10.24144/2415-8038.2015.37.139-145>
31. Симканич О. І., Сухарева О. Ю., Сухарев С. М. Розподіл важких металів і радіонуклідів у донних відкладах малих річок території Національного природного парку «Зачарований край» (Закарпаття) за їх течією. *Методи та об'єкти хімічного аналізу.* 2014. Вип. 9 (3). С. 145–152. DOI: <https://doi.org/10.17721/moca.2014.145-152>
32. Трапезнікова Л. В., Монич І. І., Хрипта Ю. В. Екологічний стан поверхневих та ґрунтових вод басейну р. Іршава. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2013. № 1 (29). С. 87–93. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/2984>
33. Роман Л. Ю., Білинець Т. Б. Антропогенний вплив смт. Довге Іршавського району на якість води річки Боржава. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2014. № 2 (32). С. 78–83. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/964>
34. Ніколайчук В. І., Вакерич М. М., Шпонтанк Ю. М., Карпюк М. К. Сучасний стан водних ресурсів Закарпаття. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Біологія, екологія.* 2015. Вип. 23 (2). С. 116–123. DOI: <https://doi.org/10.15421/011517>
35. Сухарев С. М. Визначення деяких важких металів у донних відкладах річки Боржава методом атомно-абсорбційної спектроскопії. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2015. Вип. 1 (33). С. 45–49. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/11140>
36. Галла-Бобик С. В. Рекреаційне навантаження на території Національного природного парку «Зачарований край». *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2016. № 2 (36). С. 73–76. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuchem_2016_2_21
37. Делеган-Кокайко С. В., Симканич О. І., Сухарев С. М., Глух О. С., Крч К. Л. Оцінка впливу сміттєзвалища села Дубрівка Іршавського району на екологічний стан ґрунтів прилеглих територій. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2018. № 2 (40). С. 91–96. DOI: <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2018.2.91-96>
38. Роман Л. Ю., Чундак С. Ю. Моніторинг екологічного стану води малих річок Іршавського району Закарпаття. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія.* 2019. Вип. 2 (42). С. 105–111. DOI: <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2019.2.105-111>

39. Сухан І. Сезонна мінливість гідрохімічного складу вод річки Боржава (на матеріалах БУВР р. Тиса за 2018 р.). *Збірник наукових праць студентів географічного факультету*. 2020. № 1. С. 89–92. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/29484>

Стаття надійшла до редакції 08.04.2024 р.
Стаття рекомендована до друку 25.05.2024

M. O. VOVKUNOVYCH

PhD student of the Department of Ecology and Environmental Protection
e-mail: mykhailo.vovkunovych@uzhnu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-7273-0418>
Uzhhorod National University
Narodna Square, 3, Uzhhorod, 88000, Ukraine

RESEARCH RETROSPECTIVE ON THE ECOLOGICAL STATE OF BORZHAVA RIVER BASIN (TRANSCARPATHIAN REGION)

The Borzhava River is an important element of the region's river network and a valuable natural resource for the local population of the Zakarpattia region.

Purpose. Analysis of published works containing information on the peculiarities of the ecological state of the basin and water pollution of the Borzhava River.

The results. Scientific works devoted to the results of hydrochemical and hydrobiological analysis of the quality of surface and underground waters, as well as determination of the content of heavy metals, pesticides and other pollutants in soils and bottom sediments of the Borzhava River basin from 2005 to 2020, were analyzed. anthropogenic load, the ecological state of the basin and the level of water pollution repeatedly suffer negative changes.

Conclusions. The processing of literary data ensured the structuring of information and the determination of the level of study of the ecological state of the Borzhava River basin.

KEYWORDS: *ecological situation, pollution, hydrochemical regime, anthropogenic impact, river system, Borzhava River*

References

1. Tisza River Basin Water Resources Management. Official website. Retrieved from <https://buvrtysa.gov.ua> (in Ukrainian)
2. Snizhko, S. I. (2002). Theory and methods of analysis of regional hydrochemical systems. (Doctoral of Sciences' thesis). Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv. (in Ukrainian)
3. Vildman, I. L. (2015). Scientific basis for the creation of a system of integrated biocenotic methods for controlling water systems (on the example of the Ingulets River). (Candidate of Sciences' thesis). Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv. (in Ukrainian)
4. Suchij, P. O., Skrypnyk, Y.P., & Berezka, I. S. (2012). Assessment of anthropogenic impact on the basin system. *Scientific Herald of Chernivtsi University: Geography*, (615-613), 166-168. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvchnu_2012_612-613_38 (in Ukrainian)
5. Kovalenko, S. A., Ponomarenko, R. V., Krainyuk, O. V., & Sevrynov, O. V. (2021). Environmental Assessment of Surface Water Body Quality (on the Example of the Psel River). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series "Ecology"*, (25), 31-41. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-03> (in Ukrainian)
6. Gololobova, O. O., & Dorogan, V. V. (2019). Ecological Assessment of Quality of Surface Water of Small and Medium Rivers of Poltava Region. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (31), 84-95. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-08> (in Ukrainian)
7. Vasylenko, L. O., Zhukova, O. H., & Rusinov, T. O. (2016). Assessment of the water quality of the Sluch River by hydrochemical indicators. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, (27), 24-29. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2017_27_5 (in Ukrainian)
8. Melnik, Y. T., Tsaryk, L. P., & Kuzyk, I. R. (2022). Regulation of economic activities on ponds and reservoirs in the Nichlava river basin. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (38), 29-38. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-38-03> (in Ukrainian)

9. Kuzyk, I. R. & Melnik, Y. T. (2023). Water use as a factor in the formation of ecological safety of the Nichlava river basin. *Scientific Notes Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University. Series: "Geography"*, 1(50), 240-247. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.26> (in Ukrainian)
10. Tsaryk, L. P., Kuzyk, I. R., & Yankovska, L. V. (2022). Water facilities of Ternopil: hydrography, ecological condition and water supply. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (37), 22-36. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-37-02> (in Ukrainian)
11. Loboda, N. S., Yarov, Y. S., Kuza, A. M., & Katynska, I. V. (2023). Comprehensive assessment of anthropogenic loads and consequences of their influence on the environmental state of water bodies (as exemplified by the Gruzka River, Kirovohrad Region). *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (31), 103-121. <https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.07> (in Ukrainian)
12. Ukhan, O. O., & Luzovitska, Y. A. (2021). Integrated Assessment of the Southern Bug River Basin Water Quality and Calculation of their Self-Cleaning Capacity. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (35), 48-57. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-05> (in Ukrainian)
13. Biryukov, O. V. (2023). Hydrochemical analysis of surface water quality dynamics in the Oskil river. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series "Ecology"*, (29), 17-25. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-02> (in Ukrainian)
14. Korbut, M. B., Malovanyy, M. S., Davydova, I. V., & Skyba, G. V. (2023). Assessment of the solid household waste landfills impact on the hydrochemical regime of the surrounding territories (on the example of the Zhytomyr territorial community landfill). *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(3), 40-45. <https://doi.org/10.36930/40330306> (in Ukrainian)
15. Zinchenko, I. V., Vasenko, O. H., Babich, E. V., & Anhina, L. S. (2023). Self-purification monitoring of the Danube delta and Merlo river aquatic water according to microbiological indicators. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (39), 39-54. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-04> (in Ukrainian)
16. Tsyhanenko-Dziubenko, I. Iu., Kireitseva, H. V., Demchuk, L. I., Skyba, G. V., & Vovk V. M. (2023). Evaluating the condition and phytoremediation potential of anthropogenically transformed hydroecosystems of the Malyn district. *Ecological Sciences*, 5(50), 81-87. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.12> (in Ukrainian)
17. Leta, V. V., & Karabiniuk, M. M. (2023). Natural Conditions and Anthropogenic Factors Affecting the Hydroecological State of the Upper Reaches of Tisza River Basin. In N. Kablak and L. Felbaba-Klushyna (Eds.), *Environmental Issues of Zakarpattia. Manual* (pp. 14-38). Uzhhorod, Ukrainian: RIK-U. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/60609> (in Ukrainian)
18. Sukhareva, O. Yu., Delegan-Kokajko, S. V., & Sukharev, S. M. (2016). Extraction-atomic-absorption determination of some heavy metals in natural waters. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 1(35), 56-61. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuchem_2016_1_13 (in Ukrainian)
19. Halla-Bobik, S. V., Osijksij, E. J., & Suharev S. N. (2005). The monitoring of the concentration of iron and manganese compounds in surface and underground water of Berehiv Region. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, (13-14), 67-71. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7244> (in Ukrainian)
20. Chonka, I. I., & Palko, V. V. (2009). Condition of the small rivers of river basin Borzhava (Vinogradovsky Area). *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, (21), 67-71. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7244> (in Ukrainian)
21. Symkanych, O. I., Sukharev, S. N., Maslyuk, V. T., & Stets, M. W. (2009). Low-background gamma-spectrometric monitoring of grounds of the national natural park "Zacharovany Kray". *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, (21-22), 72-76. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7245> (in Ukrainian)
22. Parlag, O., Symkanych, N., & Maslyuk, V. (2009). Methodology of radioecological monitoring by sedimentations of the Transcarpathian rivers. *Visnyk of the Lviv University. Series Physics*, (44), 206-211. Retrieved from https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/44_30.pdf (in Ukrainian)
23. Sukhareva, O. Yu., Sukharev, S. N., & Babych, V. S. (2010). The extraction-photometric determination of some heavy metals in object of invernmentals. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, (23-24), 32-39. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7138> (in Ukrainian)
24. Trapeznikova, L. V., Dzyhor, Y. M., & Rydey, O. V. (2010). Complex estimation of water quality of Borzhava river. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, (24), 190-196. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7236> (in Ukrainian)
25. Glukh, O. S., & Borisova, N. S. (2011). Changes dynamic of some hydrochemical parameters of the Borzhava river and Werke watercourse. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 2(26), 101-104. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/12719> (in Ukrainian)

26. Trapeznikova, L. V., Monych, I. I., Terembets, L. I., & Tyupa, M. A. (2012). Ecological state of subsoil waters of the river Borzhava sub-basin. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 2(28), 94-98. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/2401> (in Ukrainian)
27. Symkanych, O. I., & Sukharev, S. N. (2012). Features of migration and accumulation of heavy metals in system soil-plant on example of reserve the "Zacharovany Kray", Zakarpattia. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 2(28), 99-102. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/2402> (in Ukrainian)
28. Symkanych, O. I., & Sukharev, S. N. (2012). Determination of heavy metal content in the soils of the "Zacharovany Kray" National Nature Park. *Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Biology (Biological systems)*, 3(4), 338-341. Retrieved from <http://ibhb.chnu.edu.ua/biosystem/t4-v3-2012> (in Ukrainian)
29. Symkanych, O. I., & Sukharev, S. N. (2013). Distribution of heavy metals in the soil profile of the "Zacharovany Kray" National Nature Park. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, (1), 53-59. Retrieved from <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/2479> (in Ukrainian)
30. Symkanych, O. I., Sukharev, S. N., Delegan-Kokayko, S. V., Maslyuk, V. T., & Svatyuk, N. I. (2015). The distribution of heavy metals and radionuclides in the objects of the protected areas of Transcarpathia. *Scientific Herald of Uzhhorod University. Series "Physics"*, (37), 139-145. <https://doi.org/10.24144/2415-8038.2015.37.139-145> (in Ukrainian)
31. Symkanych, O. I., Sukhareva, O. Yu., & Sukharev, S. N. (2014). Distribution of Heavy Metals and Radionuclides in the Bottom Sediments of the Small Rivers of National Natural Park "Zacharovany Kray" (Transcarpathia, Ukraine) Down Stream. *Methods Objects Chem. Anal.*, 9(3), 145-152. <https://doi.org/10.17721/moca.2014.145-152> (in Ukrainian)
32. Trapeznikova, L. V., Monych, I. I., & Hrypta, J. V. (2013). Ecological state of surface and subsoil waters of the river Irshava basin. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 1(29), 87-93. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/2984> (in Ukrainian)
33. Roman L. Yu., & Bilynets T. B. (2014). Anthropogenic influences townships Dovhe Irshavske areas in river water quality Borzhava. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 2(32), 78-83. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/964> (in Ukrainian)
34. Nikolaichuk, V. I., Vakerich, M. M., Shpontak, J. M., & Karpu'k M. K. (2015). The current state of water resources of Transcarpathia. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.*, 23(2), 116-123. <https://doi.org/10.15421/011517> (in Ukrainian)
35. Sukharev, S. N. (2015). Determination of same heavy metals in the bottom sedimentations of the river Borzhava by electrothermal atomic absorption spectroscopy. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 1(33), 45-49. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/11140> (in Ukrainian)
36. Halla-Bobik, S. V. (2016). Recreation pressure in the national park "Zacharovany Kray". *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 2(36), 73-76. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuchem_2016_2_21 (in Ukrainian)
37. Delegan-Kokayko, S. V., Symkanich, O. I., Sukharev, S. M., Glukh, O. S., & Krch, K. L. (2018). Irshava district Dubrivka village landfill sites impact evaluation on ecological state of the surrounded territories. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 2(4), 91-96. <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2018.2.91-96> (in Ukrainian)
38. Roman, L. Yu., & Chundak, S. Yu. The monitoring of ecological state of small rivers water in the Irshava region, Zakarpattia. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series "Chemistry"*, 2(42), 105-111. <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2019.2.105-111> (in Ukrainian)
39. Sukhan, I. (2020). Seasonal variability of the hydrochemical composition of the Borzhava River waters (based on the data of the Tisa River Basin Water Resources Management for 2018). *Collection of scientific works by students of the Faculty of Geography*, (1), 89-92. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/29484> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 08.04.2024

The article is recommended for printing 25.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-05>

УДК (UDK): 502.15:911.375.1

Є. П. ТЕРТИЦЬКИЙ,

аспірант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

Навчально-наукового інституту екології

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

ЕКОЛОГІЧНА ІНФРАСТРУКТУРА ТА ЇЇ РОЛЬ У СТАЛОМУ РОЗВИТКУ МІСТ: АНАЛІЗ І ПЕРСПЕКТИВИ

Мета. Систематизувати і проаналізувати сучасні наукові дослідження та публікації щодо проблематики екологічної інфраструктури в контексті сталого розвитку міст. Головна ціль полягає в розумінні поняття «Екологічна інфраструктура» та його взаємозв'язку з концепцією сталого розвитку, а також визначенні ключових цілей сталого розвитку, які можуть бути досягнуті через оптимізацію екологічної інфраструктури.

Результати. Визначено значення концепції екологічної інфраструктури (ЕІ) для сталого розвитку міст. Окреслено різні визначення терміну "екологічна інфраструктура" та його використання в наукових дослідженнях в Україні та світі. Виявлено роль ЕІ в зменшенні впливу міст на кліматичні зміни та їх адаптації до екстремальних погодних умов. Розглянуто ключові компоненти ЕІ, такі як зелена інфраструктура (парки, сади, лісові насадження) та блакитна інфраструктура (водойми), а також їхнє значення для забезпечення екосистемних послуг та покращення якості життя мешканців міст. Проаналізовано світовий досвід у використанні ЕІ, відзначаючи різноманітні підходи та практичне застосування цих концепцій в розвинених країнах. З'ясовано, що наразі відбувається стрімкий розвиток досліджень у галузі розвитку ЕІ в світі та з фокусом на розвиток зелених просторів для підтримки екологічної стійкості міст у сучасних умовах урбанізації.

Висновки. Розробка та впровадження проекту розвитку міського середовища, сфокусованого на екологічній інфраструктурі є важливим кроком для досягнення цілей сталого розвитку. Ключовими аспектами використання концепції ЕІ для забезпечення сталого розвитку міст, і відповідно, зменшення їх екологічного впливу, різні вчені вважають органічну інтеграцію природних осередків в урбанізовану територію, дизайн і впровадження традиційних та новаторських підходів для зменшення впливу міста на екосистеми та довкілля. Таким чином, коло питань, що необхідно дослідити стосовно ЕІ включає оптимізацію її впливу на досягнення цілей сталого розвитку, а також взаємодію з місцевими спільнотами для задоволення потреб всіх груп населення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: екологічна інфраструктура, цілі ООН, зелено-блакитна інфраструктура, сталий розвиток, міське планування, екосистемні послуги, урболандшафт

Як цитувати: Тertiцкiй Є. П. Екологічна інфраструктура та її роль у сталому розвитку міст: аналіз і перспективи. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія».* 2024. Вип. 30. С. 63 – 75. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-05>

In cites: Tertytskyi, Ie. P. (2024). Ecological infrastructure and its role in sustainable urban development: analysis and perspectives. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (30), 63 -75. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-05> (in Ukrainian)

На глобальному рівні прискорений технологічний прогрес та темпи урбанізації призвели з одного боку до стрімкого економічного зростання, а з іншого – до поступової заміни природних ландшафтів міською

інфраструктурою, представленою, переважно, поверхніми водонепроникної твердої речовини. Крім того, виникли додаткові антропогенні екологічні (довкіллєві) проблеми, спричинені індустріалізацією та урбаніза-

цією, такі як острови тепла, повені та забруднення вод біогенними елементами, що безпосередньо або опосередковано загрожують стійким екосистемам та громадському благополуччю.

На локальному рівні, в Україні, внаслідок повномасштабного військового вторгнення утворилось додаткове навантаження на локальні екосистеми, спричинене масовим переміщенням населення в населені пункти, території яких не зазнали бойових дій, що виявляється в стрімкому збільшенні попиту на екосистемні послуги. Для вирішення цих серйозних екологічних та довкіллевих проблем та побудови сталих міст невідкладно потрібно знайти шляхи інтеграції або сполучення урбанізації і процесів екологічного та соціального середовища.

Екологічна інфраструктура (ЕІ), запропонована у 1984 році в програмі ЮНЕСКО "Людина і біосфера", стала важливим принципом екологічного планування міст, заснованим на дослідженнях урбанізованих екологічних систем у 14 містах світу. Концепція ЕІ визначається як використання природного ландшафту та природних зон для організації простору міста і підкреслює значення сталого використання природних ресурсів для міського розвитку [1].

Наприкінці ХХ століття, ряд розвинених країн, таких як Велика Британія, США та Швеція почали усвідомлювати потенціал урбаністичної інфраструктури для екологічного захисту та намагалися розробити плани інтеграції розвитку міст і охорони природи [2].

В цей самий період концепції екологічного відбитку (footprint) та екосистемних послуг надали методи аналізу залежності між наявними природними ресурсами та екосистемними послугами. Ці ідеї розширили розуміння взаємозв'язку між містом та еко-середовищем, що стало ідеологічною основою для розвитку концепцій і функцій ЕІ. Грамотно сплановані міські інфраструктурні системи сприяють збереженню екосистемних послуг та забезпечують здорове функціонування урбанізованих екосистем [3].

До сьогоднішнього дня, екологічна інфраструктура (ЕІ) стала складною системою з численними функціями: захист природних ресурсів і біорізноманіття, покращення якості та зв'язності зелених зон в міських районах, сприяння здоровому способу життя і поліпшення міського життя та рекреації.

Метою є систематизація і аналіз сучасних наукових досліджень та публікацій українського та іноземного походження щодо проблематики екологічної інфраструктури в контексті сталого розвитку міст. Головною ціллю є розуміння поняття «Екологічна інфраструктура» та його взаємозв'язку з концепцією сталого розвитку, визначенні ключових цілей сталого розвитку, які можуть бути досягнуті через оптимізацію екологічної інфраструктури.

Різноманітність визначень поняття «екологічна інфраструктура». Існують різні, але не суперечливі розуміння терміну «екологічна інфраструктура», що визначаються екологічними або довкіллевими проблемами, характеристиками використання земель, а також законами, обмеженнями та соціокультурними контекстами різних країн і регіонів.

Хоча ми зосередимось на контексті екологічної інфраструктури, в літературі часто зустрічаються ключові слова та терміни, які використовуються взаємозамінно з екологічною інфраструктурою (наприклад, довкіллева інфраструктура, зелено-блакитна інфраструктура, природна інфраструктура, міська екологічна інфраструктура, зелена інфраструктура, міські зелені насадження, екосистемна адаптація та природно-орієнтовані рішення) [4, 5].

Дослідження все частіше пов'язують ЕІ зі зміною клімату, що підтверджується супроводом терміну "зміна клімату" серед найпоширеніших слів у заголовках, ключових словах автора та додаткових ключових словах. Дослідники вважають ЕІ ключовим елементом для зменшення впливу зміни клімату та адаптації до неї з метою досягнення сталого розвитку, спрямовуючи зусилля на підвищення стійкості міст перед екстремальними погодними умовами [6].

В Україні. Сьогодні, дослідженням екологічної інфраструктури, впливу міського середовища на природу, урбоекологічному плануванню та дизайну присвячено чимало наукових робіт по всьому світу. В сучасних наукових дослідженнях екологічної інфраструктури в Україні спостерігається поступове формування термінологічного апарату та концептуальних підходів до вивчення цього поняття. На відміну від світової практики, де термін "екологічна інфраструктура" вживається більш загальноприйнято, в

Україні активно розглядаються аспекти зелено-блакитної інфраструктури без безпосереднього використання терміну «ЕІ».

В Україні в цій галузі здійснюються дослідження науковими установами як національного, так і міжнародного рівня. Серед них Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (Н. Максименко, Е. Кочанов, С. Бурченко, А. Клещ), Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка (Л. Царик, І. Кузик, П. Царик), Львівський національний університет імені Івана Франка (М. Назарук, Н. Блажко, В. Кучерявий), Дніпровський державний хіміко-технологічний університет (І. Трус, І. Василенко, О. Чонгова) [7], Київський національний університет імені Тараса Шевченка (П. Шищенко, О. Гавриленко), тощо.

Тернопільські науковці кафедри геоecології та методики навчання екологічних дисциплін, Л. Царик та І. Кузик, вважають, що напрям досліджень зелено-блакитної інфраструктури в Україні на сьогоднішній день лише починає формуватися і не використовують в своїй роботі термін «екологічна інфраструктура». Згідно їх висновку, дослідження зелено-блакитної інфраструктури полягають в аналізі теоретичних підходів та методологічних концепцій в контексті ландшафтного планування [8], інноваційного озеленення [9], адаптації міст до змін клімату [10], тощо. Основою зелено-блакитної інфраструктури, на прикладі міста Тернопіль, Л. Царик та І. Кузик називають локальну екомережу, до структурних елементів якої належать парки та заказники, сполучені долиною річки [11].

Назарук М., професор Львівського університету в своїй роботі дає чітке визначення терміну «екологічна інфраструктура», як соціально-екологічної підсистеми, динамічного комплексу взаємопов'язаних між собою природних, природно-антропогенних і штучних об'єктів та систем, предметів і явищ, які забезпечують умови збереження середовища життя людини. ЕІ в межах міста, на думку М. Назарука – це екологічна виробнича і соціальна інфраструктура, екологічний каркас міста і зелені коридори, екологічно реставровані ландшафти і екологічно облаштовані будинки, сприятливі життєві умови, тощо [12].

Науковці кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи, Харківського національного університету імені В. Н.

Каразіна в своїх роботах чітко розрізняють концепції зеленої та блакитної інфраструктури, зазначаючи, що обидві є оптимальним рішенням для модернізації міського простору у сучасних умовах, сприяючи досягненню цілей сталого розвитку [13] та естетичному сприйняттю території її мешканцями [14].

До об'єктів зеленої інфраструктури виділяються умовні ядра (великі зелені зони, такі як міські парки, сади, сквери, лісові насадження) та коридори (зелені насадження вздовж водоохоронних зон, лінійні захисні насадження, озеленені шляхопроводи, тощо), а до об'єктів блакитної інфраструктури в межах міста – поверхневі водойми та виходи підземних вод [15, 16]. До зеленої інфраструктури також належать різні типи насаджень: історичні сади, сучасні зелені зони зоопарку і ботанічного саду, а також громадські простори у вигляді облаштованих газонів – тобто зони відпочинку [17].

В світі. З моменту введення концепції ЕІ вона широко використовується для вирішення екологічних та довкілєвих проблем у міських умовах. В 1999 році звіт Президентської Ради з питань сталого розвитку США визначив ЕІ як стратегічний підхід до ефективного використання міських земель та покращення екологічної спроможності для підтримки благополуччя людей. В Великій Британії ЕІ більше акцентувалась на захисті довкілля, змінах клімату та трансформації старих міських районів [18]. Канадський підхід до ЕІ зосереджений на екологічному оновленні муніципальної інфраструктури, включаючи впровадження екологічних концепцій у будівництво доріг, водовідведення, міських трубопроводів та системи збору та обробки відходів.

За результатами бібліометричного аналізу літератури за 1990-2018 рр., проведеному на колекції ресурсу Web of Science, що був присвячений екологічній інфраструктурі (ЕІ) з використанням програмного забезпечення CiteSpace, спостерігається стрімке зростання кількості досліджень по темі ЕІ з початку 2000-х років. Найпопулярнішими категоріями досліджень були "Екологія" та "Екологічні науки". Основними часописами, що публікували статті по темі ЕІ стали Sustainability, Landscape and Urban Planning та Ecological Engineering. Найвищу продуктивність в галузі показали інституції зі США, Китаю, Австралії та Великої Британії [2].

Інша група вчених, що розглянула 1029 робіт по тематиці ЕІ в архівах Web of Knowledge та Scopus, виявила 852 статті, що посилались на зелену інфраструктуру, 122 – на екологічну інфраструктуру, 37 – на природну інфраструктуру, і лише 18 статей – на блакитну інфраструктуру. Ці статті охоплюють період з 1989 по 2015 рік. Хоча термін "екологічна інфраструктура" був найпоширенішим до 2004 року, після цього домінуючим став термін "зелена інфраструктура". Наприклад, у 2015 році 88,3% статей, що згадували екосистеми як інфраструктуру, використовували термін "зелена інфраструктура" [19].

Американський вчений в галузі екології і сталого розвитку D. Childers ввів термін міської екологічної інфраструктури (МЕІ), пояснюючи це тим, що традиційно інфраструктура визначається як штучно створене середовище, що включає будівлі та інші споруди. В своїх дослідженнях він робить акцент на природну інфраструктуру, тобто "природу у місті", звідки і походить термін міська екологічна інфраструктура [20].

Childers D. вважає, що оскільки в містах є водойми природні чи пошкоджені, штучні чи відновлені [21], вони всі мають структурні та функціональні характеристики, що поєднують в собі як суходутні, так і водні – вони є ефективними екотонними системами [22]. Це означає, що водойми поєднують екологічні характеристики як зеленої, так і блакитної МЕІ, проте вони унікально не є ані суходільними, ані водними. Тому науковець виділяє такі міські водойми в окрему – бірюзову МЕІ [23]. Назва походить від способу утворення бірюзового кольору – поєднанням зеленого та синього кольорів. Тобто в своєму підході D. Childers визначає концепцію МЕІ за чотирма кольорами, розрізняючи зелену, коричневу, синю і бірюзову МЕІ, оскільки кожен тип забезпечує унікальний набір екосистемних послуг, і має переваги і недоліки [20].

Дослідники з китайського університету також користуються терміном МЕІ, але визначають її, як органічну інтеграцію блакитних (водних), зелених (рослинних) і сірих (неорганічних) ландшафтів, в поєднанні з продуктами системи (витоками, продуктами очищення або переробки) та артеріями (коридорами), на екосистемному рівні [24].

Дещо більш філософський підхід до визначення ЕІ, на основі різних національ-

них розумінь запропонований дослідниками китайського інституту. Вони визначають ЕІ, як функціонально-просторово-інфраструктурне середовище. Функціонально ЕІ забезпечує комплексні екосистемні послуги для забезпечення сталого розвитку суспільства, а просторово – представляє собою багаторівневе, взаємопов'язане екологічне середовище, яке є основним просторовим каркасом для збереження екологічних процесів і захисту природних ландшафтів; інфраструктурно – ЕІ виступає як національна та регіональна система підтримки життя, сприяючи використанню екоінженерії та екотехнологій у будівництві та реконструкції міської інфраструктури [2].

Фінські науковці об'єднують урбанізовані ліси, облаштовані парки та узбережжя південних частин міста, де проживає більшість населення одним терміном – зелено-блакитна інфраструктура [25].

Польські дослідники визначають зелені простори у містах в основному, як урбанізовані парки, які утворюють зелені острови у міському пейзажі. У даному контексті зелений острів розглядається як зелена територія, оточена міською забудовою, що відповідає концепції екологічного ландшафту, що охоплює плями та матриці, що описують структуру ландшафту [26].

Важливість розвитку екологічної інфраструктури. Для міст, що проходять урбанізацію, доступ до "зелених зон", таких як сади, урбанізовані парки і ліси, є ключовим і часто недооціненим аспектом міського благополуччя [27]. Вони мають значний вплив на здоров'я і фізичне та психічне благополуччя мешканців, що проживають у містах - допомагають знижувати рівень стресу, покращувати психологічне самопочуття [28].

Наявність зелених просторів у містах є необхідною умовою для правильного функціонування міських просторів, як середовища проживання людей. Тому важливо зазначити, що їх підтримання і, наскільки це можливо, збільшення їх площі, особливо у районах з висотною забудовою та високою щільністю населення, повинно бути пріоритетом для міських управлінців. Це відповідало б тенденції до сталого формування міських просторів для збереження інтересів природи, суспільства і економіки [26].

Прогнозування таких параметрів, як популяція та транспорт, які накладають навантаження на ЕІ, ускладнене високою комплексністю міської забудови, що призводить до пасивного та негнучкого розвитку ЕІ. Планування ЕІ повинне враховувати функціональність та переваги екологічних ресурсів, зосереджуючи увагу на координації між екологічним захистом і різними зацікавленими сторонами, такими як громадські організації, інвестори та урядові структури. Будівництво ЕІ повинне пристосовуватися до змін міських середовищ і потреб стейкхолдерів, тому, в подальшому, дослідження в галузі мають зосереджуватися на вирішенні поточних недосконалостей екофункцій і дисбалансу географічного розподілу ЕІ [29].

Проект розвитку міського середовища, спрямований на екологічну інфраструктуру, є складною концепцією, що координує планування, дизайн і реалізацію традиційної інфраструктури. Цей проект впроваджує нові методи для зменшення сукупного впливу міської інфраструктури на функції і послуги екосистем та природні ресурси, зокрема відновлюючи цілісність екосистемної складової і забезпечуючи екологічні процеси і законірності, а також враховуючи будівельну технологічність та соціально-економічні цілі. Планування дизайну екологічної інфраструктури акцентує на інтеграції екологічних ідей у міське планування, з урахуванням неминучих екологічних втрат від розширення міста, необхідного для забезпечення цілісності структури і функцій екосистем, а також для надання екосистемних послуг, важливих для сталого розвитку [2, 30].

Зі швидким зростанням міського середовища, набуло необхідності забезпечення рівноваги між будівництвом міської екологічної інфраструктури та задоволенням екологічних потреб мешканців, що стало складною задачею для сталого розвитку [31].

На основі багатовимірних перспектив ЕІ потрібно враховувати не лише раціональні фактори, такі як фізичні географічні умови, архітектурні технології та будівельні цілі, але й звертати увагу на культурні та естетичні особливості міст. Варто зазначити, що стандартизація дизайну ЕІ негативно вплине на ефективність будівництва, тож концепція ЕІ має поважати існуюче природне середовище і пропагувати захист

природної краси від антропогенного впливу [2]. Існує велика імовірність, що цей напрям стане актуальним для подальших наукових досліджень в галузі ЕІ.

Цілі сталого розвитку та їх взаємозв'язок з оптимізацією екологічної інфраструктури. В містах, де розглядаються нові підходи до розвитку інфраструктури, природо-орієнтовані рішення (такі, як зелені дахи) стали важливою альтернативою традиційним підходам [32]. Вони включають впровадження нових інфраструктурних рішень (таких, як велодоріжки) для вирішення проблем, пов'язаних зі зміною клімату, збільшенням стійкості екосистем, покращенням благополуччя людей і здоров'я. Вони охоплюють дії, натхненні, підтримані або відтворені природою [33, 34], використовуючи різноманітні природні характеристики та процеси ефективно та збалансовано. Ці рішення адаптовані до місцевих систем на різних масштабах, перевіряють роль природи в урбанізованих, сільських та природних середовищах, і забезпечують багато переваг та підтримують сталий розвиток, відповідаючи соціальним, екологічним і економічним вимогам.

Сталий розвиток – концепція розвитку, що відповідає амбіціям людства в досягненні кращого рівня життя, з урахуванням обмежень, накладених природою. У 2015 році Генеральна Асамблея ООН схвалила 17 цілей сталого розвитку (ЦСР), метою яких є реалізація та інтеграція сталих підходів в організаціях, щоб відповідати потребам сучасних і майбутніх зацікавлених сторін і забезпечити краще та сталі майбутні для всіх, збалансувавши економічний, соціальний та екологічний розвиток (рис. 1).

ЦСР є спільним висловленням потреб учасників на глобальному рівні, збалансованим між економічним, соціальним та екологічним розвитком [36]. 17 ЦСР включають широкий спектр тем, від подолання світової бідності до негайних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та її впливами до 2030 року, і описані в документі ООН «Перетворення нашого світу: план для досягнення сталого розвитку до 2030 р.» та на платформі Цілей сталого розвитку ООН [37].

Діаграма розподілу ЦСР по категоріям (рис. 2) показує біосферу як основу для економічного і суспільного добробуту, тобто як основу всіх ЦСР. Це відповідає одній з



Рис. 1 – Глобальні цілі сталого розвитку до 2030 року [35]
Fig. 1 – 2030 global goals of sustainable development [35]



Рис. 2 – Розподіл 17 ЦСР по категоріям [39]
Fig. 2 – Split of 17 SDGs into categories [39]

основних цілей Концепції сталого розвитку — передати наступному поколінню планетарну біосферу у такому стані, що забезпечує нормальні умови проживання, зберігаючи її екологічні, біологічні та природні ресурси [38].

Таке уявлення ухвалює інтегрований погляд на соціальний, економічний і екологічний розвиток. Зважаючи на важливість дослідження взаємозв'язків між розбудовою комфортних міст та досягненнями ЦСР, розглянемо, як впровадження ЕІ в містах може

сприяти або завадити досягненню цілей ЦСР та яких саме.

Незважаючи на велику кількість досліджень з питань розвитку розумних міст, до недавнього часу майже не проводилось досліджень, що вивчають взаємозв'язки між розбудовою розумних міст та досягненнями ЦСР. Іншими словами, питання а як саме впровадження рішень для розумного міста може допомогти в досягненні ЦСР, було досліджено в досить обмеженій кількості.

Міжнародна спільнота науковців на чолі з А. Sharifi визначили, що література в основному зосереджена на ЦСР 11 (Сталий розвиток міста та спільнот), ЦСР 12 (Відповідальне споживання та виробництво), ЦСР 7 (Відновлювальна енергія) і ЦСР 6 (Чиста вода та належні санітарні умови). Їх дослідження підкреслює тенденцію звітування про позитивний вплив розумних міст, одночасно визнаючи потенційні негативні наслідки, такі як проблеми з конфіденційністю та високі витрати на інфраструктуру. Подолання цих викликів вимагає надійних механізмів управління та залучення зацікавлених сторін для забезпечення збалансованого зростання та інклюзивності [40].

За результатами дослідження 100 європейських міст норвезьким інститутом кліматичних та екологічних досліджень, такі міста як Лондон, Стокгольм, Мілан, Осло, Берген, Ставангер і Тронгейм, здійснюють вагомі кроки у напрямку сталого розвитку за допомогою ряду заходів, що сприяють покращенню якості повітря у містах (ЦСР 3) та сприяють здоров'ю та благополуччю громадян (ЦСР 3, ЦСР 11) [41].

Австралійські дослідники встановили, що система показників досягнення ЦСР налічує 244 індикатори по 17 цілях. Досліджуючи роль міст в досягненні ЦСР, було виявлено, що 27 з 244 (11%) індикаторів стосуються планування міст і здоров'я населення. 33% з них належать до ЦСР 11 – (Сталий розвиток міста та спільнот). 22% індикаторів планування міст і здоров'я походять з ЦСР 3, а 14% – з ЦСР 16. По 7%, відповідно, припадає на ЦСР 2, ЦСР 6 і ЦСР 9 [42].

На думку групи іспанських науковців на чолі з R. V. Науа, що досліджували якість громадських просторів та досягнення ЦСР в трьох іспанських містах, існує консенсус щодо використання моделей міст, які відповідають цим цілям, що полягає у компактності, поліцентричності та якості громадських просторів. Основною ціллю вони вбачають досягнення ЦСР 11 та підкреслюють необхідність створення безпечних, інклюзивних, зелених та доступних для всіх громадських просторів [43].

Як видно з аналізу літератури, переважно науковці сходяться на думці, що роль міст та впровадження екологічної інфраструктури в містах головним чином вплине на виконання ЦСР 11 (спрямованої на створення інклюзивних, безпечних, стійких та сталих міст і людських поселень). Серед

індикаторів ЦСР 11 до 2030 року [37] приведені такі цілі:

11.1 Забезпечити доступність житла і послуг.

11.2 Забезпечити доступ до безпечних, сталих і екологічно стійких транспортних систем для всіх, покращивши безпеку дорожнього руху і розширивши систему громадського транспорту.

11.3 Розширити урбанізацію, що сприяє інклюзивному і сталому плануванню населених пунктів і управлінню ними.

11.4 Зміцнити заходи з охорони світової культурної і природної спадщини.

11.5 Суттєво зменшити смертність і кількість постраждалих від надзвичайних ситуацій.

11.6 Зменшити негативний екологічний вплив міст на одиницю населення, зокрема якість повітря і управління відходами.

11.7 Забезпечити загальний доступ до зелених і громадських просторів, особливо для вразливих груп населення.

11.A Підтримувати економічні, соціальні і екологічні зв'язки між міськими, передміськими і сільськими районами.

11.B Збільшити кількість міст, що впроваджують інтегровані стратегії та плани.

11.C Підтримувати найменш розвинені країни у будівництві сталі і стійких будівель.

Впровадження екологічної інфраструктури у містах має потенціал допомогти в досягненні декількох цілей ЦСР 11 до 2030 року. Зокрема, заходи з розвитку сталого житла та урбанізації можуть сприяти забезпеченню доступу до безпечного і доступного житла (ЦСР 11.1) і сталих транспортних систем (ЦСР 11.2). Окремі ініціативи, такі як створення зелених і громадських просторів (ЦСР 11.7) можуть позитивно впливати на якість повітря та екологічний вплив міст (ЦСР 11.6) на всі групи населення [5]. Інтегровані стратегії та плани, впроваджені в містах (ЦСР 11.B) сприятимуть підтримці економічних, соціальних і екологічних зв'язків між різними районами. Таким чином, екологічна інфраструктура є важливим інструментом для забезпечення сталого розвитку міст і поліпшення якості життя їхніх мешканців.

Резюмуючи, зазначимо, що впровадження екологічно стійких транспортних систем, збільшення доступу до зелених і громадських просторів, а також зменшення негативного екологічного впливу міст сприяють досягненню цілей щодо забезпечення безпеки, сталості і інклюзивності міського

середовища. Це також сприятиме зменшенню економічних втрат від лих і

покращить якість життя мешканців, особливо вразливих груп населення.

Висновки

Аналіз досліджень і практичних прикладів та огляд літератури свідчить про важливість розробки та впровадження екологічної інфраструктури у містах для досягнення Цілей сталого розвитку (ЦСР). Екологічна інфраструктура, яка включає зелені та громадські простори, блакитні зони, стійкі транспортні системи та управління відходами, є важливим чинником для зменшення екологічного впливу міст та покращення якості середовища для мешканців.

Дослідження показали, що ефективна екологічна інфраструктура сприяє досягненню конкретних ЦСР, зокрема ЦСР 11 (Сталий розвиток міста та спільнот), ЦСР 3 (Здоров'я та добробут) та ЦСР 7 (Відновлювальна енергія). Вона підтримує створення безпечних та доступних для всіх громад-

ських просторів, зменшує негативний екологічний вплив міст та сприяє інклюзивному та сталому розвитку міських областей.

З метою оптимізації позитивного впливу екологічної інфраструктури на досягнення ЦСР, важливо розробляти імплементаційні стратегії, що враховують місцеві особливості та потреби міст. Це вимагає активного управління та взаємодії між різними зацікавленими сторонами для забезпечення сталого розвитку міст і поліпшення якості життя населення. Екологічна інфраструктура у містах є ключовим інструментом для досягнення Цілей сталого розвитку, сприяючи забезпеченню безпеки, сталості та інклюзивності міського середовища в масштабах глобальних цілей до 2030 року.

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. Ishwaran N. Science in intergovernmental environmental relations: 40 years of UNESCO's Man and the Biosphere (MAB) Programme and its future. *Environmental Development*. 2012. Vol.1. №1. P. 91-101. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211464511000029?via%3Dihub>
2. Sun S., & Jiang Y. Research on Ecological Infrastructure from 1990 to 2018: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*. 2020. Vol. 6. № 2304. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12062304>
3. Andersson E., Barthel S., Borgström S. Reconnecting Cities to the Biosphere: Stewardship of Green Infrastructure and Urban Ecosystem Services. *AMBIO*. 2014. Vol. 43. P.445–453. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y>
4. Rasmussen L. V., Fold, N., Olesen, R. S., Shackleton, S. Socio-economic outcomes of ecological infrastructure investments. *Ecosystem Services*. 2021. Vol. 47. № 101242. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212041620301844>
5. Шищенко П.Г., Гавриленко О.П., Циганок Є.Ю. Доступність зелених зон в умовах компактного міста (на прикладі Києва). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. Вип. 55. С. 245-256. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18>
6. Demuzere M., Orru K., Heidrich O. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*. 2014. Вип.146. С.107-115. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479714003740>
7. Щерба В., Пилипович, О. Екологічна інфраструктура як інструмент досягнення сталого розвитку у містах. *Географічна освіта і наука: виклики і поступ: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 140-річчю географії у Львівському університеті*. 2023. Вип. 3. 68-72. URL: <https://www.researchgate.net/publication/371012874>
8. Максименко, Н. Ландшафтно-екологічне планування, як підґрунтя управлінських рішень про надання екосистемних послуг. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2016. Вип. 45. 153-158. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoecco/article/view/8192/7666>

9. Гречко А. А. Досвід та переваги застосування зелених дахів як елементу зеленої інфраструктури. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2022. Вип. 26. С.32-42. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-03>
10. Рубан Л. Адаптаційна модель «блакитно-зеленої» інфраструктури міста. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2018. Вип. 52. 230-237. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/items/bc796d54-624d-46e9-98be-8520f4b8a56b>
11. Царик Л., Кузик І. Геоекологічні особливості зелено-блакитної інфраструктури міста Тернопіль. *Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія / За ред. Н. В. Максименко, А. Д. Шкаруба, Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. С.172-186. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/27657/1/Tsaryk_Kuzyk.pdf*
12. Назарук М. Міська екологічна інфраструктура – матеріальна основа гармонійного соціально-екологічного середовища. *Вісник Львівського університету. Серія географія*. 2010. Вип. 38. 238-242. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/2274/2332>
13. Максименко Н., Бурченко С., & Уткіна К. Вплив зеленої інфраструктури на якість поверхневого стоку (на прикладі зелених дахів у м.Харків). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. Вип. 55. 274-284. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/18405/16748>
14. Максименко Н., Гололобова О. О. Еколого-естетичні аспекти організації територій суспільного використання засобами зеленої інфраструктури. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2023. Вип. 39. С. 98-108. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-09>
15. Максименко Н., Пересадько В. Поверхневі водойми і джерела, як складові блакитної інфраструктури м.Харків. *Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4: колективна монографія / За ред. Н. В. Максименко, А. Д. Шкаруба, Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. 216-229. URL: https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2022/12/kolektivna_monografija_zeleno_blaikitna_infrastruktura_v_mistah_postradjanskogo.pdf*
16. Максименко Н., Бурченко С., Кочанов Е. Особливості організації зеленої інфраструктури міста Харків. *Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія / За ред. Н. В. Максименко, А. Д. Шкаруба, Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. 125-154. URL: https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2022/12/kolektivna_monografija_zeleno_blaikitna_infrastruktura_v_mistah_postradjanskogo.pdf*
17. Добронос П., Максименко Н. Оцінка забезпеченості населення зеленою інфраструктурою у м. Прага (Чехія). *Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи: зб. тез доповідей II Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 23 березня 2023 року)*, 20. URL: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/17836>
18. Tu F. Research on Urban Ecological Infrastructure Construction: An Example of Tianjin. Beijing, China. *Social Sciences Academic Press*. 2018. URL: <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/2/208>
19. Silva J., Wheeler E. Ecosystems as infrastructure. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2017. Vol.15(1), 32-35. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1679007316300767>
20. Childers D., Bois P., Hartnett H., McPhearson T. Urban Ecological Infrastructure: An inclusive concept for the non-built urban environment. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 2019. Vol. 7(46). URL: <https://online.ucpress.edu/elementa/article/doi/10.1525/elementa.385/112509/Urban-Ecological-Infrastructure-An-inclusive>
21. Palta M., Grimm N., Groffman P. “Accidental” urban wetlands: ecosystem functions in unexpected places. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2017. Vol.15. N 5. P. 248-256. URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.1494>
22. Mitsch W., Gosselink J. *Wetlands*. New York: John Wiley & Sons. 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/271643179_Wetlands_5th_edition
23. Childers D., Cadenasso M., Grove J., Marshall V. An Ecology for Cities: A Transformational Nexus of Design and Ecology to Advance Climate Change Resilience and Urban Sustainability. *Sustainability*. 2015. Vol. 7. N 4. P. 3774-3791. DOI: <https://doi.org/10.3390/su7043774>
24. Li F., Liu X., Zhang X. Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 163, S12-S18. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616002560>
25. Kajosaari A., Hasanzadeh K. Predicting context-sensitive urban green space quality to support urban green infrastructure planning. *Landscape and Urban Planning*. 2024. Vol.242. 104952. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104952>

26. Pukowiec-Kurda, K. The urban ecosystem services index as a new indicator for sustainable urban planning and human well-being in cities. *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 144. 109532. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X22010056?via%3Dihub>
27. Bille, R. A. Global patterns in urban green space are strongly linked to human development and population density. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2023. Vol. 86. 127980. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866723001516>
28. Максименко Н., Тітенко Г., Александрова Д. 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. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/21946/20334>
29. Hegetschweiler K., Vries, S, Arnberger A., Bell S. Linking demand and supply factors in identifying cultural ecosystem services of urban green infrastructures: A review of European studies. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. Vol. 21. 48-59. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866716302734?via%3Dihub>
30. Pioch S., Relini G., Souche J., Stive M. Enhancing eco-engineering of coastal infrastructure with eco-design: Moving from mitigation to integration. *Ecological Engineering*, 2018. Vol. 120. 574-584. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857418301976?via%3Dihub>
31. Zhang D., Li Z. A framework for prioritizing urban ecological infrastructure (UEI) implementation tasks based on residents' ecological demands and government policies. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 354 (120369). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479724003554>
32. Fink H. Human-Nature for Climate Action: Nature-Based Solutions for Urban Sustainability. *Sustainability*. 2016. Vol. 8(254). DOI: <https://doi.org/10.3390/su8030254>
33. Cohen-Shacham E., Walters G., Janzen C., Maginnis S. Nature-Based Solutions to Address Societal Challenges. 2016. Gland, Switzerland: IUCN. URL: https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_93FD38C8836B.P001/REF
34. Štrbac S., Kašanin-Grubin M., Pezo L., Stojić N., Lončar B., Ćurčić L., Pucarević M. Green Infrastructure Designed through Nature-Based Solutions for Sustainable Urban Development. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023. Vol.20 (1102). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20021102>
35. Цілі сталого розвитку. *Офіційний портал Організації Об'єднаних Націй в Україні*. 2024. URL: <https://ukraine.un.org/uk/sdgs>
36. Fonseca L., Carvalho F. The Reporting of SDGs by Quality, Environmental, and Occupational Health and Safety-Certified Organizations. *Sustainability*. 2019. Vol.11. 5797. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11205797>
37. Цілі сталого розвитку. *Sustainable Development Goals Platform*. 2019. URL: <https://sdgs.un.org/partnerships>
38. Кравченко К.О. До питання дослідження геоекологічних проблем урбанізаційних процесів у аспекті концепції стійкого розвитку. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2022. Вип. 38. С. 6-19. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-38-01>
39. Stockholm Resilience Centre. Stockholm University. 2016. URL: <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html>
40. Sharifi A., Allam Z., Bibri S., Khavarian-Garmsir A. Smart cities and sustainable development goals (SDGs): A systematic literature review of co-benefits and trade-offs. *Cities*. 2024. Vol.146/ 104659. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275123004717>
41. Liu H.-Y., Ahmed S., Passani A., Bartonova A. Understanding the role of cities and citizen science in advancing sustainable development goals across Europe: insights from European research framework projects. *Front. Sustain. Cities*. 2023. Vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.3389/frsc.2023.1219768>
42. Giles-Cort B., Lowe M., Arundel J. Achieving the SDGs: Evaluating indicators to be used to benchmark and monitor progress towards creating healthy and sustainable cities. *Health Policy*. 2020. Vol.124. N 6. P.581-590. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016885101830441X>
43. Naya R., Nicolás P, Medina C. Quality of public space and sustainable development goals: analysis of nine urban projects in Spanish cities. *Frontiers of Architectural Research*. 2023. Vol.12. N 3. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263523000067>

Стаття надійшла до редакції 12.04.2024

Стаття рекомендована до друку 27.05.2024

Ie. P. TERTYTSKYI, PhD student

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

ECOLOGICAL INFRASTRUCTURE AND ITS ROLE IN SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT: ANALYSIS AND PERSPECTIVES

Purpose. To systematize and analyze contemporary scientific research and publications on the topic of ecological infrastructure in the context of sustainable urban development. The main goal is to define the concept of "Ecological Infrastructure" and its interrelation with the concept of sustainable development, as well as to identify key sustainable development goals that can be achieved through optimizing ecological infrastructure.

Results. This article explores the significance of ecological infrastructure (EI) for sustainable urban development, various definitions of "ecological infrastructure" and its use in scientific research in Ukraine and globally. The role of EI in reducing cities' impact on climate change and their adaptation to extreme weather conditions is identified. The article examines key components of EI such as green infrastructure (parks, gardens, forests) and blue infrastructure (water bodies), emphasizing their importance in providing ecosystem services and improving residents' quality of life. Global experiences in EI utilization are analyzed, highlighting diverse approaches and practical applications of these concepts in developed countries. It is worth noting that there is rapid development in EI research worldwide, focusing on developing green spaces to support ecological resilience of cities in modern urbanization conditions.

Conclusions. The development and implementation of urban environment projects focused on ecological infrastructure are crucial steps towards achieving sustainable development goals. Key aspect of using the EI concept is to ensure sustainable urban development, and consequently reducing cities' environmental impact, include the organic integration of natural habitats into urbanized areas, design, and implementation of both traditional and innovative approaches to reduce the city's footprint on ecosystems and the environment. Thus, the scope of issues requiring further research on EI includes optimizing its impact on achieving sustainable development goals and engaging with local communities to meet the needs of all population groups.

KEYWORDS: *ecological infrastructure, UN goals, green-blue infrastructure, sustainable development, urban planning, ecosystem services, urban landscape*

References

1. Ishwaran, N. (2012). Science in intergovernmental environmental relations: 40 years of UNESCO's Man and the Biosphere (MAB) Programme and its future. *Environmental Development*, 1(1), 91-101. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211464511000029?via%3Dihub>
2. Sun, S., & Jiang, Y. (2020). Research on Ecological Infrastructure from 1990 to 2018: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 6 (2304). <https://doi.org/10.3390/su12062304>
3. Andersson, E., Barthel, S., & Borgström, S. (2014). Reconnecting Cities to the Biosphere: Stewardship of Green Infrastructure and Urban Ecosystem Services. *AMBIO*, 43, 445–453. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y>
4. Rasmussen, L. V., Fold, N., Olesen, R. S., & Shackleton, S. (2021). Socio-economic outcomes of ecological infrastructure investments. *Ecosystem Services*, 47(101242). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212041620301844>
5. Shyshchenko P.H., Havrylenko O.P., Tsyhanok Ye.Yu. (2021). Accessibility of green spaces in the conditions of a compact city: case study of Kyiv. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 245-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18> (in Ukrainian)
6. Demuzere, M., Orru, K., & Heidrich, O. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 146, 107-115. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479714003740>
7. Shcherba, V., & Pylypovych, O. (2023). Ecological infrastructure as a tool for achieving sustainable development in cities. *Geographic Education and Science: Challenges and Progress: Proceedings of the international scientific-practical conference dedicated to the 140th anniversary of geography at Lviv University*, 3, 68-72. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/371012874> (in Ukrainian)
8. Maksymenko, N. (2016). Landscape-ecological planning as a basis for management decisions on providing ecosystem services. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (45), 153-158. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8192/7666> (in Ukrainian)

9. Hrechko A. A. (2022). Experience and benefits of using green roofs as an element of 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)
10. Ruban, L. (2018). Adaptive model of "blue-green" infrastructure of the city. *Modern Problems of Architecture and Urban Planning*, (52), 230-237. Retrieved from <https://repository.knuba.edu.ua/items/bc796d54-624d-46e9-98be-8520f4b8a56b> (in Ukrainian)
11. Tsaryk, L., & Kuzik, I. (2022). Geoecological features of the green-blue infrastructure of Ternopil city. Green-blue infrastructure in the cities of the post-Soviet space: studying heritage and connecting to the experience of V4 countries : collective monograph. In Maksymenko N. V., & Shkaruba (Eds). 172-186. Retrieved from http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/27657/1/Tsaryk_Kuzyk_A.D.pdf (in Ukrainian)
12. Nazaruk, M. (2010). Urban ecological infrastructure -the Material Basis of a Harmonious Socio-Ecological Environment. *Visnyk of Lviv University. Geography series* (38), 238-242. Retrieved from <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/2274/2332> (in Ukrainian)
13. Maksymenko N.V., Burchenko, S.V., Utkina K.B., Buhakova M.V.(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> (in Ukrainian)
14. 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 Neoecology*, (39), 98-108. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-09> (in Ukrainian)
15. Maksymenko, N., & Peresadko, V. (2022). Surface bodies as spring components of the blue infrastructure of Kharkiv. *Green-blue infrastructure in the post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience: collective monograph; ed. by N. V. Maksymenko, A. D. Shkaruba*, 216-229. Retrieved from https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2022/12/kolektivna_monografija_zeleno_blakitna_infrastruktura_v_mistah_postradjanskogo.pdf (in Ukrainian)
16. Maksymenko, N., Burchenko, S., & Kochanov, E. (2022). Features of the organization of the green infrastructure of the Kharkiv city. *Green-blue infrastructure in the post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience: collective monograph; In Maksymenko N. V., & Shkaruba (Eds)*. 125-154. Retrieved from https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2022/12/kolektivna_monografija_zeleno_blakitna_infrastruktura_v_mistah_postradjanskogo.pdf (in Ukrainian)
17. Dobronos, P., & Maksymenko, N. (2023). Assessment of population access to green infrastructure in Prague (Czech Republic). *Current Issues in Formal and Informal Environmental Education Monitoring and Conservation: Collection of Abstracts of the II International Online Conference* (Kharkiv, March 23, 2023), 20. Retrieved from <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/17836> (in Ukrainian)
18. Tu, F. (2018). Research on Urban Ecological Infrastructure Construction: An Example of Tianjin. Beijing, China. *Social Sciences Academic Press*. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/2/208>
19. Silva, J. M., & Wheeler, E. (2017). Ecosystems as infrastructure. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(1), 32-35. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1679007316300767>
20. Childers, D. L., Bois, P., Hartnett, H. E., & McPhearson, T. (2019). Urban Ecological Infrastructure: An inclusive concept for the non-built urban environment. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 7(46). Retrieved from: <https://online.ucpress.edu/elementa/article/doi/10.1525/elementa.385/112509/Urban-Ecological-Infrastructure-An-inclusive>
21. Palta, M. M., Grimm, N. B., & Groffman, P. M. (2017). "Accidental" urban wetlands: ecosystem functions in unexpected places. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(5), 248-256. Retrieved from <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.1494>
22. Mitsch, W., & Gosselink, J. (2015). *Wetlands*. New York: John Wiley & Sons. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/271643179_Wetlands_5th_edition
23. Childers, D., Cadenasso, M., Grove, J., & Marshall, V. (2015). An Ecology for Cities: A Transformational Nexus of Design and Ecology to Advance Climate Change Resilience and Urban Sustainability. *Sustainability*, 7(4), 3774-3791. <https://doi.org/10.3390/su7043774>
24. Li, F., Liu, X., & Zhang, X. (2017). Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. *Journal of Cleaner Production*, 163, S12-S18. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616002560>
25. Kajosaari, A., & Hasanzadeh, K. (2024). Predicting context-sensitive urban green space quality to support urban green infrastructure planning. *Landscape and Urban Planning*, 242(104952). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104952>
26. Pukowiec-Kurda, K. (2022). The urban ecosystem services index as a new indicator for sustainable urban planning and human well-being in cities. *Ecological Indicators*, 144(109532). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X22010056?via%3Dihub>

27. Bille, R. A. (2023). Global patterns in urban green space are strongly linked to human development and population density. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86(127980). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866723001516>
28. 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)
29. Hegetschweiler, K. T., Vries, S. d., Arnberger, A., & Bell, S. (2017). Linking demand and supply factors in identifying cultural ecosystem services of urban green infrastructures: A review of European studies. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 48-59. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866716302734?via%3Dihub>
30. Pioch, S., Relini, G., Souche, J., & Stive, M. (2018). Enhancing eco-engineering of coastal infrastructure with eco-design: Moving from mitigation to integration. *Ecological Engineering*, 120, 574-584. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857418301976?via%3Dihub>
31. Zhang, D., & Li, Z. (2024). A framework for prioritizing urban ecological infrastructure (UEI) implementation tasks based on residents' ecological demands and government policies. *Journal of Environmental Management*, 354(120369). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479724003554>
32. Fink, H. S. (2016). Human-Nature for Climate Action: Nature-Based Solutions for Urban Sustainability. *Sustainability*, 8(254). <https://doi.org/10.3390/su8030254>
33. Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-Based Solutions to Address Societal Challenges. Gland, Switzerland: IUCN. Retrieved from https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_93FD38C8836B.P001/REF
34. Štrbac, S., Kašanin-Grubin, M., Pezo, L., Stojić, N., Lončar, B., Čurčić, L., & Pucarević, M. (2023). Green Infrastructure Designed through Nature-Based Solutions for Sustainable Urban Development. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20(1102). <https://doi.org/10.3390/ijerph20021102>
35. United nations official web resource in Ukraine. Retrieved from <https://ukraine.un.org/uk/sdgs>
36. Fonseca, L., & Carvalho, F. (2019). The Reporting of SDGs by Quality, Environmental, and Occupational Health and Safety-Certified Organizations. *Sustainability*, 11(5797). <https://doi.org/10.3390/su11205797>
37. *UN-SDGs. United Nations Sustainable Development Goals Platform*. (2019). Retrieved from <https://sdgs.un.org/partnerships>
38. Kravchenko, K.O. (2022). To the question of research of geo-ecological problems of urbanization processes in the aspect of the concept of sustainable development. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (38), 6-19. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2022-38-01> (in Ukrainian)
39. *Stockholm Resilience Centre*. Stockholm University. (2016) Retrieved from <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html>
40. Sharifi, A., Allam, Z., Bibri, S. E., & Khavarian-Garmsir, A. R. (2024). Smart cities and sustainable development goals (SDGs): A systematic literature review of co-benefits and trade-offs. *Cities*, 146(104659). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275123004717>
41. Liu, H.-Y., Ahmed, S., Passani, A., & Bartonova, A. (2023). Understanding the role of cities and citizen science in advancing sustainable development goals across Europe: insights from European research framework projects. *Front. Sustain. Cities*, 5. <https://doi.org/10.3389/frsc.2023.1219768>
42. Giles-Corti, B., Lowe, M., & Arundel, J. (2020). Achieving the SDGs: Evaluating indicators to be used to benchmark and monitor progress towards creating healthy and sustainable cities. *Health Policy*, 124(6), 581-590. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016885101830441X>
43. Naya, R. B., Nicolás, P. d., & Medina, C. D. (2023). Quality of public space and sustainable development goals: analysis of nine urban projects in Spanish cities. *Frontiers of Architectural Research*, 12(3). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263523000067>

The article was received by the editors 12.04.2024
The article is recommended for printing 27.05.2024

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-06>

УДК (UDC): 504.055

Л. Ф. ЧОРНОГОР¹, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
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

ВПЛИВ ЯВИЩА ЕЛЬ-НІНЬО НА ВИНИКНЕННЯ МАСШТАБНИХ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ ТА ЇХНІ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ

Частота та інтенсивність лісових пожеж рік від року зростає. Це пов'язано із глобальним потеплінням, пов'язаним як з природними, так і з антропогенними явищами і процесами. Існує й інший механізм глобального впливу на кліматичні зміни, аномально високу літню температуру, силу та частоту посухи, інтенсивність і частоту лісових пожеж і їхніх наслідків. Він пов'язаний з унікальним, циклічним, природним явищем Ель-Ніньйо. Не можна виключати можливість впливу цього явища на інтенсивність великомасштабних лісових пожеж та їхніх екологічних наслідків, відповідно аналізу цих процесів та кількісної їх оцінки. Є підстави вважати, що явище може впливати на інтенсивність і частоту лісових пожеж у країнах, що знаходяться неподалік від нього. Такою країною є, зокрема, Чилі, де щорічно спостерігаються інтенсивні лісові пожежі. Їхня інтенсивність порівнюється з інтенсивністю рекордних пожеж в Україні у 2020 р.

Мета. Порівняльна оцінка екологічних наслідків великомасштабних лісових пожеж, стимульованих природними та антропогенними впливами (на прикладі України та Чилі у 2014–2024 рр.)

Методи. Системний аналіз низки супроводжуваних процесів, математичне моделювання та теоретичні розрахунки. Розроблено методику оцінки екологічних наслідків пожеж і вигорання будівель у населених пунктах.

Результати. Площі пожеж у 2017 та 2023 рр. сягали 0,5 млн га в Чилі. Викиди диму наближались до 10 Мт, що у сто тисяч разів перевищувало норму. Близько 0,5 Гт були викиди вуглекислоти. Вони у 200 разів перевищили фонове значення на території пожеж. Емісія сажі, чадного газу та вуглеводнів перевищила норму відповідно у 120 тис., 4 тис. і 160 разів. Викиди мікрочастинок РМ_{2,5} та поліароматичних вуглеводнів перевищували норму відповідно в 40 разів та більше ніж в мільйон разів. Емісія оксидів азоту та сірки перевищували норму відповідно у 3 тис. та 400–800 разів. Енергія горіння перевищувала 2 тис. ПДж, а середня потужність горіння – 1 ТВт. Енергія акустичного випромінювання, що сягала 7 ПДж, перевищувала фонове значення більше ніж в 1000 разів. В той же час потужність цього випромінювання перевищувала норму більше ніж у сто тисяч разів і складала близько 700 ГВт. Найбільшими були викиди N, що сягали 1–10 Мт. Значною була емісія K, Ca, Fe, Zn, Sr та Br. На порядки меншими були викиди інших хімічних елементів. Побудова математичних моделей надала можливість обчислити концентрацію та масу емітованих шкідливих речовин при горінні населених пунктів, спровокованому лісовими пожежами. Вперше встановлено, що викиди речовин при цьому можуть бути значними. Вперше обґрунтовано необхідність врахування впливу, обчислено масу та концентрацію мікронних частинок диму та поліароматичних вуглеводнів, що призводять відповідно до захворювання дихальних шляхів, серцево судинної системи та онкологічних захворювань жителів всієї країни та за її межами. Оцінено викиди оксидів азоту та сірки, що стимулюють появу кислотних дощів. Порівняльний аналіз характеристик і наслідків пожеж лісових масивів показав, що у Чилі у 2017 та 2023 рр. були значно (майже -



у 20 разів) та у лютому 2024 р. масштабнішими, ніж рекордні за своїми показниками і наслідками пожежі в Україні у 2020 р.

Висновки. Математичне моделювання та обчислення показали, що екологічні наслідки горіння великих лісових масивів і забудов у Чилі в 2023–2024 рр. були катастрофічними. Вони супроводжувалися активізацією явища Ель-Ніньйо. Не менш масштабними були екологічні наслідки лісових пожеж у Чилі в 2017 р., викликані найбільшим спекотним на той час літом. Масштаби пожеж у Чилі та їхні наслідки в багатьох разів перевищували відповідні показники рекордних пожеж в Україні в 2020 р.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: лісова пожежа, горіння будівель, енергетика пожежі, викиди продуктів горіння, енергетика акустичного випромінювання, екологічні наслідки

Як цитувати: Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л. Вплив явища Ель-Ніньйо на виникнення масштабних лісових пожеж та їхні екологічні наслідки. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразін. Серія «Екологія»*. 2024. Вип. 30. С. 76–90. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-06>

In cites: Chernogor, L. F., Nekos, A. N., Titenko, G. V., & Chornohor, L. L. (2024). The influence of the El Niño phenomenon on appearance of large-scale forest fires and their ecological consequences. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (30), 76 - 90. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-06> (in Ukrainian)

Вступ

У 1950-ті роки в США з'явилася нова наука, що отримала назву лісова пірологія. Ця наука закликає вивчати природу лісових пожеж, їхній вплив на екосистеми, спричинені втрати, заходи щодо попередження та боротьби з лісовими пожежами тощо. Великомасштабні лісові пожежі – катастрофічне явище на планеті [1–3]. Щороку такі пожежі знищують від 40 до 200 млн га з 4 млрд га лісових масивів і 8,8–44 км³ деревини. Економічні збитки сягають від 40 до 200 млрд доларів США. Під час лісових пожеж щорічно на планеті гинуть сотні людей, велика кількість тварин, птахів та інша живність. Все це означає, що великомасштабні лісові пожежі мають значні екологічні, економічні та соціальні наслідки. Лісовим пожежам традиційно приділяється велика увага [4–17].

Важливо, що частота та інтенсивність лісових пожеж в останні десятиліття невпинно зростає. Так, згідно прогнозу ООН кількість великомасштабних пожеж, яких зараз в світі 200–350 тисяч щорічно, в 2030, 2050 та 2100 роках зросте на 14, 30 та 50% відповідно. Головна причина цієї сумної статистики – глобальне потепління [4]. Завдяки цьому має місце позитивний зворотній зв'язок між глобальним підвищенням температури та частотою і інтенсивністю пожеж. Крім глобального потепління, яке безпосередньо впливає на частоту та інтенсивність лісових пожеж, є й інші природні і антропогенні явища, які опосередковано впливають

на ці параметри великомасштабних лісових пожеж. Є вагомим підставою вважати, що до них належить і явище Ель-Ніньйо (Південна осциляція).

Ель-Ніньйо (ENSO) – це феноменальне, циклічне (з періодом від 2 до 7 років та тривалістю 9-12 місяців) природне явище, що характеризується аномальним потеплінням поверхневих вод у східній і центральній частинах Тихого океану, наслідком якого є зміна погодних умов на всій планеті. Ель-Ніньйо здатне провокувати екстремальні погодні процеси, а саме великомасштабні лісові пожежі, тропічні циклони (тайфуни), тривалі посухи, ливневі дощі та повені тощо. У різних регіонах світу це явище викликає різну зміну погодних умов. Підвищення температури поверхневого шару Тихого океану призводить до нагріву атмосфери, збільшуючи тепло, що утримується парниковими газами, які утворюються в результаті діяльності людини, зменшенню кількості опадів і посухи в одних регіонах планети та ливневі опади у інших. Все це призводить до загибелі океанічних організмів, зменшення біорізноманіття на суші та інших екологічних наслідків.

Явище Ель-Ніньйо найбільш суттєво впливає на прилеглі до східного узбережжя Тихого океану території Південної Америки, зокрема, Чилі. Явище викликає катастрофічні лісові пожежі та значні екологічні наслідки. В 2023-2024 рр. воно активізувалося

знову. У цей же час спостерігалось збільшення частоти та інтенсивності лісових пожеж у Чилі. Їхню інтенсивність доцільно порівняти з інтенсивністю рекордних за масштабами пожеж в Україні в 2020 р.

Методи досліджень

Для кількісного дослідження екологічних наслідків горіння великих лісових масивів в Україні та Чилі впродовж 2014–2024 рр. використовувалися наступні методи: аналітичний огляд проблеми дослідження, системний аналіз низки супроводжуючих процесів, математичне моделювання та теоретичні розрахунки. У роботі моделювались: маса згорілих матеріалів, тепла енергія та середня потужність горіння, енергія та потужність акустичного випромінювання, викиди маси диму, вуглекислоти, чадного газу, сажі, вуглеводнів, мікрочастинок з розміром менше 2,5 мкм (PM 2,5), поліароматичних вуглеводнів (ПАВ), газів NO_x та SO_x і цілої низки хімічних елементів (N, K, Ca, Fe, Zn, Cr, Br, Mn, Pb, Rb, Sr, Se). Окремо обчислені маси шкідливих речовин при пожежі у житлових будівлях, яка перекинулася на населені пункти під час інтенсивних лісових пожеж на території Чилі.

Методика моделювання екологічних наслідків великомасштабних лісових пожеж описана у роботах авторів [1–3]. Вихідними параметрами при моделюванні та кількісних підрахунках були: площа пожежі S , питома маса горючих матеріалів \tilde{m} , коефіцієнти перетворення маси горючих матеріалів у маси певних продуктів горіння. При обчисленнях використовувалися такі значення коефіцієнтів: 0,005–0,013 для PM 2,5; 0,00002 для ПАВ; 0,003 для NO_x та 0,0005–0,001 для SO_x відповідно. Для цих же речовин фонові значення, отримані з різних джерел, склали 10 мкг/м³; 0,5 нг/м³; 40 мкг/м³ і 50 мкг/м³ відповідно. Товщина атмосферного шару з цими речовинами приймалася рівною 1 км.

Енергетика акустичного випромінювання пожеж оцінювалася наступним чином. Енергія акустичного випромінювання E_a пропорційна тепловій енергії E , що виділяється при горінні [1–3]:

$$E_a = \eta_a E .$$

Тут $\eta_a = 3 \cdot 10^{-3}$. Оскільки

$$E = q\tilde{m}S ,$$

Метою є порівняльна оцінка екологічних наслідків великомасштабних лісових пожеж, стимульованих природними та антропогенними впливами (на прикладі України та Чилі в 2014–2024 рр.).

де $q \approx 10^7$ Дж/кг – питома енергія горіння, S – сумарна площа пожежі, то густина потоку енергії

$$\Pi = \frac{E}{S} = q\tilde{m} .$$

Для густини потоку акустичної енергії маємо:

$$\Pi_a = \eta_a \Pi = \eta_a q\tilde{m} .$$

Густина потоку потужності акустичного випромінювання

$$\Pi_{Pa} = \frac{\Pi_a}{\tau} ,$$

де τ – характерний час вигорання, який складає 10^3 – 10^4 с. Для лісів у Чилі в середньому $\tilde{m} \approx 40$ кг/м², $\Pi_a \approx 1,2 \cdot 10^6$ Дж/м² і для $\tau \approx 10^4$ с маємо $\Pi_{Pa} \approx 120$ Вт/м². Для лісів України за $\tau \approx 3 \cdot 10^3$ с отримуємо $\Pi_{Pa} \approx 100$ Вт/м². Повна потужність акустичного випромінювання

$$P_a = \Pi_{Pa} S .$$

Під час горіння лісів зазвичай страждають житлові будівлі, що знаходяться на суміжних з лісовими масивами територіях, та виникають додаткові екологічні наслідки. Авторами розроблено методику оцінки екологічних наслідків пожеж і вигорання будівель у населених пунктах. Коротко її сутність полягає у наступному.

Нехай площа одного поверху в j -тому будинку S_{1j} . Тоді загальна площа в цьому будинку з n_j поверхами

$$S_j = S_{1j} n_j .$$

Сумарна площа N будинків, охоплених пожежею,

$$S_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N S_j N_j = \sum_{j=1}^N S_{1j} n_j N_j ,$$

де N_j – число будинків з площею S_j .

Якщо висота одного поверху h_j , то об'єм приміщення, охопленого пожежею,

$$V_j = S_j h_j .$$

Сумарний об'єм

$$V_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N S_j h_j .$$

Маса шкідливих речовин з питомою концентрацією c_k

$$m_k = c_k S_{\Sigma} V_{\Sigma}.$$

Для оцінки мінімальної площі, ураженої пожежами, вважаємо, що кількість поверхів у будівлях $n_j = 1$. Тоді $S_j = S_{1j}$,

$$S_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N S_{1j} N_j.$$

Якщо всі S_{1j} однакові, то $S_{\Sigma} = S_{1j} N$. За однакової висоти поверху $h_j = h$ маємо

$$V_{\Sigma} = S_{\Sigma} h = S_{1j} N h.$$

Тоді

$$m_k = c_k (S_{1j} N)^2 h.$$

Для оцінки максимальної площі, ураженої пожежами, вважаємо, що $\bar{S}_j = \bar{S}_{1j} \bar{n}_j$.

Тоді

$$\bar{S}_{\Sigma} = \bar{S}_j N = \bar{S}_{1j} \bar{n}_j N, \quad \bar{V}_{\Sigma} = \bar{S}_{\Sigma} h,$$

$$m_k = c_k (\bar{S}_{1j} \bar{n}_j N)^2 h.$$

При оцінці мінімальної площі розрахунки виконано для $n_j = 1$, $S_{1j} = 100 \text{ м}^2$, $h = 3 \text{ м}$. При оцінці максимальної площі вважалось, що $\bar{S}_{1j} = 300 \text{ м}^2$, $\bar{n}_j = 3$, $h = 3 \text{ м}$.

Відомо, що пожежі супроводжуються значними викидами диму та сажі. При цьому розмір частинок $2r_p$, де r_p – радіус частинки, змінюється від 10^{-4} до 10^{-7} м .

За диференціального закону розподілу за масами частинок m_p

$$dn = A \frac{dm_p}{m_p^{\alpha}},$$

де $\alpha \approx 2$, A – константа з розмірністю маси, що знаходиться з умови нормування, маємо для маси диму

$$m_s = \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} m_p dn = A \ln \frac{m_{p \max}}{m_{p \min}} = 3A \ln \frac{r_{\max}}{r_{\min}} = 3AB.$$

Тут $B = \ln(r_{\max}/r_{\min}) = 3 \ln 10$. Тоді $A = m_s / 9 \ln 10$.

Маса частинок з розміром від $2,5 \cdot 10^{-6}$ до 10^{-7} м

$$\Delta m_s = 3A \ln 25 = (m_s \ln 25) / 3 \ln 10.$$

Звідси

$$\frac{\Delta m_s}{m_s} = \frac{\ln 25}{3 \ln 10} \approx 0.47.$$

Якщо $2r_{\min} = 10^{-6}$, а $2r_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, то відносна маса $\Delta m_s / m_s \approx 0,20$. Оскільки частка маси диму складає 0,04 від маси згорілих

матеріалів, то відносна маса мікрочастинок знаходиться у межах 0,008–0,019.

Чисельні спостереження показують, що мікрочастинок частіше розподілені за логнормальним законом. Під час лісових пожеж відносна маса знаходиться у межах 0,005–0,013. Ці значення дуже близькі до оцінених нами значень.

Частинки мікронного розміру за рахунок конвекції закидаються на висоти z_p в декілька кілометрів, потім вони повільно осідають на землю на глобальних відстанях. Швидкість осідання дається відомим співвідношенням:

$$v_p = \frac{2\rho_p g}{9\eta} r_p^2,$$

де ρ_p – густина речовини в мікрочастинці, g – прискорення вільного падіння, $\eta = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ Па/с}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості атмосферного газу. Тоді час осідання частинок

$$\tau_p = \frac{z_p}{v_p},$$

Під час обчислень приймалося, що $\rho_p \approx 2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ і $z_p \approx 1 \text{ км}$.

Ще у червні 2023 р. Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) ООН попередила про рекордні температури та хвилі екстремальної спеки, що пов'язані з приходом періодичного кліматичного явища Ель-Ніньйо. І справді літо 2023 р. стало найбільш спекотним за всю історію спостережень за варіаціями погоди на нашій планеті. Влітку температура повітря на 5°C перевищувала норму. Температура води в океані збільшилася від 1 до $7\text{--}9^{\circ}\text{C}$. Глобальна температура моря три місяці поспіль знаходилася на безпрецедентно високому рівні. Додаткова температура складала біля $2,5^{\circ}\text{C}$. ВМО прогнозувало, що явище відбуватиметься до кінця 2023 р. Як відомо, тривалість явища змінюється в широких межах: від 3 до 10 місяців, частіше за все воно близьке до 5–6 місяців. Як виявилось, максимальна потужність спостерігалася в січні – лютому 2024 р. Прогнозується, що літо 2024 р. може стати найбільш спекотним за всю історію спостережень саме через вплив явища Ель-Ніньйо. Наприклад, це явище спровокувало у 2016 р. на той час самі спекотні погодні умови, коли Ель-Ніньйо був найбільш активним, а температура поверхні океана підвищилася на близькі до рекордних

2,4°C. Оскільки це явище виникає в системі «океан-атмосфера», воно здатне підвищити температуру атмосфери на всій планеті на $\Delta T = 0,2^\circ\text{C}$. За площі земної поверхні $5 \cdot 10^8 \text{ км}^2$ та ефективної висоти атмосфери 10 км маємо додаткову теплову енергію атмосфери близько 10^{21} Дж (табл. 1). За тривалості додаткового нагріву атмосфери в п'ять місяців середня потужність складає 70 ТВт.

Обчислимо енергетичні характеристики Ель-Ніньйо. Енергія явища

$$E_{EN} = C_w \rho_w S h_{EN} \Delta T_{EN},$$

де $C_w \approx 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – питома теплоємність води, $\rho_w = 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ – густина води, S_w – площа нагрітої частини океану, h_{EN} – товщина океанічного шару води з підвищеною на ΔT температурою. За $S_w \approx 10^6 - 10^7 \text{ км}^2$, $h_{EN} = 200 \text{ м}$, $\Delta T = 5 \text{ К}$ маємо $E_{EN} = 4 \cdot 10^{21} - 4 \cdot 10^{22} \text{ Дж}$.

За тривалості в три місяці середня потужність Ель-Ніньйо складає $3 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{15} \text{ Вт}$. Обчислені авторами дані про параметри потужних природних процесів наведено у табл. 1.

Для порівняння у цій таблиці також наведено енергетичні характеристики інших природних процесів, описаних в [1-3].

Таблиця 1

Параметри потужних природних процесів

Table 1

Parameters of powerful natural processes

Явище	Площа, км ²	Енергія, Дж	Середня потужність, Вт	Тривалість процесу, с (добі)
Потік тепла із надр Землі	$5 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^{13}$	10^5 (1)
Землетрус	$10^4 - 10^5$	$10^{18} - 10^{19}$	$10^{16} - 10^{17}$	10^2 (10^{-3})
Виверження вулкана	$10^{-4} - 10^{-2}$	$10^{19} - 10^{20}$	$10^{14} - 10^{16}$	$10^4 - 10^5$ (0,1-1)
Циклон	$10^6 - 10^7$	$10^{18} - 10^{19}$	$2 \cdot 10^{12} - 2 \cdot 10^{13}$	$5 \cdot 10^5$ (5)
Ураган (тайфун)	$10^5 - 10^6$	$10^{17} - 10^{18}$	$2 \cdot 10^{11} - 2 \cdot 10^{12}$	$5 \cdot 10^5$ (5)
Ель-Ніньйо	$10^6 - 10^7$	$4 \cdot 10^{21} - 4 \cdot 10^{22}$	$3 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{15}$	$1,3 \cdot 10^7$ (150)
Додатковий нагрів атмосфери	$5 \cdot 10^8$	10^{21}	$7 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^7$ (162)

Видно, що енергетика Ель-Ніньйо зазвичай перевищує енергетику інших потужних природних процесів. Все це обумовлює значний вплив Ель-Ніньйо на погодні умови у планетарному масштабі.

Важливо, що у Південній Америці це явище призводить до підвищення температури повітря, ймовірності виникнення посух та стимуляції великомасштабних лісових пожеж.

Результати первинного аналізу стану лісових пожеж на території Чилі

Країна Чилі у Південній Америці обрана для аналізу ситуацій, що склалися на її території з приводу величезних пожеж лісових масивів та прилеглих житлових масивів. Ця країна знаходиться поблизу частини Тихого океану, де спостерігається явище Ель-Ніньйо.

Масштабні пожежі в Чилі розпочалися 2 лютого 2024 р. Вже за декілька діб пожежа пройшла площу більше 45 тис. га. Як відомо, площа Чилі складає 756,9 тис. км², 80% якої займають гори. Переважають мішані ліси. Загальна площа лісів у Чилі складає 182 тис. км або 18 млн га, лісистість – 21%. Запаси деревини сягають 1,2 млрд м³ на площі 4,6 млн га. Висота дерев зазвичай близька до 50–

60 м, але може сягати 90–100 м (дерево аракурія). Якщо діаметр аракурії зазвичай не перевищує 1–1,5 м, то діаметр, наприклад, кипариса сягає 4–5 м. У середньому питома маса деревини $\bar{m} \approx 40 \text{ кг}/\text{м}^2$. В Україні ця величина близька до $10 \text{ кг}/\text{м}^2$, тобто у 4 рази менша.

Масштабність пожеж у лютому 2023 р. та у 2024 р. у Чилі, представлено на (рис. 1–4).

Важливо, що горіли не тільки лісові масиви, але й населені пункти. Пожежі 2024 р. у Чилі були дуже небезпечними: загинуло більше 123 осіб, багато зникли безвісті, більше 1000 чоловік було поранено, знищено більше 2000 житлових будинків, матеріальні збитки оцінено в ~2 млрд доларів США.



Рис. 1. – Лісова пожежа у лютому 2023 р. у Чилі

[https://static.ukrinform.com/photos/2023_02/thumb_files/630_360_1675581981-554.jpg]

Fig. 1. – Forest fire in February 2023 in Chile

[https://static.ukrinform.com/photos/2023_02/thumb_files/630_360_1675581981-554.jpg]



Рис. 2 – Чилійські пожежники ліквідовують наслідки горіння лісів у лютому 2024 р. у Чилі

[<https://i.obozrevatel.com/news/2024/2/5/filestoragetemp-2024-02-05t094714-7702.jpg?size=630x300>]

Fig. 2 – Chilean firefighters dealing with the consequences of forest burning in February 2024 in Chile

[<https://i.obozrevatel.com/news/2024/2/5/filestoragetemp-2024-02-05t094714-7702.jpg?size=630x300>]

Ще більш масштабними були лісові пожежі в Чилі 2013 та 2017 рр. та значно меншими у 2014 р. Про це свідчать зібрані з різних джерел дані, представлені у табл. 2.

Наведені у табл. 2 дані показують, що саме лісові пожежі у Чилі 2023 та 2024 рр., найбільш ймовірно стимульовані явищем Ель-Ніньйо, були безпрецедентними.



Рис. 3. – Горіння населених пунктів, спровоковане лісовими пожежами у лютому 2024 р. у Чилі
[https://img.lemde.fr/2024/02/03/0/0/5280/3520/556/0/75/0/562cdf2_5532156-01-06.jpg]

Fig. 3. – Burning of populated areas caused by forest fires in February 2024 in Chile
[https://img.lemde.fr/2024/02/03/0/0/5280/3520/556/0/75/0/562cdf2_5532156-01-06.jpg]



Рис. 4. – Пожежі у населених пунктах, спровоковані лісовими пожежами у лютому 2024 р. у Чилі
[https://media.cnn.com/api/v1/images/stellar/prod/gettyimages-1976108013.jpg?q=w_1110,c_fill/f_webp]

Fig. 4. – Fires in populated areas caused by forest fires in February 2024 in Chile
[https://media.cnn.com/api/v1/images/stellar/prod/gettyimages-1976108013.jpg?q=w_1110,c_fill/f_webp]

Площа пожеж сягала 550–580 тис. га або 3% від площі всіх лісів у країні. Матеріальні збитки склали десятки мільярдів доларів

США. У табл. 2 для порівняння наведено аналогічні параметри для найбільш масштабних пожеж в Україні в 2020 р.

Таблиця 2

Наслідки великомасштабних лісових пожеж в Україні та Чилі

Table 2

Consequences of large-scale forest fires in Ukraine and Chile

Параметр	Країна, рік				
	Україна, 2020	Чилі, 2014	Чилі, 2017	Чилі, 2023	Чилі, 2024
Площа пожеж, га	23000	>16000	580000	550000	>45000
Число вогнищ	>100	>70	119	>150	>200
Число загиблих	70	15	11	>50	131
Число поранених	110	>20	>20	>4000	>1000
Число знищених будівель	>300	2900	1610	>2000	~2000
Матеріальні збитки, млрд. дол.	~1	~0.8	~30	~20	~2

Результати аналізу екологічних наслідків горіння лісових масивів

Результати обчислень головних параметрів, що характеризують екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж у різні роки в Чилі, наведено у табл. 3. Для порівняння в цій таблиці також наведено аналогічні параметри пожеж в Україні у 2020 р.

Результати порівняння свідчать, що всі лісові пожежі у Чилі були більш потужні, ніж в Україні. Проте найбільш потужними

вони були в 2017 р. та 2023 р. При цьому площа пожеж перевищила 0,5 млн га, маса згорілих матеріалів – 200 Мт. Маса викидів диму була близька до 10 Мт, що у 160 тис. разів перевищує фонові значення диму над територією пожеж. Значними (близько 0,5 Гт) були викиди CO₂, які в 200 разів перевищили фонові значення цього газу. Ще більшим (у 4 тис. разів) були викиди CO.

Таблиця 3

Параметри екологічних наслідків горіння лісових масивів

Table 3

Parameters of the ecological consequences of forest burning

Параметр	Україна, 2020	Чилі, 2014	Чилі, 2017	Чилі, 2023	Чилі, 2024	Фонові значення в Чилі, 2023	Відносне збільшення в Чилі, 2023
Площа пожеж, га	23000	16000	580000	550000	43000	–	–
Маса згорілих матеріалів, Мт	2,3	6,4	232	220	17,2	–	–
Маса диму, Мт	0,09	0,26	9,28	8,8	1,08	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^5$
Маса CO ₂ , Мт	5,2	14,4	522	495	38,7	25	200
Маса CO, Мт	0,23	0,64	23,2	22	1,72	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^3$
Маса С, кт	6,9	19,2	696	660	51,6	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^5$
Маса вуглеводнів, Мт	0,09	0,26	9,28	8,8	1,08	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^2$
Маса NO _x , кт	6,9	19,2	696	660	51,6	0,22	$3 \cdot 10^3$
Маса SO ₂ , кт	1,15–2,3	3,2–6,4	116–232	110–220	8,6–17,2	0,275	422–844
Маса ПАВ, т	46	128	4640	4400	344	$2,75 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^6$
Маса РМ 2.5, кт	23	64	2320	2200	172	$55 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^7$
Енерговиділення, ПДж	23	64	2320	2200	172	–	–
Середня тривалість, діб	10	10	20	20	10	–	–
Середня потужність горіння, ГВт	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,064	1,16	1,10	0,17	–	–
Енергія акустичного випромінювання, ПДж	$6,9 \cdot 10^{-2}$	0,064	7	6,6	0,52	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^3$
Потужність акустичного випромінювання, ГВт	23	64	700	660	52	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^5$

Дуже значними були викиди сажі, сягали приблизно 700 кт, що в 120 тис. разів перевищувало її фонові значення. Близько 10 Мт були викиди вуглеводнів. Вони у 160 разів перевищили фонове значення. Найбільшими були викиди мікронних частинок та ПАВ. Їхні маси перевищили фонові значення над лісами відповідно у 40 млн та більше ніж у 1,6 млн разів. Маса оксидів азоту перевершила фонове значення в 3 тис. разів, а маса оксидів сірки – приблизно в 0,4–0,8 тис. разів.

Як видно з даних, наведених у табл. 3, тепла енергія пожеж у Чилі у 2017 та 2023 рр. перевищувала 2 тис. ПДж, а середня потужність сягала ~1 ТВт. Для порівняння додамо, що все людство споживає енергію потужністю в 44 ТВт. Тобто потужність процесу горіння лісів тільки у Чилі у 2017 й 2023 рр. складала близько 2,5% від усієї споживаної людством потужності всіх енергоносіїв.

Енергія акустичного (в тому числі й шкідливого інфразвукового) випромінювання збільшилася у порівнянні з фоновим значенням приблизно в 1000 разів. Ще більше розумим (в 120 тис. разів) було збільшення у порівнянні з

фоновим значенням потужності цього випромінювання. Потужність акустичного випромінювання склала 700 ТВт. Для порівняння вкажемо, що це відповідає потужності 700 енергоблоків АЕС.

Екологічні наслідки лісових пожеж у Чилі на початку 2024 р. були приблизно на порядок меншими, ніж у 2017 та 2023 рр. Проте ці наслідки були майже на порядок більшими, ніж в Україні у 2020 р. (табл. 3).

Розраховані маси інжектіваних хімічних елементів у результаті лісових пожеж у Чилі наведено у табл. 4.

Як і в інших випадках, описаних у [1,2], найбільша емісія була для N (від 2 до 20 Мт), K (від ~5 до ~25 т) і Ca (від ~10 до ~20 т). Значними (одиниці тонн і більше) були викиди Fe, Zn та Cr. Помітно меншими були викиди інших хімічних елементів (табл. 4.).

Викиди були найбільшими у Чилі в 2017 та 2023 рр. На початку 2024 р. вони були приблизно на порядок меншими, ніж у 2017 та 2023 рр. Проте ці викиди майже в 10 разів перевищували викиди під час лісових пожеж в Україні в 2020 р.

Таблиця 4

Маса інжектіваних хімічних речовин при лісових пожежах

Table 4

Mass of chemicals injected during forest fires

Хімічний елемент	Україна, 2020	Чилі, 2014	Чилі, 2017	Чилі, 2023	Чилі, 2024
N, Мт	0,02–0,2	0,06–0,56	2–20	1,91–19,1	0,15–1,5
K, т	$(4,6–27,6) \cdot 10^{-2}$	0,13–0,77	4,6–27,6	4,41–26,5	0,35–2,07
Ca, т	$(9,2–18,4) \cdot 10^{-2}$	0,26–0,52	9,2–18,4	8,8–17,7	0,69–1,38
Fe, т	$(1,4–8,5) \cdot 10^{-2}$	0,04–0,24	1,4–8,5	1,34–8,16	0,11–0,64
Zn, т	$(1,6–20) \cdot 10^{-3}$	0,004–0,056	0,16–2	0,15–1,92	0,01–0,15
Cr, т	$(3,2–14,9) \cdot 10^{-3}$	$(8,9–41,4) \cdot 10^{-3}$	0,32–1,49	0,31–1,43	0,02–0,11
Vr, т	$(1,6–5,3) \cdot 10^{-3}$	$(4–14,7) \cdot 10^{-3}$	0,16–0,53	0,15–0,51	0,01–0,04
Mn, т	$(2,3–66,7) \cdot 10^{-4}$	$(6,4–185) \cdot 10^{-4}$	$(2,3–66,7) \cdot 10^{-2}$	$(2,2–64) \cdot 10^{-2}$	$(1,7–50) \cdot 10^{-3}$
Pb, т	$(9,2–18,4) \cdot 10^{-3}$	$(2,6–3,1) \cdot 10^{-2}$	0,92–1,84	0,88–1,77	$(6,9–13,8) \cdot 10^{-2}$
Rb, т	$(4,6–11,5) \cdot 10^{-4}$	$(1,3–3,2) \cdot 10^{-3}$	$(4,6–11,5) \cdot 10^{-2}$	$(4,4–11) \cdot 10^{-2}$	$(3,5–8,6) \cdot 10^{-3}$
Sr, т	$(2,3–11,5) \cdot 10^{-4}$	$(6,4–32) \cdot 10^{-4}$	$(2,3–11,5) \cdot 10^{-2}$	$(2,2–11) \cdot 10^{-2}$	$(1,7–8,6) \cdot 10^{-3}$
Se, т	$(2,3–6,9) \cdot 10^{-4}$	$(6,4–19,2) \cdot 10^{-4}$	$(2,3–6,9) \cdot 10^{-2}$	$(2,2–11) \cdot 10^{-2}$	$(1,7–8,6) \cdot 10^{-3}$

Результати аналізу екологічних наслідків горіння будівель у Чилі в 2024 р.

Відомо, що населені пункти часто можуть знаходитися у радіусі 5 км від лісових масивів. Це загрожує виникненню пожеж у населених пунктах під час великомасштабних лісових пожеж. Саме такими були обставини як під час пожеж в Україні, так і під час пожеж у Чилі. Так, практично в усі роки лісові пожежі викликали масові пожежі у населених пунктах

Чилі. Число знищених будівель коливалась від 2 до 3 тис. (табл. 2). Тому актуальним є дослідження екологічних наслідків горіння будівель у населених пунктах, стимульованих великомасштабними лісовими пожежами.

Більше того, продукти горіння лісів і житлових будинків поширюються далеко за межі територій, охоплених пожежами. Цілі

міста «задиhaютьcя» від диму. Жителі цих населених пунктів вимушені евакуюватися. Такими, наприклад, були чилійські міста Вільядель-Мар і Вальпараїсо під час пожеж у лютому 2024 р.

Результати розрахованих авторами мінімальних і максимальних значень маси емісії шкідливих речовин, що утворювалися внаслідок горіння житлових будинків у Чилі у 2023 р. та в Україні в 2020 р., наведено у табл. 5.

Наведені у табл.5 результати показують, що найбільші викиди властиві чадному газу. Вони могли змінюватися у широких межах: від сотні до десятка тисяч кілотонн. Дуже значні також були викиди сажі (від десятків до тисяч кілотонн). Значною була емісія й інших шкідливих хімічних речовин.

При розрахунках використовувалися узагальнені дані з різних джерел про типові значення концентрації шкідливих речовин при пожежах в будівлях (табл. 6).

Таблиця 5

Маса шкідливих речовин при пожежі у будівлях
(для України загальна площа – $3 \cdot 10^4$ м², для Чилі – $2 \cdot 10^5$ м²)

Table 5

Mass of hazardous substances during a fire in buildings
(for Ukraine the total area is $3 \cdot 10^4$ m², for Chile it is $2 \cdot 10^5$ m²)

Речовина	Україна, 2020	Чилі, 2023
CO, кг	900–15300	6000–102000
C, кг	270–900	1800–6000
CO ₂ , кг	90–630	600–4200
NO ₂ , кг	18–54	120–360
HCl, кг	9–18	60–90
HCN, кг	30	600
SO ₂ , кг	27–90	180–600
Інші вуглеводні	900–9000	$(0,6–6) \cdot 10^4$

Таблиця 6

Концентрація шкідливих речовин при пожежі у будівлях
площею 10–35 м² і середньою висотою 3 м

Table 6

Concentration of hazardous substances during a fire in buildings with an area of 10–35 m² and an average height of 3 m

Речовина	Гранично допустима концентрація, мг/м ³	Типові значення концентрації, мг/м ³	Питома концентрація, мг/м ²
CO ₂	916	$(1–7) \cdot 10^3$	$(0,3–2,1) \cdot 10^4$
CO	1	$(1–14) \cdot 10^4$	$(0,3–5,1) \cdot 10^5$
SO ₂	0,5	$(0,3–1) \cdot 10^3$	$(0,9–3) \cdot 10^3$
HCl	0,2	$(1–2) \cdot 10^2$	$(3–6) \cdot 10^2$
C	0,05	$(3–10) \cdot 10^3$	$(0,9–3) \cdot 10^4$
NO ₂	0,04	$(2–6) \cdot 10^2$	$(0,6–1,8) \cdot 10^3$
HCN	0,01	10^3	$3 \cdot 10^3$
Інші вуглеводні	0,1–1	$(1–10) \cdot 10^4$	$(0,3–3) \cdot 10^5$

Обговорення

Потужні лісові (і не тільки лісові) пожежі призводять як до короткотривалих, так й до довгострокових наслідків. Відносно нещодавно стало відомо, що мікрочастинки диму та сажі з розміром менше 2,5 мікрона (PM_{2,5}) здатні призводити до захворювання дихальної системи та серця. За даними ВООЗ за останні

20 років через підвищену концентрацію таких частинок померло більше 2,5 млн людей. Мікрочастинок в викидах міститься 0,5–1,3% від маси згорілих матеріалів. Так, при масі диму в 10 Мт маса мікронних частинок складає ~ 1–2 Мт. За площі в 1 млн км², що близько до площі Чилі або України та товщини атмосферного

шару з мікронними частинками 1 км маємо концентрацію цих частинок близько 1–2 мг/м³. Відомо, що їхня гранично допустима концентрація складає 0,01 мг/м³, тобто в 100–200 менше. Приблизно така концентрація мікронних частинок встановилася після перенесенням їх вітром на території України у 2020 р.

Виключно важливо, що мікронні частинки, як показали розрахунки авторів, знаходяться в атмосфері впродовж декількох місяців (табл. 7).

Дані табл. 7 демонструють, що най-більші мікронні частинки здатні знаходитися в атмосфері впродовж декількох місяців. Ще менші частинки ($r_p < 0,2$ мкм) теоретично можуть існувати ще довше. На зменшення концентрації частинок суттєво впливають переноси повітряних мас і атмосферні опади.

Окремо треба зупинитися на екологічних наслідках викидів ПАВ. Як відомо, до ПАВ належать хімічні сполуки, що містять два та більше конденсованих бензолних кільця в молекулі з молекулярною масою 128–276. ПАВ, що утворюються під час лісових пожеж, відрізняються від антропогенних бі- та трициклічними сполуками. Важливо, що викиди ПАВ, а також бензола, формальдегіда, фенола та важких металів, є канцерогенними,

мутагенними та тератогенними. Ці викиди за даними ВООЗ призводять до збільшення на 4–9% онкологічних захворювань та на 10% пухлин мозку.

Значними були викиди оксидів азоту та сірки, які здатні сформувати випадіння кислотних дощів.

Треба мати на увазі, що викиди шкідливих речовин у результаті великомасштабних лісових пожеж дуже значні, але вони на порядок менші за антропогенні викиди.

Масштаби пожеж і їхні екологічні наслідки в Чилі у 2017 та 2023 рр. були схожими. Якщо в 2023 р. вони були стимульовані явищем Ель-Ніньйо, то у 2017 р. пожежі та їхні наслідки були пов'язані з підвищенням температури повітря на 5°C. Попереднє явище Ель-Ніньйо мало місце в 2016 р. Значними були також екологічні наслідки, стимульовані явищем Ель-Ніньйо на початку 2024 р.

До екологічних наслідків слід віднести порушення лісових і прилеглих екосистем, втрати біорізноманіття, представників флори та фауни, у тому числі, занесених до Червоної книги. До цього слід додати втрати на відновлення лісів, порушення екологічних коридорів, ризики екологічних небезпек для населення, тощо.

Таблиця 7

Залежність швидкості та часу осідання мікронних частинок від їхнього радіусу
($\rho_p \approx 2 \cdot 10^3$ кг/м³, $z_p \approx 1$ км)

Table 7

Dependence of speed and settling time of micron particles on their radius
($\rho_p \approx 2 \cdot 10^3$ kg/m³, $z_p \approx 1$ km)

Радіус частинки, мкм	Швидкість осідання частинки, м/с	Час осідання частинки, с	Час осідання частинки, діб
0,05	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^4$
0,1	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^8$	$4,4 \cdot 10^3$
0,2	10^{-5}	10^8	$1,2 \cdot 10^3$
0,4	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^2$
0,6	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^2$
0,8	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^6$	73
1	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^6$	45

Висновки

Потужні природні та антропогенні процеси призводять до підвищення частоти та інтенсивності лісових пожеж. Одним із чинників може бути періодичне потужне явище Ель-Ніньйо, яке розпочалося в кінці 2023 р. і продовжилося на початку 2024 р. Воно призвело до значного (до 5°C)

збільшення температури повітря в Південній Америці, інтенсифікації посухи та могло спровокувати потужні лісові пожежі в Чилі, вигорання будівель населених пунктів і інших катастрофічних екологічних наслідків. Пожежі супроводжувалися значними викидами продуктів горіння лісових масивів і

житлових будівель, емісією великих об'ємів хімічних елементів і інжекцією потужного акустичного випромінювання. Число пораниених складало більше 4000 чоловік. Із зон пожежі та задимленості було евакуйовано тисячі мешканців. На територіях в 0,5 млн га в Чилі знищено величезну кількість представників тваринного та рослинного світу. Шкідливі речовини та дим повітряними масами переносилися на відстані в сотні-тисячі кілометрів від вогнищ пожеж. Значно постраждала інфраструктура населених пунктів. Крім будівель, пошкоджено транспортні засоби та інше майно. Важливим результатом цієї роботи є встановлення того факту, що горіння будівель, що межують з лісовими масивами, призводить до викидів значних мас шкідливих речовин, що можуть бути не тільки співставними з викидами під час горіння лісових масивів, а й набагато їх перевищувати.

Математичне моделювання та обчислення показали, що екологічні наслідки горіння великих лісових масивів і забудов будівель у Чилі в 2023–2024 рр. були катастрофічними. Вони могли бути спровокованими явищем Ель-Ніньйо. Для підтвердження ролі цього явища у підсиленні частоти та інтенсивності лісових пожеж потрібні подальші спостереження. Не менш масштабними були екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж у Чилі в 2017 р., викликані найбільшим спекотним на той час літом.

Площі пожеж у 2017 та 2023 рр. у Чилі сягали 0,5 млн га. Викиди диму наближались до 10 Мт, що у сто тисяч разів перевищувало фонове значення. Близько 0,5 Гт були викиди вуглекислоти. Вони у 200 разів перевищили фонове значення на території пожеж. Емісія

сажі, чадного газу та вуглеводнів перевищила фонове значення відповідно у 120 тис., 4 тис. і 160 разів. Маса викидів мікронних частинок і ПАВ перевищили фонове значення відповідно в 40 млн і в 1,6 млн разів. Маса емітованих оксидів азоту та сірки перевищили фонове значення відповідно в 3 тис. і в 0,4–0,8 раза. Енергія горіння перевищувала 2 тис. ПДж, а середня потужність горіння – 1 ТВт. Енергія акустичного випромінювання, що сягала 7 ПДж, перевищувала фонове значення більше ніж в 1000 разів. В той же час потужність цього випромінювання перевищувала фонове значення більше ніж у 100 тисяч разів і складала близько 700 ГВт. Найбільшими були викиди N, що сягали 1–10 Мт. Значною була емісія K, Ca, Fe, Zn, Cr та Br. Оцінено концентрацію та масу емітованих шкідливих речовин при горінні населених пунктів, спровокованих лісовими пожежами. Концентрація цих речовин у 100–200 разів перевищувала гранично допустимі. Вперше встановлено, що викиди речовин при цьому можуть бути на порядки більшими, ніж під час лісових пожеж. Вперше оцінено масу та концентрацію мікронних частинок диму, що призводять до захворювання дихальних шляхів та серцево-судинної системи жителів всієї країни та за її межами.

Масштаби лісових пожеж і їхні екологічні наслідки у Чилі в 2017 та 2023 рр. були більше ніж у 20 разів значнішими, ніж масштаби пожеж в Україні в 2020 р., що стали для нашої країни рекордними. Навіть короточасні пожежі у Чилі у лютому 2024 р. були більш потужними, ніж рекордні пожежі в Україні.

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. Черногор Л.Ф., Некос А.Н., Тітенко Г.В., Черногор 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>
2. Черногор Л.Ф., Некос А.Н., Тітенко Г.В., Черногор 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>
3. Черногор Л.Ф., Некос А.Н., Тітенко Г.В., Черногор 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>
4. Snegirev A. Yu., Marsden J.A., Francis J., Makhviladze G.M. Numerical studies and experimental observations of whirling flames. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2004. Vol. 47. No. 12–13. P. 2523–2539. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.02.002>
 5. 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. No. 11. P. 2031–2045. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0712-2>
 6. Hebert-Dufresne L., Pellegrini A.F.A., Bhat U., Redner S. Edge fires drive the shape and stability of tropical forests. *Ecology letters*. 2018. No. 6. P. 794–803. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12942>
 7. 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. No. 3. P. 1033–1047. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509833952>
 8. Dowdy A.J., Ye H., Pepler A., Thatcher M., Osbrough S.L., Evans J.P., Di Virgilio G., McCarthy N. Future changes in extreme weather and pyroconvection risk factors for Australian wildfires. *Scientific reports*. 2019. Vol. 9. No. 1. id: 10073. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46362-x>
 9. 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. No. 3. P. 386–403. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00233-1>
 10. Буц Ю.В. Науково-методологічні основи релаксії екогосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження: дис. ... д-ра техн. наук, спец.: 21.06.01 - екологічна безпека. Суми: СумДУ, 2020. 399 с. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76769>
 11. 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. No. 5. P. 2047–2069. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
 12. 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>
 13. 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>
 14. Chuvieco E., Pettinari M.L., Koutsias N., Forkel M., Hantson S., Turco M. Human and climate drivers of global biomass burning variability. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 779. id: 146361. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146361>
 15. 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>
 16. Holuša J., Koreň M., Berčák R., Resnerová K., Trombik J., Vaněk J., Szczygiel 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. No. 6. P. 428–439. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF20103>
 17. 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. No. 1. id: e01485. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecm.1485>

Стаття надійшла до редакції 06.04.2024

Стаття рекомендована до друку 15.05.2024

L. F. CHERNOGOR¹, DSc (Physics and Mathematics), Prof.,
Head of the Department of Space Radio Physics
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/0000-0002-5313-88501>

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

THE INFLUENCE OF THE EL NIÑO PHENOMENON ON APPEARANCE OF LARGE-SCALE FOREST FIRES AND THEIR ECOLOGICAL CONSEQUENCES

The frequency and intensity of forest fires is increasing year by year. It is due to global warming, which is associated with both natural and anthropogenic phenomena and processes. There is another mechanism of global impact on the weather, abnormally high summer temperatures, severity and frequency of droughts, intensity and frequency of forest fires and their consequences. It is associated with the unique, cyclical, natural phenomenon of El Niño. The possibility of this phenomenon influence on the intensity of large-scale forest fires and their ecological consequences cannot be excluded, in accordance with the analysis of these processes and their quantitative assessment. There is reason to believe that the phenomenon may affect the intensity and frequency of forest fires in countries nearby. Such a country is, in particular, Chile, which experiences intense forest fires every year. Their intensity is compared to the intensity of record fires in Ukraine in 2020.

Purpose. Comparative assessment of the ecological consequences of large-scale forest fires stimulated by natural and anthropogenic impacts (using the example of Ukraine and Chile in 2014–2024).

Methods. Systems analysis of a number of accompanying processes, mathematical modeling and theoretical calculations. A methodology has been developed for assessing the ecological consequences of fires and burning of buildings in populated areas.

Results. Areas of fires in 2017 and 2023 reached 0,5 million ha in Chile. Smoke ejections approached 10 Mt, which was one hundred thousand times higher than the norm. There were about 0,5 Gt of carbon dioxide ejections. They exceeded the background value in the fire areas by 200 times. The ejection of soot, carbon monoxide and hydrocarbons exceeded the norm by 120 thousand, 4 thousand and 160 times, respectively. Ejections of PM 2.5 microparticles and polyaromatic hydrocarbons exceeded the norm by 40 million and more than a million times, respectively. Ejections of nitrogen and sulfur oxides exceeded the norm by 3 thousand and 400–800 times, respectively. The combustion energy exceeded 2 thousand PJ, and the average combustion power exceeded 1 TW. The acoustic radiation energy, reaching 7 PJ, exceeded the background value by more than 1000 times. At the same time, the power of this radiation exceeded the norm by more than one hundred thousand times and was about 700 GW. Nitrogen ejections were the largest, reaching 1–10 Mt. The ejection of potassium, calcium, iron, zinc, chromium, and bromine was significant. The ejections of other chemical elements were significantly less. The construction of mathematical models made it possible to calculate the concentration and mass of harmful substances emitted during the burning of populated areas caused by forest fires. For the first time, it was established that ejections of substances during this can be significant. For the first time, the need to take into account the influence of micron smoke particles and polyaromatic hydrocarbons, which lead, respectively, to diseases of the respiratory tract, cardiovascular system and oncological diseases of residents of the entire country and beyond, was substantiated, and their mass and concentration have been calculated. Ejections of nitrogen and sulfur oxides, which stimulate the occurrence of acid rain, have been assessed. A comparative analysis of the characteristics and consequences of forest fires showed that they were more large-scale in Chile in 2017 and 2023 (almost 20 times) and in February 2024 than the record fires in Ukraine in 2020 in terms of their parameters and consequences.

Conclusions. Mathematical modeling and calculations showed that the ecological consequences of large forests and buildings burning in Chile in 2023–2024 were catastrophic. They were accompanied by an intensification of the El Niño phenomenon. No less widespread were the ecological consequences of large-scale forest fires in Chile in 2017, caused by the hottest summer at that time. The size scale of fires in Chile and their consequences were many times higher than the corresponding parameters for the record fires in Ukraine in 2020.

KEYWORDS: *forest fire, burning of buildings, fire energy, ejections of combustion products, acoustic radiation energy, ecological consequences*

References

1. 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)
2. 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)
3. 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)
4. Snegirev, A.Yu., Marsden, J.A., Francis, J., & Makhviladze, G.M. (2004). Numerical studies and experimental observations of whirling flames. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(12–13), 2523–2539. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.02.002>
5. 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>
6. 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>
7. 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>
8. Dowdy, A.J., Ye, H., Pepler, A., Thatcher, M., Osbrough, S.L., Evans, J.P., Di Virgilio, G., & McCarthy, N. (2019). Future changes in extreme weather and pyroconvection risk factors for Australian wildfires. *Scientific reports*, 9(1). id: 10073. 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46362-x>
9. 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>
10. Buts, Yu.V. (2020). Scientific and methodological bases of relaxation of ecogeosystems under the technogenic loading of pyrogenic origin. Doctor's Thesis. Sumy: Sumy State University. Retrieved from <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76769> (in Ukrainian)
11. 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. (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>
12. 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. id: 118272. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118272>
13. 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. id: 119037. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119037>
14. Chuvieco, E., Pettinari, M.L., Koutsias, N., Forkel, M., Hantson, S., & Turco, M. (2021). Human and climate drivers of global biomass burning variability. *Science of the Total Environment*, 779. id: 146361. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146361>
15. 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>
16. Holuša, J., Koreň, M., Berčák, R., Resnerová, K., Trombik, J., Vaněk, J., Szczygiel, 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>
17. Turner, M.G., Braziunas, 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). id: e01485. <https://doi.org/10.1002/ecm.1485>

The article was received by the editors 06.04.2024

The article is recommended for printing 15.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-07>

УДК (UDC) 504.4.06(477.54)

Т. Л. РИЧАК¹,

аспірант кафедри екології

e-mail: taras_rychak@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-0848-6327>

Л. М. АРХИПОВА¹, д-р техн. наук,
професорка кафедри екології

e-mail: konsevich@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8725-6943>

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ ВОДОЙМИ-ОХОЛОДЖУВАЧА БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС

Мета. Визначення еколого-токсикологічної оцінки якості води водойми-охолоджувача Бурштинської ТЕС, що є складовою Галицького національного природного парку.

Методи. Польові дослідження, аналітичні, біотестування, статистичні.

Результати. Оцінювання здійснювалось на основі результатів визначення токсичних властивостей проб води. Проби води відібрано взимку 2024 року у Бурштинському водосховищі, розташованому на р.Гнила Липа. Рівні хронічної токсичності води визначено за методикою біотестування на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Отримані результати свідчать, що з відібраних проб - 50% виявили хронічну токсичність, а саме – зразки з проб, відібраних на узбережжі водосховища в межах м. Бурштин, з рекреаційної ділянки водосховища, що використовується місцевим населенням для купання і відпочинку та ділянки водосховища в межах с. Дем'янів, яка знаходиться також під впливом автомагістралі, рибництва. Лівий берег водосховища та місце впадіння р. Гнила Липа у водосховище – на цій ділянці встановлено перший клас якості води і за ступенем забрудненості вода визначається – як чиста. Праве узбережжя водосховища, яке знаходиться в межах впливу автомагістралі, надлишкового рекреаційного впливу, надходження поверхневого стоку з міста Бурштина, має нижчі показники якості води, що характеризується як другий клас якості води і за ступенем забрудненості вода визначається як слабо забруднена. В інших репрезентативних створах відібрані проби води відповідали нормативу якості води за токсикологічним показником – відсутність хронічної токсичності води.

Висновки. Встановлено, що лівий і правий береги Бурштинського водосховища зазнають різного техногенного навантаження, різні частини водойми зазнають різного рівня впливу від різних джерел забруднення і, як наслідок, мають різний клас якості води. Необхідним є продовження моніторингових досліджень для підвищення рівня екологічної безпеки водних об'єктів у межах впливу теплової електростанції в частині збільшення контрольних створів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *водойма-охолоджувач, токсичність, клас якості води, ступінь забрудненості води*

Як цитувати: Ричак Т. Л., Архипова Л. М. Еколого-токсикологічна оцінка якості води водойми-охолоджувача Бурштинської ТЕС. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія».* 2024. Вип. 30. С. 91 – 104. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-07>

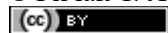
In cites: Rychak, T. L., & Arkhypova, L.M. (2024). Environmental and toxicological assessment of the water quality of Burshtynska TPP cooling reservoir. *Visnyk of V.N.Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (30), 91 – 104. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-07> (in Ukrainian)

Вступ

Згідно Водного Кодексу України, Стаття 21-1 [1], Водної рамкової директиви ЄС [2] водойми-охолоджувачі теплових електростанцій

відносяться до категорії «істотно-змінені та штучні водні об'єкти». Для даної категорії екологічний статус не визначається, але для

© Ричак Т. Л., Архипова Л. М., 2024



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

об'єктів цих категорій встановлюється екологічний потенціал, який у результаті реалізації Плану управління району річкового басейну має бути щонайменше «добрим» [3]. Штучні водойми стали характерною складовою ландшафтів України. На кінець XX ст. штучні водойми регулювали 22,5% середнього річного стоку, який формується в Україні [4,5].

Як правило, використання штучних водойм – водосховищ і ставків здійснюється, переважно, залежно від їх цільового призначення, водності і господарської спеціалізації регіонів. У Прикарпатті головне призначення штучних водойм – водопостачання, енергетика, рибицтво, протипаводковий захист. Для потреб Бурштинської теплової електростанції Бурштинське водосховище – штучна водойма, створена у 1965 році на ріці Гнила Липа. Водний об'єкт призначено для технічного водопостачання виробничих процесів електростанції та для охолодження турбін теплової електростанції. Згідно технологічних норм коливання рівнів води у водосховищі допускається в межах $\pm 0,5$ м від нормального підпірного рівня. З огляду тематичної літератури основні морфометричні характеристики водойми: поверхня дзеркала води 1260 га, довжина – понад 7,5 км, ширина – близько 2,5 км, пересічна глибина – 1,5 - 3,5 м, максимальна глибина – 8 м. Основні характеристики водосховища: повний об'єм 49,9 млн. м³ води, корисний об'єм 6,3 млн. м³ [6,7].

У водоймі-охолоджувачі, внаслідок постійного скиду підігрітих вод з Бурштинської теплової електростанції, склалися умови формування особливих режимів: термічного, гідрохімічного та гідробіологічного.

Температурний режим води: у липні $+22+24$, замерзає вода частково у кінці січня – лютому за умови холодних зим, скресає у березні. Термічний режим характеризується неоднорідністю розподілу температури води за довжиною, шириною, глибиною. За результатами досліджень багаторічної динаміки складових гідрохімічних систем водойм-охолоджувачів та їх внутрішньорічного розподілу [8], встановлено, що в умовах теплового забруднення у водоймах-охолоджувачах інтенсифікуються гідробіологічні і фізико-хімічні процеси, наслідком яких є зрушення рівноважного стану карбонатно-кальцієвої і карбонатно-магнієвої систем у

бік утворення важкорозчинних сполук типу кальциту (CaCO_3 тв. фаза) і магнезиту (MgCO_3 тв. фаза). Встановлено, що карбонатно-кальцієва система у водоймах-охолоджувачах схильна до перебування в метастабільному пересиченому стані [8].

Основні гідрохімічні показники водойми-охолоджувача Бурштинської теплової електростанції: пересічна мінералізація до 500 мг/л, кількість розчиненого кисню 2-7 мг/л, каламутність до 500 мг/л. Для поліпшення гідрологічного режиму водойми-охолоджувача проводиться закріплення берегів і поглиблення окремих ділянок.

Водойми-охолоджувачі відрізняються за сольовим складом води, вмістом біогенних елементів і органічних сполук. Склад води цих водойм визначається характером природних вод водних об'єктів, на яких вони створюються, а також хімічним складом відпрацьованої води електростанцій, впливом температури та біологічними і хімічними процесами [6, 9 – 12]. У Бурштинській водоймі-охолоджувачі, яка відноситься до водойм-охолоджувачів з оборотною системою, відбувається підвищення загальної мінералізації, твердості (жорсткості) води. З підвищенням температури води у таких водоймах зменшується вміст розчиненого кисню [10, 12]. Але вміст кисню в них може підтримуватись на рівні 6-10 мг/дм³ завдяки інтенсивному перемішуванню води. В окремі періоди, коли збільшується вироблення електроенергії, у водойму-охолоджувач може надходити вода з температурою 38-40°C. Не виключено надходження у водойми хімічних реагентів, які використовуються в технологічних процесах енергетичних об'єктів. Це супроводжується різким падінням насичення води киснем [4, 6]. Такі випадки знижують якість води і призводять до підвищення рівня екологічної небезпеки, змінюючи показники токсичності води.

Хімічне забруднення найбільш шкідливо впливає на водні екосистеми, що призводить до отруєння водного середовища та гідробіонтів. За Переліком забруднюючих речовин [13] детальне дослідження їх вмісту у воді допоможе визначити екологічний потенціал штучного масиву поверхневих вод. Бо серед хімічних речовин, що надходять із підігрітими водами, стічними водами (токсикогенним стоком), значна частина є

отруйною для водного об'єкту та гідро біонтів [14]. Таким чином, водне середовище перетворюється на токсичне середовище. У такому середовищі біологічні процеси порушуються, окремі гідробіонти зникають. Вплив токсикантів на водні об'єкти має комплексний характер.

Основним якісним критерієм токсичності є летальний випадок отруєного організму. Кількісно цей показник залежить від дози токсичної речовини, тривалості її дії, маси самого індивіду, тощо. Тому залежність летальності характеризує токсичність певної речовини для даного організму [16]. Екоотоксикологічний державний контроль здійснюється регулярно з метою спостереження за дотриманням екологічних нормативів і попередження потрапляння токсичних речовин у водні об'єкти. Токсичність – один з головних чинників, що визначає якість води і дає уявлення про безпеку її використання.

Необхідною складовою комплексної системи контролю якості води є контроль токсичності [16, 17, 18] за допомогою живих тест-організмів. Отримані результати вказують на вплив забрудненого водного середовища на життєдіяльність організмів. Токсичні ефекти, зареєстровані методом біотестування, включають комплексний вплив всіх фізичних, хімічних і біологічних компонентів, що є присутні у воді, що досліджується, та несприятливо впливають на біохімічні, фізіологічні та генетичні функції тест-організмів. Токсичність, що визначається методом біотестування, є інтегральним показником забруднення природних середовищ [16,17]. Складне поєднання рекреаційної, рибогосподарської, промислової і природоохоронної функцій Бурштинською водоймою-охолоджувачем вимагає проведення еколого-токсикологічних досліджень та надання токсикологічної оцінки якості води.

Окрім антропогенного впливу на водні об'єкти, що безумовно впливає на токсичність водного середовища, метаболізм самих гідробіонтів, також може породжувати підвищення токсичності. Яскравим прикладом може бути масовий розвиток синьо-зелених водоростей, під час якого у водне середовище надходить значна кількість токсичних метаболітів. Серед них найбільш небезпеч-

ними є алкалоїди, які викликають складні отруєння нервової системи у людей та тварин [14]. Ще одна важлива особливість водоймо-охолоджувачів теплових об'єктів полягає у тому, що при температурі вищій за 30°C токсичність забруднюючих речовин багаторазово зростає. Встановлено, наприклад, що токсичність міді та кадмію збільшується на три порядки, що пов'язано з активністю ферментів, оскільки більшість токсикантів виступають як ферментні отрути [6,10,11].

Дослідження токсичності вод для Бурштинського водосховища також є вкрай важливим і необхідним, оскільки водойма-охолоджувач є водно-болотним угіддям міжнародного значення і належить до Галицького Національного природного парку. Серед водної рослинності водосховища – водяна папороть, стрілолист, водяний хвощ, очерет, куга озерна, розвиваються фітопланктон та зелені водорості. Постійно вода тепла і у ній водиться риба: сом канальний, короп, карась срібний, лящ, судак та окунь, верховодка, щука та йорж. У прибережних заростях гніздиться чимало водоплавних птахів, зокрема дика качка, сірий журавель, ондатра, лебідь.

Бурштинська водойма-охолоджувач та річка Дністер в межах Галицького району увійшли до переліку Водно-болотних угідь міжнародного значення завдяки клопіткій роботі громадської організації "Еко-Галич: Реабілітація дикої природи", яка плідно працює над відтворенням, збереженням та оптимальним використанням ресурсів річки Дністер та Бурштинського водосховища. Цінні у природоохоронному, господарському, екоосвітньому та рекреаційному відношенні водойми Івано-Франківської області отримали природоохоронний статус "Рамсарські угіддя"

Такі різнопланові функції, діаметрально протилежні за напрямками та важливі як для промислового виробництва, так і для задоволення потреб суспільства [19, 20], виконання екологічних задач підкреслюють актуальність еколого-токсикологічних досліджень Бурштинської водойми.

Метою є визначення еколого-токсикологічної оцінки якості води водойми-охолоджувача Бурштинської ТЕС, що є складовою Галицького національного природного парку.

Методи дослідження

Для проведення еколого-токсикологічної оцінки поверхневих вод обрано репрезентативні створи, де взимку 2024 року, особисто відібрано проби води. У пробах води визначались рівні хронічної токсичності води за допомогою методики біотестування. Нормативом якості вод за токсикологічним показником є відсутність хронічної токсичності.

Лабораторні дослідження проводились у лабораторії еколого-токсикологічних досліджень Навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Лабораторія атестована Державним комітетом України з питань технічного регулювання та споживчої політики на проведення вимірювань токсичності методом біотестування у сфері поширення державного метрологічного нагляду. При виборі створів для відбору проб враховані мета проведення дослідження, природні та антропогенні чинники, що впливають на якісний склад води в даному місці, відібрано проби води у 4-х створах (рис 1). Проби води для визначення токсичності відбирались згідно з КНД 211.1.0.009-94 [21].

Проби не підлягають консервуванню хімічними речовинами чи заморожуванню.

Проби зберігають не більше 24 год у темряві. після відбору, а при температурі $(4\pm 2)^{\circ}\text{C}$ – не більше 96 год.

Охолоджені проби води нагрівають до температури $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ для проведення експериментів на церіодафніях. Для приготування розбавлень дослідної води та для контролю використовують питну воду, яку попередньо шляхом устоювання не менше семи діб дехлорують і аерують за допомогою мікрокомпресора до досягнення концентрації розчиненого кисню не менше 6 мг/дм^3 .

Для визначення рівня токсичності води готують не менше п'яти розбавлень. Токсичність води визначають на ракоподібних церіодафніях у довгострокових (визначення хронічної токсичності) експериментах [16, 17, 18].

Методика визначення хронічної токсичності ґрунтується на встановленні різниці між кількістю загиблених церіодафній у воді, що аналізується (дослід), та у воді, яка не містить токсичних речовин (контроль). Критерієм є загибель 50 і більше відсотків церіодафній у досліді порівняно з контролем за 96 год. біотестування [21].

Результати дослідження

Бурштинська водойма відноситься до штучного масиву поверхневих вод і з 2019 року оцінка хімічного стану масиву штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод здійснювалась згідно Методики віднесення вод до одного з класів екологічного потенціалу із застосуванням показників середньорічної концентрації (ЕНЯ_{ср}). Водойма охолоджувач, на жаль, не є об'єктом (пунктом) діагностичного моніторингу відповідно до програм, затверджених наказом Держводагентства № 21 від 11.01.2020 та наказом № 587 від 24.06.2020. Але, проводився моніторинг поверхневих вод, у пунктах, які відносяться до басейну р. Дністер та впадають у Бурштинську водойму (р. Гнила Липа, п. Бабухів, 10 км до місця падіння у водойму - охолоджувач) та після дамби водосховища р. Гнила Липа тече (близько 14 км і впадає у р. Дністер (с. Тустань, пункт моніторингу м. Галич). На масивах поверхневих вод, які

перебувають під ризиком на основі антропогенних впливів на якісний та кількісний стан вод на території Івано-Франківської області встановлено 11 пунктів моніторингу на 10 масивах [22]. Для наших досліджень актуальними є створи: р. Гнила Липа, с. Бабухів та р. Дністер, Галицький національний природний парк, м. Галич. За результатами досліджень токсичних органічних речовин у поверхневих водах, що відносяться до масивів вод басейну Дністра [2], як мінімум один раз, присутні 7 речовин: - гексахлорциклогексан, ДДТ, гексахлорбензол – пестициди; флуорантен, нафталін – поліароматичні вуглеводні; трихлорметан, тетрахлорметан – леткі органічні сполуки. Вміст виявлених забруднюючих речовин не перевищував середньорічних та максимально-допустимих концентрацій екологічних нормативів якості ЕНЯ_{ср} та ЕНЯ_{мах}. За результатами цих досліджень встановлено добрий хімічний стан масивів

поверхневих вод у всіх пунктах моніторингу. Результати радіологічних досліджень показали, що у досліджуваних пробах не виявлено перевищення вмісту цезію-137 і стронцію-90 понад встановлених допустимих рівнів вмісту радіонуклідів [23]

Загальним аналізом лабораторних досліджень, проведених протягом 2021 року [24] виявлено такий стан поверхневих вод за гідрохімічними показниками у річці Дністер (м. Галич): дихлофос, середньорічне значення 0,004, ЕНЯ_{ср} – 0,0006; та гептахлор і гептахлорепоксид, середньорічне значення 0,0001, ЕНЯ_{ср} - 2×10^{-7} У р. Гнила Липа (с. Бабухів) виявлено: флуорантен, середньорічне значення 0,02 та ЕНЯ_{ср} 0,0063; дихлофос, середньорічне значення 0,001, ЕНЯ_{ср} 0,0006. Серед специфічних показників виявлено для р. Гнила Липа (с. Бабухів) метолахлор, тербутилазин, триклозан, флуконазол і для р. Дністер (с. Галич) виявили метолахлор, тербутилазин, триклозан, флуконазол. Загалом, у масивах поверхневих вод на території дослідження вміст забруднюючих речовин не перевищує екологічних нормативів якості і масиви відповідають I класу хімічного стану – «доброму» [24].

У басейні річки Дністер на території дослідження протягом 2022 року з-поміж виявлених пріоритетних забруднюючих речовин із Переліку 45+ зафіксовано перевищення максимально допустимого значення

нормативу екологічної якості (ЕНЯ_{мах}) у пунктах моніторингу [25]: р. Гнила Липа (с. Бабухів) – флуорантен (ЕНЯ_{мах}=0,12 мкг/дм³) 1,09 мкг/дм³; бензо(б)флуорантен (ЕНЯ_{мах}=0,017 мкг/дм³) 0,13 мкг/дм³, 0,02 мкг/дм³; бензо(к)флуорантен (ЕНЯ_{мах} 0,017 мкг/дм³) 0,13 мкг/дм³, 0,018 мкг/дм³; бензо(г,х,і)перілен (ЕНЯ_{мах}=0,0082 мкг/дм³) 0,047 мкг/дм³.

У масиві поверхневих вод зафіксовано перевищення екологічних нормативів якості за вмістом пріоритетних забруднюючих речовин із Переліку 45+ та визначено II клас хімічного стану – «недосягнення доброго», р. Гнила Липа (с. Бабухів). З-поміж пріоритетних важких металів у пунктах моніторингу у концентраціях нижчих встановлених максимальним нормативом якості (ЕНЯ_{мах}) не виявлено. Серед досліджуваних специфічних показників протягом року зафіксовано присутність у річках басейну Дністра речовин – карбарил, ацетохлор, метолахлор, тербутилазин, флуконазол та триклозан. З-поміж досліджуваних показників жодного разу не зафіксовано лише вміст карбамазепіну. Для порівняльного аналізу даних специфічних показників не встановлені нормативи вмісту. Загальним аналізом лабораторних досліджень, проведених протягом 2022 року встановлено, що у масивах поверхневих вод басейну Дністра на території дослідження вміст забруднюючих речовин не перевищує

Таблиця 1

Місцезнаходження створів відбору проб і обґрунтування доцільності їх відбору

Table 1

The location of sampling sites and justification of the feasibility of their selection

№ Проби	Місцезнаходження	Обґрунтування вибору створів відбору проб
1	Лівий берег, сільськогосподарські угіддя, сільська місцевість	Для відображення впливу сільськогосподарських угідь, приватної забудови та для порівняння токсичності води із результатами аналізу проб, відібраних на правому березі для дослідження впливу рекреаційного навантаження на токсичність у поверхневих Водах
2	Місце впадіння р. Гнила Липа у Бурштинське водосховище	Для відображення впливу території водозбірною басейну верхньої частини р. Гнила Липа на токсичність у водах Бурштинського водосховища
3	Правий берег водосховища, 800 м від місця впадіння р. Гнила Липа у водосховище	Для відображення впливу території з приватною забудовою, рекреаційним навантаженням, рибництвом
4	Правий берег водосховища, 4600 м від місця впадіння р. Гнила Липа у водосховище	Для відображення впливу території з транспортним навантаженням, рибництвом. Для порівняння ступеня забрудненості із результатами аналізу проб води, відібраних у репрезентативних точках дослідження.

екологічних нормативів якості і масиви відповідають I класу хімічного стану – «доброму», зокрема: р. Дністер (с. Козина, 3 км нижче місця впадіння р. Гнила Липа у р. Дністер) [25].

У 2022 році Порядком здійснення державного моніторингу вод, який затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 № 758 не передбачено проведення радіологічних досліджень масивів поверхневих вод [25]

Аналіз сучасного стану гідрохімічних показників масиву поверхневих вод р. Гнила Липа та р. Дністер, їх інтенсивне водокористування та значне господарське використання території водозбірного басейну призводять до погіршення якості водних ресурсів. Для визначення класу якості води водойми-охолоджувача Бурштинської ТЕС та

ступеню її забрудненості проведена еколого-токсикологічна оцінка якості води. Для цього визначено місця створів відбору проб із обґрунтуванням доцільності вибору. Інформація про їх місцезнаходження та обґрунтування вибору створів відбору проб надана у таблиці 1.

У створах Бурштинського водосховища відібрано проби води у січні 2024 року. За ДСТУ 4174:2003 Якість води. Визначення хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphniamagna* Straus та *Ceriodaphniaaffinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD) [26] визначено хронічну токсичність води. Результати проведених експериментальних досліджень проб штучного масиву поверхневих вод на першому створі надано у таблиці 2.

Таблиця 2

Усереднені показники для визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphniaaffinis* Lilljeborg (перший створ)

Table 2

Average indicators for determining the chronic toxicity of water on crustaceans *Ceriodaphniaaffinis* Lilljeborg (first creation)

Статистичні показники	Кількість новонароджених церіодафній			
	Контроль	Дослід, розбавлення проби води, рази		
		1	2	3
Середнє значення за виживаністю	1	1	1	1
за плодючістю	9,40	8,90	9,10	8,70
Станд. Відхилення за виживаністю	0,00	0,00	0,00	0,00
за плодючістю	0,84	0,74	0,74	0,95
Похибка станд. відхилення за виживаністю	0,00	0,00	0,00	0,00
за плодючістю	0,27	0,23	0,23	0,30
Дисперсія за виживаністю	0,00	0,00	0,00	0,00
за плодючістю	0,71	0,54	0,54	0,90
Фактичне значення критерію Стюдента	за виживаністю	1,00	1,00	1,00
	за плодючістю	1,41	0,84	1,74
Кількість ступенів Свободи	за виживаністю	18,00	18,00	18,00
	за плодючістю	18,00	18,00	18,00
Табличне значення критерію Стюдента	за виживаністю	2,11	2,11	2,11
	за плодючістю	2,11	2,11	2,11
Висновок	за виживаністю за плодючістю	нетоксична. нетоксична	нетоксична нетоксична	нетоксична нетоксична

За отриманими результатами у пробах води не виявлено хронічної токсичності. Мінімальна кратність розбавлення, за якої не виявляється хронічна токсичність – 1.

Результати проведених експериментальних досліджень проб води штучного масиву поверхневих вод у другому створі на дано у таблиці 3.

Таблиця 3

Визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphniaaffinis*Lilljeborg (другий створ)

Table 3

Determination of chronic water toxicity on crustaceans *Ceriodaphniaaffinis*Lilljeborg (second creation)

Статистичні показники	Кількість новонароджених церіодафній			
	Контроль	Дослід, розбавлення проби води, рази		
		1	2	3
Середнє значення за виживаністю за плодючістю	1 8,80	1 8,40	1 8,50	1 8,40
Станд. Відхилення за виживаністю за плодючістю	0,00 0,63	0,00 0,52	0,00 0,85	0,00 0,70
Похибка станд. відхилення за виживаністю за плодючістю	0,00 0,20	0,00 0,16	0,00 0,27	0,00 0,22
Дисперсія за виживаністю за плодючістю	0,00 0,40	0,00 0,27	0,00 0,72	0,00 0,49
Фактичне значення критерію Стюдента	за виживаністю	1,00	1,00	1,00
	за плодючістю	1,54	0,89	1,34
Кількість ступенів Свободи	за виживаністю	18,00	18,00	18,00
	за плодючістю	18,00	18,00	18,00
Табличне значення критерію Стюдента	за виживаністю	2,11	2,11	2,11
	за плодючістю	2,11	2,11	2,11
Висновок	за виживаністю за плодючістю	нетоксична. нетоксична	нетоксична нетоксична	нетоксична нетоксична

В результаті аналізу отриманих результатів визначено, що у пробах води не виявлено хронічної токсичності. Мінімальна кратність розбавлення, за якої не виявляється хронічна токсичність – 1.

Результати проведених експериментальних досліджень проб штучного масиву поверхневих вод у другому створі надано у таблиці 4. За результатами дослідження хронічної токсичності отримано висновок, що вода слабо забруднена. Мінімальна кратність розбавлення, за якої не виявляється хронічна токсичність – 2.

Результати експериментального дослідження проб води штучного масиву поверхневих вод у четвертому створі надано у таблиці 5.

За результатами дослідження хронічної токсичності - вода слабо забруднена. Мінімальна кратність розбавлення, за якої не виявляється хронічна токсичність – 2.

Узагальнені результати експериментальних досліджень проб води штучного масиву поверхневих вод усіх чотирьох створів запропоновано у таблиці 6.

Результати досліджень показали, що у пробах води зі створів 1 та 2 токсичні властивості для поверхневих вод не спостерігаються. Вплив поверхневого стоку зі значної площі з приватної території не призводить до погіршення якості води (значення OT_x , становить 1) (табл. 6, 7).

Створи 3 та 4 знаходяться в межах надлишкового рекреаційного впливу, надхо-

Таблиця 4

**Визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphniaaffinis* Lilljeborg
(третій створ)**

Table 4

**Determination of chronic water toxicity on crustaceans *Ceriodaphniaaffinis* Lilljeborg
(third creation)**

Статистичні показники	Кількість новонароджених церіодафній			
	Контроль	Дослід, розбавлення проби води, рази		
		1	2	3
Середнє значення за виживаністю	1	1	1	1
за плодючістю	7,70	5,80	8,10	8,30
Станд. Відхилення за виживаністю	0,00	0,00	0,00	0,00
за плодючістю	0,67	2,97	0,88	0,95
Похибка станд. відхилення за виживаністю	0,00	0,00	0,00	0,00
за плодючістю	0,21	0,94	0,28	0,30
Дисперсія за виживаністю	0,00	0,00	0,00	0,00
за плодючістю	0,46	8,84	0,77	0,90
Фактичне значення критерію Стюдента	за виживаністю	1,00	1,00	1,00
	за плодючістю	1,97	-1,14	-1,62
Кількість ступенів Свободи	за виживаністю	18,00	18,00	18,00
	за плодючістю	18,00	18,00	18,00
Табличне значення критерію Стюдента	за виживаністю	2,11	2,11	2,11
	за плодючістю	2,11	2,11	2,11
Висновок	за виживаністю	нетоксична	нетоксична	Нетоксична
	за плодючістю	слабозабруднена	нетоксична	Нетоксична

Таблиця 5

**Визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphniaaffinis* Lilljeborg
(четвертий створ)**

Table 5

**Determination of chronic water toxicity on crustaceans *Ceriodaphniaaffinis* Lilljeborg
(fourth creation)**

Статистичні показники	Кількість новонароджених церіодафній			
	Контроль	Дослід, розбавлення проби води, рази		
		1	2	3
Середнє значення за виживаністю	1	1	1	1
за плодючістю	7,70	5,50	8,20	8,60
Станд. відхилення за виживаністю	0,00	0,00	0,00	0,00
за плодючістю	0,95	3,17	0,63	0,52
Похибка станд. відхилення за виживаністю	0,00	0,00	0,00	0,00
за плодючістю	0,30	1,00	0,20	0,16
Дисперсія за виживаністю	0,00	0,00	0,00	0,00
за плодючістю	0,90	10,06	0,40	0,27
Фактичне значення критерію Стюдента	за виживаністю	1,00	1,00	1,00
	за плодючістю	2,10	-1,38	-2,63
Кількість ступенів Свободи	за виживаністю	18,00	18,00	18,00
	за плодючістю	18,00	18,00	18,00
Табличне значення критерію Стюдента	за виживаністю	2,11	2,11	2,11
	за плодючістю	2,11	2,11	2,11
Висновок	за виживаністю	нетоксична	нетоксична	нетоксична
	за плодючістю	слабозабруднена	нетоксична	нетоксична

Таблиця 6

Результати визначення хронічної токсичності

Table 6

Results of determination of chronic toxicity

№	Місце відбору проб	Клас якості води	Ступінь забрудненості
1.	Бурштинське водосховище	Чиста	I
2.	Місце впадіння річки Гнила Липа у Бурштинське водосховище	Чиста	I
3.	Бурштинське водосховище, м. Бурштин, рекреаційна зона	Слабозабруднена	II
4.	Бурштинське водосховище, с. Дем'янів	Слабозабруднена	II

Таблиця 7

Класифікація якості води за рівнями хронічної токсичності [17]

Table 7

Classification of water quality according to levels of chronic toxicity [17]

Клас якості води	Ступінь Забрудненості	Рівень хронічної токсичності, OT_x
I	Чиста	1,0
II	Слабозабруднена	1,1-2,0
III	Помірно забруднена	2,1-4,0
IV	Брудна	4,1-8,0
V	Дуже брудна	більше 8,0

дження поверхневого стоку з населеного пункту, стоянки автотранспорту, рибиництва, надходження токсичних речовин до водного об'єкту з поверхневим стоком при таненні снігу та вторинному забрудненні води донними відкладами, що на нашу думку, призвело до виявлених токсичних властивостей у цих створах (ступінь забрудненості – вода слабо забруднена, рівень хронічної токсичності, OT_x , становить 2 (табл. 6, 7).

Отримані результати вказують, що м. Бурштин, автостоянка біля енергетичного об'єкту є дієвими чинниками і виступають локальними джерелами забруднення водойми.

На основі теорії м'якого управління слід визначитись з пріоритетними шляхами управління станом водного об'єкта як

основи встановлення «доброго» екологічного потенціалу. На нашу думку, насамперед, це досягнення екологічно безпечного стану водойми-охолоджувача та гідрологічної системи р. Гнила Липа загалом. Означена система управління ґрунтується на принципі врахування особливостей кожної окремо взятої складової гідрологічної системи річки. І у зв'язку з отриманими результатами дослідження токсичних властивостей води вважаємо, що слід розширити мережу відбору проб води у водоймі-охолоджувачі, долучити проби води р. Гнила Липа до впадіння у водосховище та за його дамбою. І для кожного обраного репрезентативного створу визначити особливості джерел забруднення, їх кількісну та якісну характеристики.

Висновки

Біотестування, як один із ефективних біологічних методів дає можливість оцінити небезпеку різних джерел забруднення для водної флори і фауни.

У результаті дослідження токсичних властивостей води штучного водного об'єкту Бурштинського водосховища встановлено, що лівий і правий береги водосховища

знають різного техногенного навантаження, різні частини водойми зазнають різного рівня впливу від різних джерел забруднення і, як наслідок, мають різний клас якості води.

Ліва частина узбережжя водойми при значеннях OT_x до 1 належить до першого класу якості води, а за ступенем забрудненості оцінюється як чиста вода.

Права частина узбережжя водойми, де значення OT_x знаходиться в межах 1,1-2,0, належить до другого класу якості води і за ступенем забрудненості вода визначається як слабо забруднена

Необхідним є продовження моніторингових досліджень для підвищення рівня екологічної безпеки водних об'єктів у межах впливу теплової електростанції в частині збільшення контрольних створів.

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. Водний кодекс України. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. ст.189. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 23.02.2024)
2. Directive 2000/60/EU of the European Parliament and of the Council "One establishing the frame work for Community activities in the field of water policy" dated October 23, 2000. (2000). *Офіційний вісник Європейського Союзу*. L0060. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60> (дата звернення: 23.02.2024)
3. Методика віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод (2019): Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 5 від 14.01.2019 р. *Офіційний вісник України*. 2019. № 16. Ст. 560. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text> (дата звернення: 23.02.2024)
4. Гребінь В.В., Хільчевський В.К., Шашук В.А., Чунарьов О.В., Ярошевича О.С. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки: Довідник За ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. К.: «Інтерпрес ЛТД». 2014. 164 с.
5. Рудько Г.І, Консевич Л.М. Наукові основи екологічної оцінки та оптимального використання гідроресурсів Карпатського регіону України. К.: *Знання*. 1998. 48 с.
6. Ромась М.І. Гідрохімія водних об'єктів атомної і теплової енергетики: Монографія. К.: ВПЦ "Київський ун-т". 2002. 532 с.
7. Ричак Т., Архипова Л. Сучасні тенденції гідрологічних і гідрохімічних досліджень водосховищ// *Дністровські читання. Матеріали круглого столу з нагоди 30-річчя Дністровського регіонального ландшафтного парку року, Серія: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2023. Вип. 34. С.113-115.
8. Осадчий В.І., Мостова Н.М. Математичне моделювання стану гідрохімічних систем у водоймі-охолоджувачі Запорізької АЕС. *Наукові праці Укр НДГМІ*. 2003. Вип.25. С.95-117.
9. Hosseini N., Johnston J., Lindenschmidt K.-E. Impacts of climate change on the water quality of a regulated prairie river. *Water*. 2017. 9 (N3). P. 199. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9030199>
10. Climate Change Effectson Thermal Power Generation and Projected Losses in Generation and Income in the U.S. forthe Period 2020–2050 April 2021. *Conference: 52nd North American Power Symposium (NAPS) (2020)* DOI: <https://doi.org/10.1109/NAPS50074.2021.9449688>
11. Ablimit Aili, Dongliang Zhao, Gang Tan, Xiaobo Yin, Ronggui Yang, Reduction of water consumption in thermal power plants with radiative sky cooling. *Applied Energy, Elsevier*, 2021. Vol. 302(C). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117515>
12. Shu-YuanPan, Seth W. Snyder, Aaron I. Packman, Yupo J. Lin, Pen-Chi Chiang Cooling water use in thermo electric power generation and it sassociated challenges forad dressing water-energy nexus *Water-Energy Nexus* 2018. Vol. 1. N 1. P. 26-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wen.2018.04.002>
13. Про затвердження Переліку забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод (2017): Наказ; Мінприроди України від 06.02.2017 № 45 // *База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0235-17> (дата звернення: 23.02.2024).
14. Романенко В.Д. (2001) Основи гідроекології: Підручник. К.: Обереги. 728 с.
15. Damià Barceló, Božo Žonja, Antoni Ginebreda. (2020). Toxicity tests in wastewater and drinking water treatment processes: A complementary assessment tool to be on your radar. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Volume 8, Issue 5, P 104262 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104262>

16. Крайнюков О.М., Кривицька І.А., Зюзь Т.М. (2020 р). Еколого-токсикологічна оцінка якості води річки Лопань в межах Дергачівського району Харківської області //«Молодий вчений». No 3 (79), березень, С. 168-172 <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/1461/1428>
17. Крайнюков О.М. (2016). Алгоритми і способи визначення рівнів гострої летальної і хронічної токсичності води. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. № 1-2(25). С 14-19. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2016-25-02>
18. Крайнюкова, А. М., Крайнюков, О.М., &Кривицька, І. А. (2021). Використання методик біотестування для оцінювання екологічного стану поверхневих вод. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. Вип. 24.С.103-116. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-09>
19. Kravchynskiy, R.L., Khilchevskiy, V.K., Korchemluk, M.V., Arkhipova, L.M., Plichko, L.V. (2021). Criteria for identification of land slides in the upper Prut river basin on satellite images .20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, . DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521003>
20. Matiyiv, K., Klymchuk, I., Arkhypova, L., Korchemlyuk, M. (2022) Surface Water Quality of the Prut River Basin in a Tourist Destination // *Ecological Engineering and Environmental Technology This link is disabled.*, , 23(4), P. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/150311>
21. КНД 211.1.4.056-97. Методика визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. *Біотестування у природоохоронній практиці*. 1997. Київ.
22. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області в 2020 році <https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2021/regionalna-dopovid-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha-v-ivano-frankivskiy-oblasti-v-2020-rotsi.pdf>
23. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області в 2019 році <https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2021/regional-d-2019.pdf>
24. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області в 2021 році <https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2022/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%20%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%8C%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%20%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%88%D0%BD%D1%8C%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B0%20%D0%B2%20%D0%86%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D1%96%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%96%20%D0%B7%D0%B0%202021%20%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf>
25. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області в 2022 році <https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2023/Regional%CA%B9na%20dopovid%CA%B9%20pro%20stan%20navkolishn%CA%B9oho%20prirodnoho%20seredovishcha%20v%20oblasti%20u%202022%20rotsi.pdf>
26. ДСТУ 4174:2003 Якість води. Визначення хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphniamagna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72857

Стаття надійшла до редакції 25.02.2024

Стаття рекомендована до друку 12.04.2024

T. L. RYCHAK¹,

PhD student of the Ecology Department,

e-mail: taras_rychak@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-0848-6327>

L. M. ARKHYPKOVA¹, DSc (Technical),

Professor of the Ecology Department

e-mail: konsevich@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8725-6943>

¹Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

ENVIRONMENTAL AND TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF THE WATER QUALITY OF BURSHTYNSKA TPP COOLING RESERVOIR

Purpose. Determination of the ecological and toxicological assessment of the water quality of the cooling reservoir of the Burshtyn TPP, which is a component of the Galicia National Nature Park.

Methods. Field research, analytical, biotesting, statistical.

Results. The assessment was carried out on the basis of the results of determining the toxic properties of water samples. Water samples were taken in the winter of 2024 in the Burshtyn Reservoir, located on the Hnyla Lypa River. The levels of chronic water toxicity were determined using the biotesting method for the crustacean *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. The obtained results show that 50% of the samples taken showed chronic toxicity, namely, samples from the samples taken on the coast of the reservoir within the city of Burshtyn, from the recreational area of the reservoir used by the local population for swimming and recreation, and the area of the reservoir within c. Demyaniv, which is also under the influence of the highway, fish farming. The left bank of the reservoir and the confluence of the Gnyla Lypa River into the reservoir - the first class of water quality has been established in this area and the water is defined as clean according to the degree of pollution. The right bank of the reservoir, which is within the limits of the influence of the highway, excess recreational influence, inflow of surface runoff from the city of Burshtyn, has lower water quality indicators, characterized as the second class of water quality, and according to the degree of pollution, the water is defined as slightly polluted. In other representative bodies, the selected water samples met the standard of water quality according to the toxicological indicator - the absence of chronic water toxicity.

Conclusions. It was established that the left and right banks of the Burshtyn Reservoir are subject to different technogenic loads, different parts of the reservoir are subject to different levels of influence from different sources of pollution and, as a result, have different water quality classes. It is necessary to continue monitoring studies to increase the level of environmental safety of water bodies within the influence of the thermal power plant in terms of increasing control structures.

KEYWORDS: *cooling reservoir; toxicity; water quality class; degree of water pollution*

References

1. Water Code of Ukraine. (1995). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (24),.189. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>
2. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.(2000). Retrieved from <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>
3. Methodology for assigning a mass of surface water to one of the classes of ecological and chemical state of the mass of surface water, as well as assigning an artificial or significantly changed mass of surface water to one of the classes of ecological potential of an artificial or significantly changed mass of surface water (2019): Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine No. 5 dated January 14, 2019. *Official Gazette of Ukraine*. (16), 560. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text>
4. Hrebin, V.V., Khilchevskyi, V.K., Stashuk, V.A., Chunar'ov, O.V., & Yarosevicha, O.E.. (2014). *The Water Fund of Ukraine: Artificial reservoirs — reservoirs and ponds: Handbook*. K.: "Interpress LTD."
5. Rudko, G.I., & Konsevich, L.M. (1998). *Scientific basis of ecological assessment and optimal use of water resources of the Carpathian region of Ukraine*. K.: Knowledge.
6. Romas, M.I. (2002). *Hydrochemistry of water objects of atomic and thermal energy: Monograph* - K.: VOC "Kyiv University".
7. Rychak, T., & Arkhipova, L. (2023). Modern trends of hydrological and hydrochemical research in reservoirs. *Dniester readings. Materials of the round table on the occasion of the 30th anniversary of the Dniester regional landscape park of the year*, (Series: "Conservation Biology in Ukraine". (34),113-115.
8. Osadchii, V.I., & Mostova, N.M. (2003). Mathematical modeling of the state of hydrochemical systems in the cooling reservoir of Zaporizhzhya NPP. *Scientific works of Ukr NDGMI*. (25), 95-117.
9. Hosseini, N., Johnston, J., & Lindenschmidt, K.-E. (2017). Impacts of climate change on the water quality of a regulated prairie river. *Water*. 9 (3), 199. <https://doi.org/10.3390/w9030199>

10. Climate Change Effectson Thermal Power Generation and Projected Losses in Generation and Income in the U.S. forthe Period 2020–2050April 2021. (2020). *Conference: 52nd North American Power Symposium (NAPS)*. <https://doi.org/10.1109/NAPS50074.2021.9449688>
11. Aili, Ablimit, Zhao, Dongliang, Tan, Gang, Yin, Xiaobo &Yang, Ronggui. (2021). Reduction of water consumption in thermal power plants with radiativesky cooling». *Applied Energy, Elsevier*, 302(C). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117515>
12. Shu-YuanPan, Seth W. Snyder, Aaron I. Packman, Yupo J. Lin, Pen-Chi Chiang (2018). Cooling water use in thermo electric power generation and it sassociated challenges forad dressing water-energy nexus *Water-Energy Nexus, 1*(1), 26-41 <https://doi.org/10.1016/j.wen.2018.04.002>
13. On the approval of the List of pollutants for determining the chemical state of surface and underground water bodies and the ecological potential of artificial or significantly altered surface water bodies. (2017): Order; Ministry of Natural Resources of Ukraine dated February 6, 2017 No. 45. *.Database "Legislation of Ukraine" Verkhovna Rada of Ukraine*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0235-17>
14. Romanenko, V.D. (2001) Fundamentals of hydroecology: Textbook. K.: Oberegy.
15. Damià, Barceló, Božo, Žonja, Antoni Ginebreda. (2020). Toxicity tests in wastewater and drinking water treatment processes: A complementary assessment tool to be on your radar. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 8(5), 104262. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104262>
16. Krainiukov, O. M. Krivicka, I. A., & Zuz, T. M. (2020). Ecological and toxicological evaluation of water quality in the Lopan river within the boundaries of Derhachivskiy raion of Kharkiv oblast. *Young Scientist*, (3(79), 168-172 <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-3-79-37>
17. Krainiukov, O. M. (2016). (1). Algorithms And Methods Determination Of Acute Bioassay Lethal And Chronic Toxicity Water. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (1-2(25), 14-19. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2016-25-02>
18. Krainiukova , A. M., Krainiukov , O. M., & Kryvytska , I. A. (2021). Use of Biotesting Methods for Assessing the Ecological Condition of Surface Waters. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (24), 103-116. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-09>
19. Kravchynskiy, R.L., Khilchevskiy, V.K., Korchemluk, M.V., Arkhipova, L.M., & Plichko, L.V. (2021). Crite riaforidentificati on of land slides in the upper Prut river basin on satellite images *Geoinformatics 2021*, 1 – 6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521003>
20. Matiyiv, K., Klymchuk, I., Arkhypova, L., & Korchemlyuk, M. (2022). Surface Water Quality of the Prut River Basinin a Tourist Destination. *Ecological Engineering and Environmental Technology This link is disabled.*, , 23(4), 107–114. <https://doi.org/10.12912/27197050/150311>
21. KND 211.1.4.056-97. (1997). Methodology for determining the chronic toxicity of water on the crustacean *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Biotesting in nature conservation practice. Kyiv.
22. Regional report on the state of the natural environment in the Ivano-Frankivsk region in 2020. Retrieved from <https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2021/regionalna-dopovid-pro-stan-navkolishnogo-prirod-nogo-seredovishcha-v-ivano-frankivskiy-oblasti-v-2020-rotsi.pdf>
23. Regional report on the state of the natural environment in the Ivano-Frankivsk region in 2019. Retrieved from <https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2021/regional-d-2019.pdf>
24. Regional report on the state of the natural environment in the Ivano-Frankivsk region in 2021. Retrieved from <https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2022/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%0%D0%20%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%8C%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%20%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%88%D0%BD%D1%8C%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B0%20%D0%B2%20%D0%86%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BE-%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D1%96%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%96%20%D0%B7%D0%B0%202021%20%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf>
25. Regional report on the state of the natural environment in the Ivano-Frankivsk region in 2022. Retrieved from <https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/documentu-2023/Rehional%CA%B9na%20dopovid%CA%B9%20pro%20stan%20navkolishn%CA%B9oho%20pyrodnoho%20seredovishcha%20v%20oblasti%20u%202022%20rotsi.pdf>
26. DSTU 4174:2003 Water quality. Determination of chronic toxicity of chemicals and water on *Daphniamagna* Straus and *Ceriodaphniaaffinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72857

The article was received by the editors 25.02.2024

The article is recommended for printing 12.04.2024

ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-08>

УДК (UDC): 504.064

А. Г. КОТ¹,

аспірант кафедри екології та менеджменту довкілля

e-mail: anna.kot@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4700-2620>

А. Б. АЧАСОВ¹, д-р с.-г. наук, проф.,

в.о. завідувача кафедри екології та менеджменту довкілля

e-mail: achasov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5009-7184>

О. Ю. СЕЛІВЕРСТОВ¹,

аспірант кафедри екології та менеджменту довкілля

e-mail: oleg.seliverstov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8477-274X>

В. Г. КАРПОВ¹,

доцент кафедри екології та менеджменту довкілля

e-mail: karpov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9905-0277>

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

ІНСТРУМЕНТАРІЙ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ ЕКОЛОГІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Використання комп'ютерного моделювання та прогнозування для аналізу та передбачення складних системних процесів, зокрема у сфері охорони навколишнього середовища, є надзвичайно важливим. Для студентів екологічних спеціальностей володіння навичками моделювання є ключовим аспектом. На ринку існують принаймні дві комп'ютерні програми імітаційного моделювання, які мають безкоштовні версії для студентської освіти: VensimPLE і AnyLogicPLE. Вони дозволяють використовувати імітаційне моделювання та системну динаміку для аналізу та прогнозування екологічних процесів. Студентам надається можливість створювати та вивчати різноманітні сценарії розвитку подій за допомогою математичних моделей. Студентам пропонується створити та дослідити модель "Predator Prey", яка базується на системі диференціальних рівнянь Вольтерри-Лотки. Модель описує динаміку популяції хижаків та жертв у замкнутій та стаціонарній системі. На основі рівнянь, які враховують розмноження та загибель обох видів, студентам потрібно дослідити взаємодію між популяціями при різних вхідних параметрах. Модель має два етапи: спочатку створюються накопичувачі з початковими значеннями популяцій, потім додаються параметри, які регулюють потоки. На прикладі наведеної моделі, висвітлюється можливість досліджувати вплив різних факторів на динаміку екосистем та розуміти його глибше.

Висновки. Застосування методу системної динаміки дозволяє будувати стратегічні імітаційні моделі, необхідні для ухвалення управлінських рішень у сфері природоохоронної діяльності та раціонального використання ресурсів. Це важливо для практичного застосування знань студентів у майбутній професійній діяльності. Такі навички допоможуть їм ефективно впливати на стан довкілля та приймати обґрунтовані рішення щодо його збереження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: комп'ютерне моделювання, прогнозування, системна динаміка, імітаційне моделювання, екологічна спеціальність, VensimPLE, AnyLogicPLE

Як цитувати: Кот А. Г., Ачасов А. Б., Селіверстов О. Ю., Карпов В. Г. Інструментарій імітаційного моделювання у підготовці студентів екологічних спеціальностей. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія».* 2024. Вип. 30. С. 105 - 117. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-08>

Cites: Kot, A. G., Achasov, A. B., Seliverstov, O. Yu., & Karpov, V. G. (2024). Simulation modeling tools in training environmental science students. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (30), 105 – 117. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-08> (In Ukrainian)

Вступ

Кожна дія людини ґрунтується на аналізі інформації та прогнозі ситуації. Зрозуміло, що чим більшого масштабу завдання стоїть перед індивідумом, колективом або суспільством, тим якіснішою має бути інформація та тим надійнішими методи та засоби прогнозування. Залишимо поза скобками обґрунтування необхідності використання для цього сучасної комп'ютерної техніки, зараз це вже ні в кого не викликає сумнівів. Відмітимо лише, що сучасне комп'ютерне програмне забезпечення пропонує безліч варіантів для моделювання та прогнозування процесів та ситуацій, що цікавлять, від найпростіших — побудова звичайних регресійних рівнянь, до складних — конструювання складних динамічних систем та імітаційного моделювання процесів, які відбуваються в них [1 - 5].

Особливо важливі вміння моделювати ситуації та прогнозувати наслідки для студентів, чие майбутнє професійне життя буде пов'язане з охороною навколишнього середовища. Адже контакт людини з природою дуже часто утворює складні системи та викликає стохастичні процеси, для опису яких й застосовується імітаційне моделювання [3,6]. Зауважимо, що згідно зі Стандартом вищої освіти України для бакалаврів зі спеціальності «101 – Екологія» серед програмних результатів навчання зазначені: «ПР10. Уміти застосовувати програмні засоби, ГІС-технології та ресурси Інтернету для інформаційного забезпечення екологічних досліджень» та «ПР11. Уміти прогнозувати вплив технологічних процесів та виробництва на навколишнє середовище» [7 - 9].

Імітаційне моделювання та системна динаміка це два підходи до аналізу та моделювання поведінки складних систем, таких як економічні системи, екологічні системи, соціальні групи та технічні процеси.

Маємо повністю погодитись з Ситник В. Ф. та Орленко Н. С. [10] щодо плутанини з термінологією. В англійській літературі здебільшого використовуються такі терміни: *compu-*

ter simulation (комп'ютерне моделювання), *systems simulation* (системне моделювання), *digital simulation* (цифрове моделювання). У вітчизняній літературі розповсюджені терміни «машинна імітація», «машинне моделювання», «імітаційне моделювання», причому найбільшого поширення набув останній, на наш погляд, найбільш невдалий термін («імітаційне моделювання» — тавтологія).

Імітаційне моделювання (або комп'ютерне моделювання) є більш широким поняттям ніж системна динаміка. В імітаційних моделях створюються комп'ютерні аналоги реальних процесів і систем, і ці моделі можуть бути використані для вивчення та передбачення поведінки цих систем [4]. Імітаційне моделювання враховує взаємодії між окремими частинами системи, а також їхні реакції на зміни в умовах. Зазвичай імітаційні моделі працюють у віртуальному часі, дозволяючи дослідникам спостерігати, як система поводить себе в різних сценаріях та з різними параметрами [4,11,12].

Бачинський Г.О. вважає найбільш перспективними для застосування в екології є системне та імітаційне моделювання. Вивчення складних динамічних систем доцільно проводити з використанням новітніх досягнень сучасної науки і технологій в обробці інформації – сучасних інформаційних технологій. Український теоретик соціальної екології Г.О. Бачинський вважає, що імітаційне моделювання є найкращим інструментом для дослідження складних систем, що дозволяє розглянути більшу кількість альтернативних варіантів і точніше спрогнозувати наслідки прийняття управлінських рішень, забезпечуючи можливість уникнути небажаних результатів і підвищити позитивний ефект від рішень. Це робить імітаційне моделювання надзвичайно важливим при дослідженні таких складних об'єктів, як екосистеми, безпосереднє експериментування над якими може мати серйозні, а іноді й непоправні наслідки. Зазначає, що системне та імітаційне моделювання є найперспективнішими для застосування в екології. Математич-

не моделювання, зокрема імітаційне, визначається ним як найкращий інструмент для вивчення складних систем [13].

Перспективність використання методів комп'ютерного моделювання в екології взагалі та в екологічній освіті зокрема, показана у роботах В.В.Вітлінського, А.Б.Качинського, В.В.Богобоящого та інших [14-16]. Процеси створення та практичного застосування іміта-

ційних моделей досліджували С.Г. Лобанов, В.Ф. Ситник, Н.С., В.Ф. Беседін, І.В. Крючкова та ін. [17, 18].

Метою є демонстрація можливостей використання наявних відкритих програмних продуктів для надання студентам-екологам навичок застосування методів імітаційного моделювання взагалі, та системної динаміки зокрема, при дослідженні екологічних питань.

Матеріали та методи

Системна динаміка входить до групи імітаційних методів моделювання й ґрунтується на методології моделювання та аналізу динамічних систем з використанням математичних рівнянь та графічних діаграм [19, 20].

Методологія системної динаміки розроблена в 1950-60-х роках професором Массачусетського технологічного інституту Джей Форрестером [21], побудовано комп'ютерні динамічні моделі коеволюції системи «людство-біосфера» в умовах експоненційного росту населення та відповідного навантаження на природне середовище «World-1» і «World-2». Ці моделі склалися з більш ніж сорока нелінійних рівнянь, що описують взаємозалежність вибраних змін. Вони дозволили визначити найближчі глобальні цивілізаційні проблеми та розпочати пошук їх вирішення.

Наступна версія моделі – «World-3» розроблена командою фахівців під керівництвом Денніса Медоуза, учня Д. Форрестера (рис.1). Це був перший випадок застосування комп'ютерного моделювання в дослідженнях такого масштабу. З цією моделлю та її роботою студенти можуть ознайомитись за допомогою онлайн сервісу Insight Maker (<https://insightmaker.com>) [21, 22].

Сервіс репрезентує логічні схеми блоків моделі та дозволяє симулювати процеси розвитку людської цивілізації до 2100 року. На базі цього сервісу, який є прикладом численних «відкритих» імітаційних моделей, студенти можуть виконувати практичні роботи з різноманітних курсів, що пов'язані з прогнозування поведінки складних природно-антропогенних систем. Наприклад, на рис.2 наведені результати моделювання розвитку земельних ресурсів нашої планети. Студенти мають не лише розібратись у складних системних зв'яз

ках моделі та виконати сценарні симуляції процеси, але й проаналізувати отримані результати. Зокрема вивчаючи літературу самостійно пояснити чому модель прогнозує підвищення родючості земель (land fertility) після 2050 року (рис. 2, червона лінія).

Іншим варіантом опанування основ системної динаміки може бути використання студентами платформ Vensim [23] та AnyLogic [24]. Vensim – це програмне забезпечення для системного аналізу та імітаційного моделювання, що розвивається і підтримується компанією Ventana Systems, Inc (zareestrovana u США) [23]. Ця платформа дозволяє користувачам створювати складні динамічні моделі для аналізу різних систем, зокрема екологічних, економічних, соціальних, технічних та багатьох інших. Vensim Personal Learning Edition (PLE) це повнофункціональна версія Vensim, яка є безплатною для особистого та освітнього використання [23].

AnyLogic – програмне забезпечення для імітаційного моделювання, що розробляється компанією The AnyLogic Company (zareestrovana u США) [24]. Це потужний інструмент, який дозволяє створювати комплексні моделі різних систем та процесів, використовуючи різні підходи, такі як системна динаміка, агентне моделювання та процесно-орієнтоване моделювання [24, 25].

Структура моделей у системній динаміці базується на таких основних елементах як «накопичувач» (stock) і «потік» (flow) та зв'язках між ними. Накопичувачі представляють основні показники, які ми хочемо дослідити або прогнозувати в системі. Вони можуть бути фізичними величинами, такими як кількість населення, кількість виробництва або запас

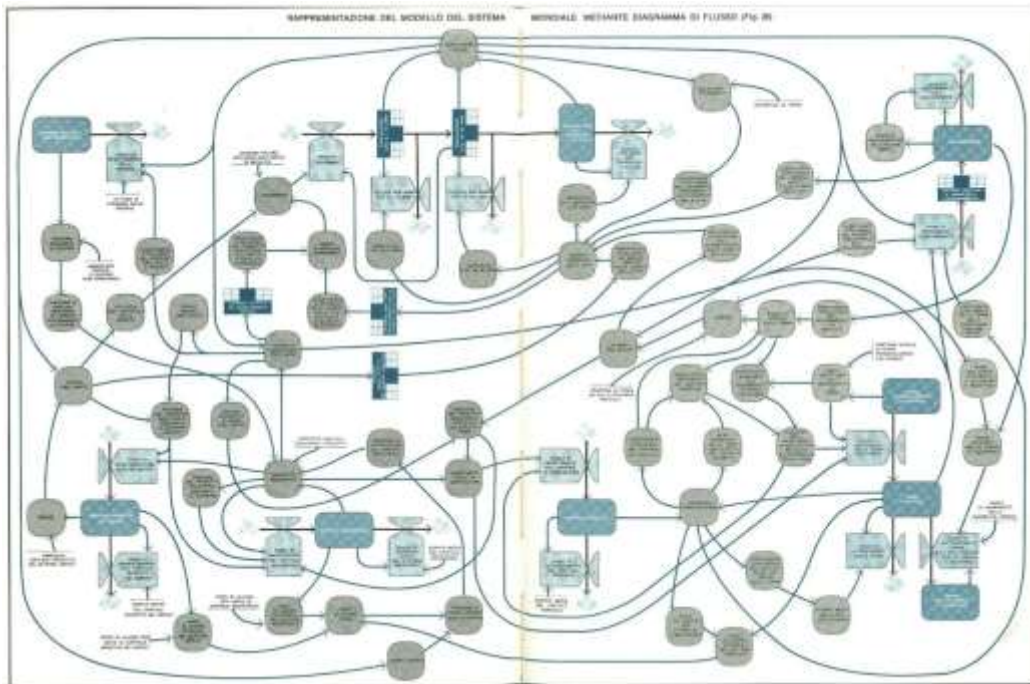


Рис. 1 – Модель «World-3»

[\[https://miro.medium.com/v2/resize:fit:4800/format:webp/1*8K30z6amUZ0bfVuI14ZDRA.jpeg\]](https://miro.medium.com/v2/resize:fit:4800/format:webp/1*8K30z6amUZ0bfVuI14ZDRA.jpeg)

Fig. 1 – Model «World-3»

[\[https://miro.medium.com/v2/resize:fit:4800/format:webp/1*8K30z6amUZ0bfVuI14ZDRA.jpeg\]](https://miro.medium.com/v2/resize:fit:4800/format:webp/1*8K30z6amUZ0bfVuI14ZDRA.jpeg)

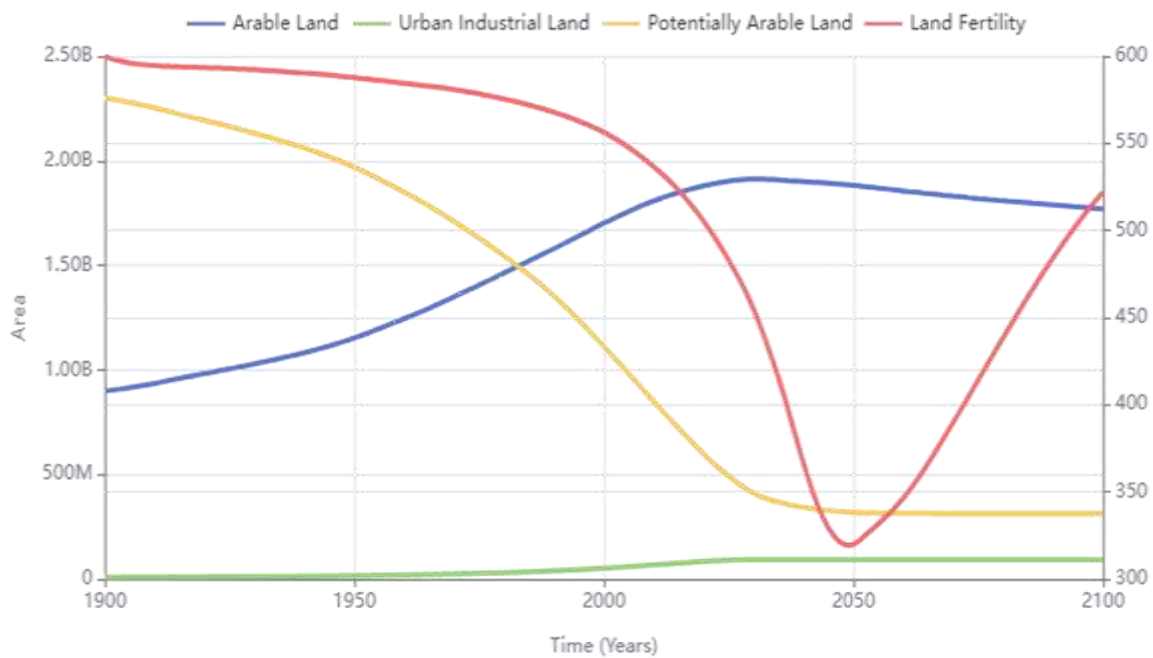


Рис. 2 – Результати моделювання розвитку земельних ресурсів

[\[https://miro.medium.com/v2/resize:fit:4800/format:webp/1*8K30z6amUZ0bfVuI14ZDRA.jpeg\]](https://miro.medium.com/v2/resize:fit:4800/format:webp/1*8K30z6amUZ0bfVuI14ZDRA.jpeg)

Fig.2 – Results of land resource development modeling

[\[https://miro.medium.com/v2/resize:fit:4800/format:webp/1*8K30z6amUZ0bfVuI14ZDRA.jpeg\]](https://miro.medium.com/v2/resize:fit:4800/format:webp/1*8K30z6amUZ0bfVuI14ZDRA.jpeg)

ресурсів. Потоки представляють рух або перетік ресурсів між накопичувачами у системі. Вони можуть бути впливами, що змінюють рівень змінних в часі, наприклад, приріст населення або виробництва. Як приклад наведемо відому в класичній екології модель «хижак-жертва» відомої також як модель Вольтерри-

Лотки. Модель описує два біологічних види, які спільно мешкають у деякому ізольованому ареалі проживання, та прогнозує як зміни в чисельності одного виду впливають на чисельність іншого. Модель може бути застосована до різних екологічних ситуацій і допомагає розуміти динаміку популяцій в екосистемах

Результати та обговорення

Метою пропонованої студентам роботи є побудова моделі та дослідження різних варіантів розвитку подій при зміні вхідних параметрів у моделі Вольтерри-Лотки. Ця математична модель являє собою систему звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, що містить дві невідомі функції, а саме: кількість хижаків (y) і кількість жертв (x) у певний момент часу. Система вважається замкненою та стаціонарною та забезпечує “жертв” всім необхідним для існування, тоді як “хижаки” можуть житись лише “жертвами”. Ні жертви, ні хижаки не емігрують із середовища, також жодні інші тварини не мігрують у цей ареал проживання. Модель не враховує вимирання тварин унаслідок старіння та інших зовнішніх впливів.

Динаміка кількості жертв у такому середовищі описуватиметься рівнянням:

$$dx/dt = (a - b*y)*x$$

де: a - параметр, що характеризує ймовірність розмноження жертв

b - параметр, що характеризує ймовірність загибелі жертви від хижака

Динаміка кількості хижаків описуватиметься наступним рівнянням:

$$dy/dt = (c - d*y)*x$$

c - параметр, що характеризує ймовірність смерті хижака від голоду

d - параметр, що характеризує ймовірність розмноження хижаків

Із системи рівнянь випливає, що якщо жертв немає ($x = 0$), то хижаки вимиратимуть експоненціально з заданим початковим коефіцієнтом. За відсутності хижаків спостерігатиметься експоненційне зростання чисельності жертв. За усіх інших умов відбуватиметься динамічна взаємодія, характер якої залежить від закладених в основу моделі параметрів. Саме проміжні стани системи є найцікавішими для

дослідження, адже чітке кількісне визначення “червоних ліній”, поза якими починається деградація екосистеми є найбільш важливим для практики створення заповідних територій.

На рисунку 3 наведена схема базової моделі “Predator Prey”, що поставляється разом з програмою. Жертви представлені тут популяціями зайців, а хижаки — рисями. Студентам пропонується створити модель з аналогічною структурою, але з різними кількісними параметрами, які видаються викладачем по варіантах [26, 27].

На першому етапі створюються два накопичувачі з заданими початковими значеннями популяції зайців і рисей. На схемі вони позначені квадратиками та підписані як Hares і Lynx. У базовій моделі на початку моделювання популяція зайців становить 6000 осіб, а популяція рисей - 125 осіб.

Далі до них доєднують потоки, що позначаються стрілками, які вказують напрямок “входу” та “виходу” особин у популяціях (накопичувачах). На рис. 3 кожна популяція регулюється природними потоками: народжуваності (HareBirth та LynxBirth) і смертності (HareDeaths та LynxDeaths) тварин.

На другому етапі додаються “параметри” або “динамічні змінні”, що регулюють вказані потоки — коефіцієнти, які характеризують ймовірність розмноження та загибелі жертв і хижаків. На рисунку 3 вони позначені невеличкими колами та відповідними підписами (HareNatality, LynxNatality та інші). Усі параметри з'єднуються з потоками за допомогою “зв'язків”, що вказують причинно-наслідкові залежності у моделі та позначаються стрілочками.

Важливою особливістю моделі є можливість динамічної зміни всіх “параметрів” безпосередньо під час моделювання у широкому діапазоні значень. Для цього у схему до відпо-

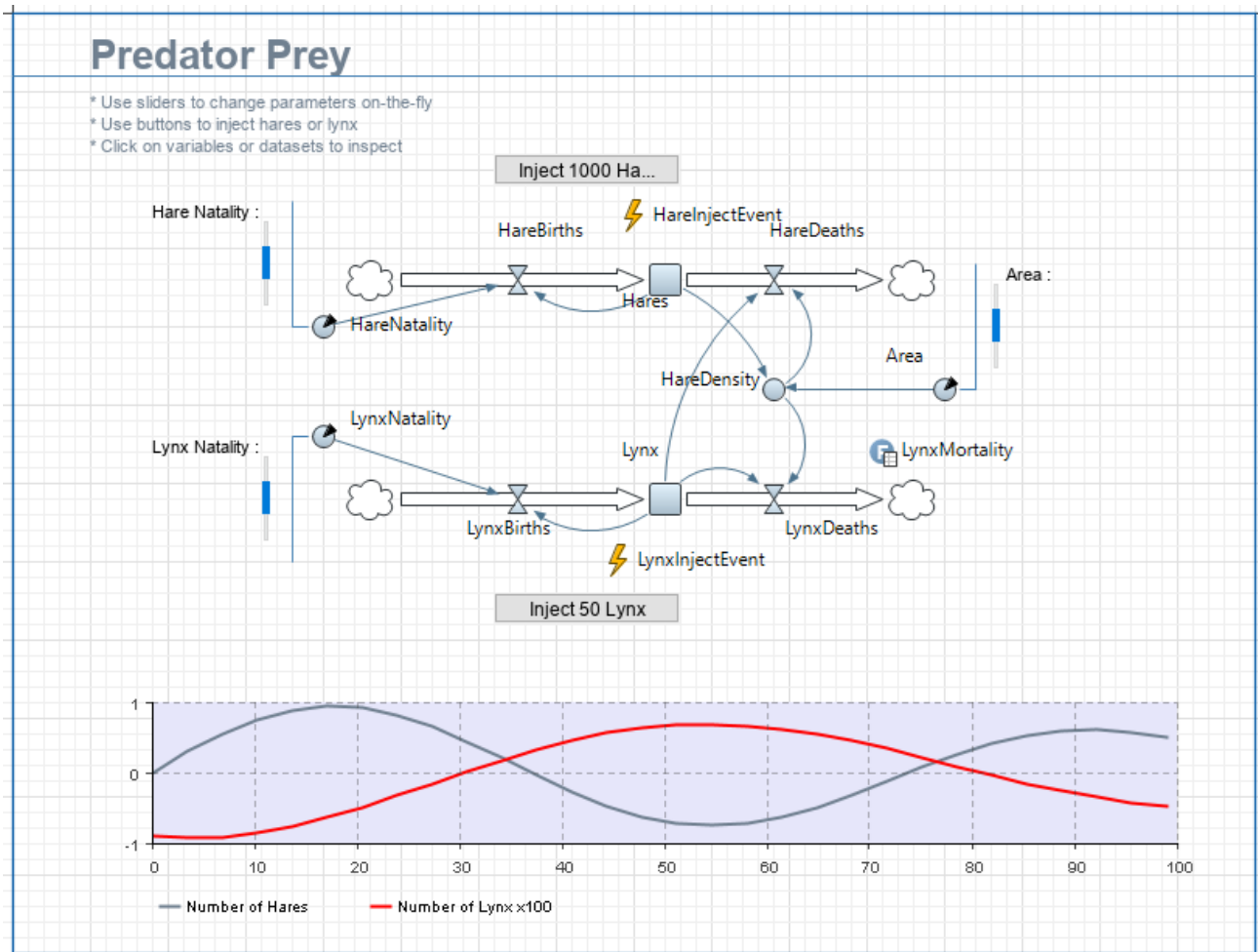


Рис. 3 – Структура моделі «хижак-жертва» (створено за допомогою платформи AnyLogic [23])

Fig. 3 – Structure of the “predator-prey” model (created using the AnyLogic platform [23])

відних параметрів додаються “повзунки”. На рис. 3 таким чином можуть регулюватись народжуваність зайців (HareNatality), народжуваність рисей (LynxNatality) та площа проживання популяцій (Area).

На третьому етапі вказуємо найголовніше – зворотні зв’язки, які існують між популяціями жертв і хижаків та забезпечують стійкість даній системі для стаціонарних умов навколишнього середовища. Логіка проста: чим більше стає жертв, тим більше стає ймовірність їх зустрічі з хижаком. Відповідно, легкість тримання їжі призводить до зростання популяції лисиць й до скорочення популяції зайців. Через певний час популяція жертв знижується до рівня при якому хижакам стає важче знайти здобич, відповідно починається

скорочуватись тепер вже популяція лисиць, а зайців стає більше. Таким чином формується стійкий зворотній негативний зв’язок між хижаками та жертвами, який обумовлює саморегуляцію вказаної системи.

На четвертому й останньому етапі складання схеми відбувається додавання часових графіків, які візуалізують результати моделювання. На рис. 3 у схему доданий лише один графік, що відображає зміну чисельності популяцій, при цьому для його наочності кількість рисей відображається як помножена на 100. Після запуску моделі на виконання відкривається нове операційне вікно у якому у динамічному режимі показується хід процесу (рис.4).

У цьому випадку модель розрахована на термін 100 років. Після запуску, на графіку,

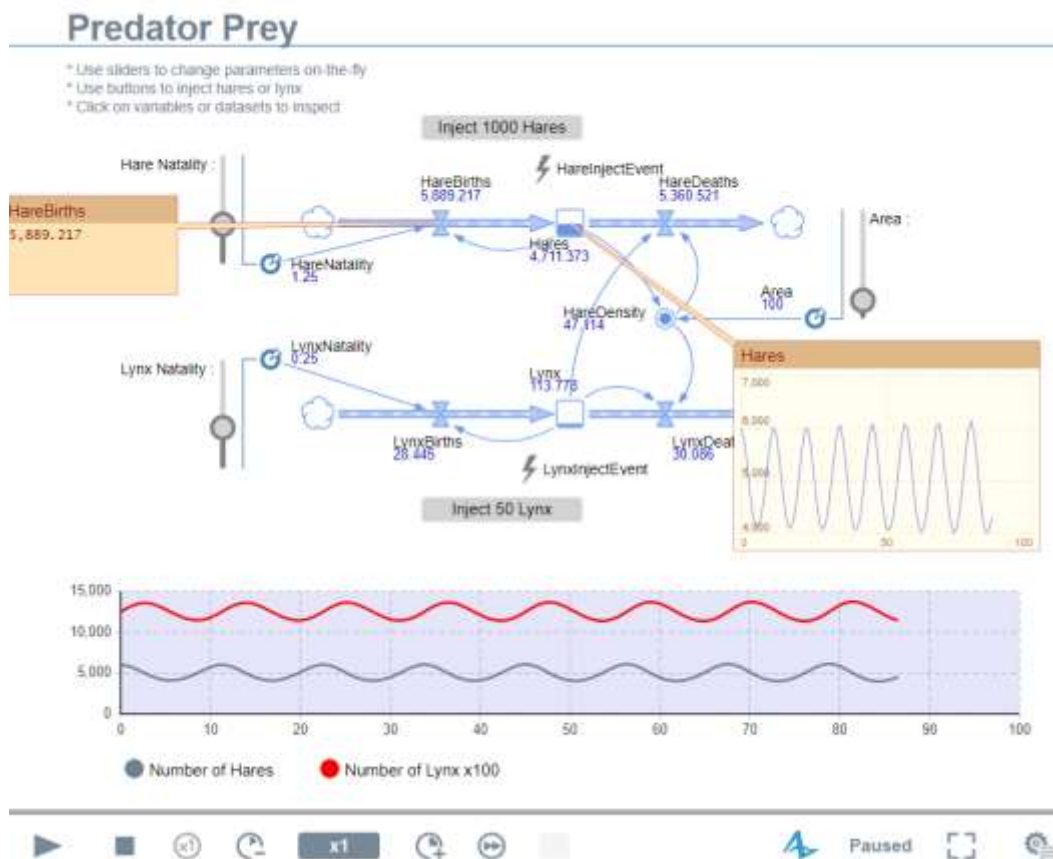


Рис. 4 – Процес виконання моделі «хижак-жертва»
(створено за допомогою платформи AnyLogic [23])

Fig. 4 – The process of implementing the “predator-prey” model
(created using the AnyLogic platform [23])

що розташований внизу рисунку можна спостерігати динамку процесу моделювання системи “хижак-жертва”. Є можливість прискорення або уповільнення фізичного часу виконання моделі. Динаміка кожного елементу моделі може бути переглянута на додаткових графіках або таблицях [28].

Представлений циклічний взаємозв'язок між хижаками та жертвами у моделі Лотки-Вольтерра відображає ключові аспекти динаміки популяцій у природних екосистемах. Цей цикл є результатом взаємодії між чисельністю обох видів і впливу одного на інший. Починаючи зі збільшення чисельності хижаків, зростає рівень споживання, оскільки більше хижаків потребує більше їжі для виживання та роз-

множення. Збільшення рівня споживання хижаків призводить до зменшення кількості жертв, через те, що вони стають більш вразливими та менш доступними для хижаків. У зв'язку зі зменшенням кількості доступної їжі, хижаки також починають зменшуватися. Це може бути зумовлено нестачею ресурсів для утримання великої популяції хижаків. Після зменшення кількості хижаків, популяція жертв може почати відновлюватися, оскільки тепер менше хижаків полює на них. Зі збільшенням популяції жертв знову збільшується доступна їжа для хижаків, що може призвести до нового зростання чисельності хижаків.

Цей цикл продовжується, створюючи коливання в чисельності обох популяцій. Ці

циклічні зміни в чисельності властиві системам "хижак-жертва" і вказують на те, як взаємодія між видами може впливати на стабільність та динаміку екосистем.

Внесемо зміни хід моделювання шляхом різкого зростання народжуваності зайців та рисей. На рисунку 5 репрезентовані результати прогнозу зміни популяцій на 100 років за трьома сценаріями розвитку подій. Перші 30 років моделювання відбувається за початковими установками системи. Період з 30-го року по 60-й рік характеризує ситуації, коли різко збільшився коефіцієнт народжуваності жертв. Останній період, від 60-го року до 100-го року, показує зміни які відбулись при збільшенні народжуваності хижаків удвічі.

Результати аналізу доводять, що кожного разу система виводиться зі стану рівноваги, але з часом повертається до нього з вже іншими стабільними параметрами. Відмітимо

зручність перегляду результатів прогнозування, адже динамічна візуалізація процесу дає змогу виявити помилки під час створення схеми та перевірити адекватність моделі [29].

Додатковою опцією моделі "Predator Prey" є можливість уведення у систему додаткової кількості особин будь-якої з популяції відповідними кнопками: HareInjectEvent і LynxInjectEvent. На рисунку 6 представлений результат моделювання у випадку миттєвого "додавання" певної кількості хижаків. Так, після 50-го року до системи було уведено додатково 100 рисей. Проте навіть за таких умов гомеостаз цієї замкненої ідеальної системи остаточно порушити не вдалось. Звісно можна створити умови за яких система втратить баланс і буде зруйнована, саме про такі "червоні лінії" йшлося на початку.

Відмітимо важливу деталь. Для створення подібних моделей студенту немає потреби бути

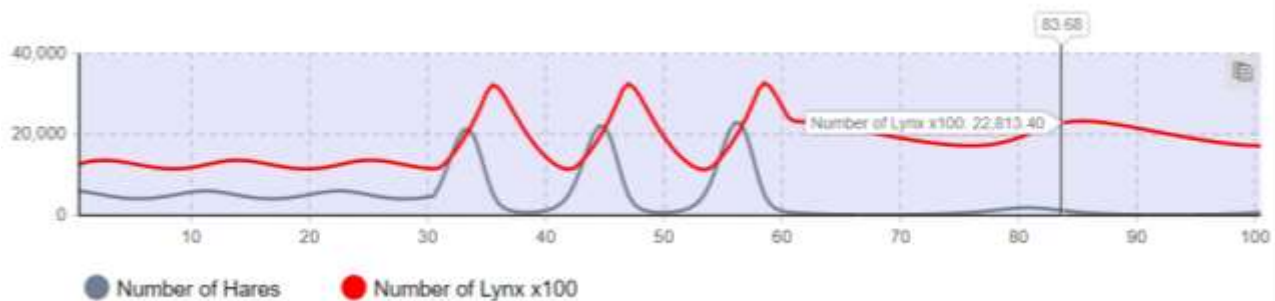


Рис. 5 – Результати моделювання моделі «хижак-жертва» за різними сценаріями народжуваності (створено за допомогою платформи AnyLogic [23])

Fig. 5 – Simulation results of the "predator-prey" model under different fertility scenarios (created using the AnyLogic platform [23])

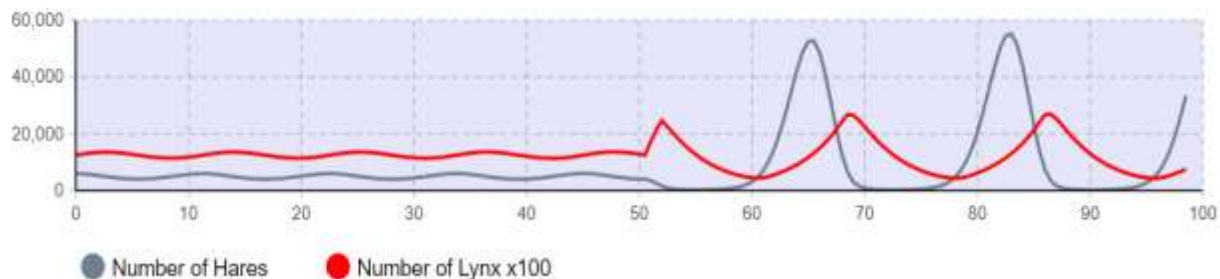


Рис. 6 – Результати моделювання моделі «хижак-жертва» за сценарієм появи додаткової кількості хижаків (створено за допомогою платформи AnyLogic [23])

Fig. 6 – Simulation results of the "predator-prey" model under the scenario of the appearance of an additional number of predators (created using the AnyLogic platform [23])

обізнаними у мовах програмування. Попри те, що в основі програми лежить мова Java користувач застосовує метод візуального програмування. Тобто побудова ієрархій структури та поведінки активних об'єктів виконується за допомогою графічних об'єктів та піктограм. Схема моделі формується в графічному редакторі, який дозволяє значно спростити роботу.

Іншим позитивним моментом є інтерактивність програми. Під час моделювання користувачі можуть спостерігати хід процесу, змінювати параметри моделі, виводити результати моделювання в різних формах і проводити різноманітні комп'ютерні експерименти з моделлю.

Висновки

Використання комп'ютерного моделювання у навчальному процесі є надзвичайно важливим для студентів екологічних спеціальностей. Підготовка студентів екологічних спеціальностей не може вважатися повною без надання їм знань і практичних навичок стосовно комп'ютерного моделювання та прогнозування стану довкілля. На ринку існують принаймні дві комп'ютерні програми імітаційного моделювання, які мають вільні версії для студентської освіти: VensimPLE й AnyLogicPLE. Досвід використання цих програмних продуктів свідчить про корисність їх застосування у навчальному процесі для опанування студентами основ імітаційного моделювання взагалі та системної динаміки зокрема. Також визначено, що AnyLogic має дружній інтерфейс користувача, широкий спектр інструментів для розробки моделей, візуалізації прогнозу та

Отже, вказані програмні продукти дозволяють студентам опанувати теоретичні та практичні аспекти імітаційного моделювання та власноруч будувати різноманітні моделі. Зокрема на подальших етапах навчання, залежно від уподобань студентів пропонується розробити такі моделі: «Гаманець», «Демографічні ресурси країни», «Деградація земельних ресурсів», «Коронавірус» й т.д. Подальшим розвитком отриманих знань та вмінь може стати виконання проектних завдань в рамках курсової або дипломної роботи для конкретних екологічних проблем [30].

аналізу, що робить цей продукт зручним і доступним для початківців. Під час використання цих програмних продуктів, студенти можуть спостерігати процес моделювання, змінювати параметри моделі, аналізувати результати моделювання та проводити різноманітні комп'ютерні експерименти. Як приклад, у роботі запропонована відома в класичній екології модель «хижак-жертва», яка дає можливість досліджувати різні варіанти розвитку подій при зміні вхідних параметрів у моделі. Важливо зазначити, що при використанні VensimPLE й AnyLogicPLE не потрібно мати глибокі знання у програмуванні. Застосування методу системної динаміки дає змогу будувати стратегічні імітаційні моделі, необхідні для ухвалення управлінських рішень у сфері природоохоронної діяльності та раціонального використання ресурсів.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що робота виконувалась в рамках науково-дослідницької роботи No 1-43-22 «Стратегія й інноваційні технології переробки органічних відходів тваринництва в контексті забезпечення нейтральної деградації земель: від лінійної до циркулярної економіки». Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Hlushak, O.M., Semenyaka, S.O., Proshkin, V.V., Sapozhnykov, S.V. and Lytvyn, O.S., 2020. The usage of digital technologies in the university training of future bachelors (having been based on the data of mathematical subjects). *CTE Workshop Proceedings* [Online]. Vol. 7. P. 210–224. DOI: <https://doi.org/10.55056/cte.354>

2. Pollock L.J., O'Connor L.M.J., Mokany K., Rosauer D.F., Talluto M.V., Thuiller W. Protecting biodiversity (in all its complexity): new models and methods. *Trends in Ecology & Evolution*. 2020. Vol. 35. N 12. P.1119-1128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.015>
3. Душечкіна Н. Вплив системи еколого-педагогічної освіти на формування екологічного світогляду здобувачів-екологів. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2022. Т.1. № 115. С.13-28. DOI: <https://doi.org/10.24139/2312-5993/2022.01/013-028>
4. Клочко О.В., Федорець В.М., Клочко В.І. Цифрове імітаційне моделювання екологічної свідомості студентів на основі аналізу ризиків прояву екофобних тенденцій. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2021. Т. 60. С.232-246. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2021-60-232-247>
5. Кремень В.Г. Методологічні засади використання інформаційно-комунікаційних технологій в сучасній освіті. *Інформаційно-комунікаційні технології в сучасній освіті: досвід, проблеми, перспективи*. 2017. Т. 5. 3-9.
6. Гуревич Р.С., Кадемія М.Ю., Опушко Н.Р. Цифрові технології в закладах вищої освіти: виклики сучасного суспільства. *Abstracts of the 5th International scientific and practical conference*. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2020. P. 246-252. URL: <https://scicong.com.ua/v-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-modernscience-problems-and-innovations-26-28-iyulya-2020-goda-stokgolm-shvetsiyaarhiv/>
7. Haleema A., Javaida M., Qadri M.A., Sumanc R. Understanding the role of digital technologies in education. *Sustainable Operations and Computers*. 2022. Vol. 3. P.275-285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
8. On approval of the standard of higher education in specialty 101 "Ecology" for the first (bachelor's) level of higher education. 2018. Order No. 1076 dated 04.10.18. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/101-ekologiya-magistr.pdf>
9. Мандрик О.М., Мальований М.С., Орфанова М.М. Екологічна освіта та екологічне виховання. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2019. Т. 10. № 1. С.130-139. DOI: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1\(19\)-130-139](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1(19)-130-139)
10. Ситник В. Ф., Орленко Н. С. Імітаційне моделювання: Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. К.: КНЕУ, 1999. 208 с.
11. Zatsepina M., Popova O., Filippova A., Muskhanova I., Yakhyaeva A., Ishmuradova A. Conditions and technologies of students ecological culture formation. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*. 2017. Vol. 12. P.673-683. DOI: <https://doi.org/10.12973/ejac.2017.00201a>
12. Нічишина В.В. Про математичне моделювання екологічних процесів як засіб розвитку екологічної культури особистості учня загальноосвітньої школи. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2021. Т.198. С.145-148. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2021-1-198-145-148>
13. Бачинський Г. О. Математико-картографічне моделювання соціоекосистем – провідний метод прикладної соціоекології. *Проблеми урбоекології: темат. зб. наук. праць*. Київ: НОК ВО, 1992. 160 с.
14. Вітлінський В. В., Коляда Ю.В., Трохановський В.І. Моделювання процесів функціонування навчального закладу щодо надання освітніх послуг. *Наукова складова навчального процесу та інноваційні технології його розвитку: зб. матеріалів наук.-метод. конф. 12 квіт. 2011 р.* Київ: КНЕУ, 2011. Т. 2. с. 571–573. URI <https://ir.kneu.edu.ua:443/handle/2010/10229>
15. Качинський А.Б. Безпека складних систем: математичне моделювання небезпечних процесів і системний аналіз її забезпечення. К.: «Азимут-Україна», 2016. 498 с.
16. Богобоящий В. В., Курбанов К. Р., Палій П. Б., Шмандій В. М. Принципи моделювання та прогнозування в екології. Київ : Центр навчальної літератури, 2018. 216 с.
17. Власюк Ю.О. Особливості імітаційного моделювання економічних систем. *Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки)*. 2013. №4(24). С. 303-305. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/1344/1/1140.pdf>
18. Ус С. А., Палехова Л. Л. Моделювання сталого розвитку: навч. посіб. Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : вид-во «Свідлер А.Л». 2024. 160 с.
19. Ouyang H., Cui X., Peng X., Udemba E.N. Reverse knowledge transfer in digital era and its effect on ambidextrous innovation: a simulation based on system dynamics. *Heliyon*. 2023. Vol. 9. N 12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22717>
20. Zhang T., Shaikh Z.A., Yumashev A.V., Chład M. Applied model of e-learning in the framework of education for sustainable development. *Sustainability*. 2020. Vol.12. N 16. P.6420. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12166420>
21. Jay W. Forrester. *Urban Dynamics*. M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1969. 290 p.
22. Фоменко О.О., Чечельницький С.Г. Коефіцієнт екологічного сліду архітектури як фактор формування національних зелених стандартів. *Український журнал будівництва та архітектури*, 2023. No 5 (017). С. 110-119 DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.241023.110.999>
23. Vensim. URL: <https://vensim.com/vensim-personal-learning-edition/>

24. AnyLogic. URL: <https://www.anylogic.com/> <https://the.anylogic.company/contacts/>
25. Mahdavi A. The art of process centric modeling with anylogic. 2020. URL: <https://www.anylogic.com/resources/books/the-art-of-process-centric-modeling-with-anylogic/>
26. Ibarra-Vazquez G., Ramírez-Montoya M.S., Buenestado-Fernández M., Olague G. Predicting open education competency level: a machine learning approach. *Heliyon*. 2023. 9(11). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20597>
27. Lev I., Zimmer M. Predator-prey interactions: Strategic biting. *Current Biology*. 2022. Vol. 32. N 8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.03.026>
28. Malthus T.R. An essay on the principle of population, as it affects the future improvement of society. London: Science; 1798. 324 p.
29. Poggiato G., Münkemüller T., Bystrova D., Arbel J., Clark J.S., Thuiller W. On the interpretations of joint modeling in community ecology. *Trends in Ecology & Evolution*. 2021. Vol.36. N 5. P.391-401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.01.002>
30. Федулова Л.І. Тенденції розвитку та впровадження цифрових технологій для реалізації цілей сталого розвитку. *Економіка природокористування і сталий розвиток*. 2019.Т. 6. № 25.С. 6-14. DOI: [https://doi.org/10.37100/2616-7689/2019/6\(25\)/1](https://doi.org/10.37100/2616-7689/2019/6(25)/1)

Стаття надійшла до редакції 02.01.2024

Стаття рекомендована до друку 24.05.2024

A. G. KOT¹,

PhD Student of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: anna.kot@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4700-2620>

A. B. ACHASOV¹, DSc (Agriculture), Prof.,

Acting Head of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: achasov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5009-7184>

O. YU. SELIVERSTOV¹,

PhD Student of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: oleg.seliverstov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8477-274X>

V. G. KARPOV¹,

Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management
e-mail: karpov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9905-0277>

¹V. N. Karazin Kharkiv National University,
6, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

SIMULATION MODELING TOOLS IN TRAINING ENVIRONMENTAL SCIENCE STUDENTS

The use of computer modeling and forecasting for the analysis and prediction of complex systemic processes, particularly in the field of environmental protection, is extremely important. For students of ecological specialties, proficiency in modeling is a key aspect. There are at least two computer simulation programs available on the market with free versions for student education: VensimPLE and AnyLogicPLE. They enable the use of simulation modeling and system dynamics for analyzing and predicting ecological processes. Students are provided with the opportunity to create and study various scenarios using mathematical models. Students are encouraged to create and investigate the "Predator Prey" model, which is based on the Volterra-Lotka system of differential equations. The model describes the dynamics of predator and prey populations in a closed and stationary system. Based on equations that consider the reproduction and mortality of both species, students need to explore the interaction between populations under different input parameters. The model has two stages: initially, accumulators with initial population values are created, then parameters regulating flows are added. Using the example of the provided model, the possibility of studying the impact of various factors on ecosystem dynamics and understanding it more deeply is highlighted.

Conclusions. The application of system dynamics methodology allows for the construction of strategic simulation models necessary for making management decisions in the field of environmental protection and rational resource use. This is important for the practical application of students' knowledge in their future professional activities.

Such skills will help them effectively influence the state of the environment and make informed decisions regarding its conservation.

KEYWORDS: *computer modeling, forecasting, system dynamics, simulation modeling, environmental science, VensimPLE, AnyLogicPLE*

References

1. Hlushak, O.M., Semenyaka, S.O., Proshkin, V.V., Sapozhnykov, S.V. & Lytvyn, O.S., (2020). The usage of digital technologies in the university training of future bachelors (having been based on the data of mathematical subjects). *CTE Workshop Proceedings* [Online], 7, 210–224. <https://doi.org/10.55056/cte.354>
2. Pollock, L. J., O'Connor, L. M.J., Mokany, K., Rosauer, D.F., Talluto, M. V. & Thuiller, W. (2020). Protecting biodiversity (in all its complexity): new models and methods. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(12), 1119-1128. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.015>
3. Dushechkina, N. (2022). Influence of the ecological-pedagogical education system on the formation of the ecological worldview of ecology students. *Pedagogical Sciences: Theory, History, Innovative Technologies*, 1(115), 13-28. <https://doi.org/10.24139/2312-5993/2022.01/013-028> (in Ukrainian)
4. Klochko, O.V., Fedorets, V.M., & Klochko, V.I. (2021). Digital simulation modeling of students' ecological consciousness based on the analysis of risks of eco-phobic tendencies. *Modern Information Technologies and Innovative Teaching Methods in the Training of Specialists: Methodology, Theory, Experience, Problems*, 2021, 60, 232-246. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2021-60-232-247> (in Ukrainian)
5. Kremen, V.G. (2017). Methodological principles of using information and communication technologies in modern education. *Information and Communication Technologies in Modern Education: Experience, Problems, Prospects: Collection of Scientific Works*, 5, 3-9. (in Ukrainian)
6. Gurevich, R.S., Kademiya, M.Y., & Opushko, N.R. (2020). Digital technologies in higher education institutions: challenges of modern society. *The 5th International scientific and practical conference – Modern science: problems and innovations*. Stockholm, Sweden. <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/07/MODERN-SCIENCE-PROBLEMS-AND-INNOVATIONS-26-28.07.20.pdf> (in Ukrainian)
7. Haleema, A., Javaid, M., Qadri, M. A. & Sumanc, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
8. On approval of the standard of higher education in specialty 101 "Ecology" for the first (bachelor's) level of higher education. (2018). Order No. 1076 dated 04.10.18. Available from: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/101-ekologiya-magistr.pdf>
9. Mandryk, O.M., Malovanyi, M.S., & Orfanova, M.M. (2019). Environmental education and environmental upbringing. *Environmental Safety and Sustainable Resource Use*, 10(2), 130-139. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1\(19\)-130-139](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1(19)-130-139) (in Ukrainian)
10. Sytnyk V.F., & Orlenko N.S. (1999). Simulation modeling. Kyiv: KNEU
11. Zatssepina, M., Popova, O., Filippova, A., Muskhanova, I., Yakhyaeva, A. & Ishmuradova, A. (2017). Conditions and technologies of students' ecological culture formation. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 12, 673-683. <https://doi.org/10.12973/ejac.2017.00201a>
12. Nichishina, V.V. (2021). On mathematical modeling of ecological processes as a means of developing the ecological culture of school students. *Scientific Notes. Series: Pedagogical Sciences*, 198, 145-148. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2021-1-198-145-148> (in Ukrainian)
13. Bachynskyi, G. O. (1992). Mathematical and cartographic modeling of socio-ecosystems – a leading method of applied socioecology. *Problems of urboecology*. Kyiv: NOK VO. (in Ukrainian)
14. Vitlinskyi, V.V., Kolyada, Yu.V. & Trokhanovskyi, V.I. (2011). Modeling of educational institution functioning processes regarding the provision of educational services. Proceedings of the science and method. conf.: The scientific component of the educational process and innovative technologies of its development, (April 12 2011), Kyiv: KNEU, 2, 571–573. URI <https://ir.kneu.edu.ua:443/handle/2010/10229> (in Ukrainian)
15. Kachynsky, A.B. (2016). Security of complex systems: mathematical modeling of dangerous processes and system analysis of its support. Kyiv: "Azimut-Ukraine". (in Ukrainian)
16. Bogoboyachy, V. V., Kurbanov, K. R., Palii, P. B. & Shmandiy, V. M. (2018). Principles of modeling and forecasting in ecology. Kyiv: Center for Educational Literature. (in Ukrainian)

17. Vlasyuk, Yu.O. (2013). Features of simulation modeling of economic systems. *Collection of scientific works of Tavriyya State Agro-Technological University (Economic Sciences)*. (4(24)). 303 - 305. <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/1344/1/1140.pdf> (in Ukrainian)
18. Us, S. A. & Palekhova, L. L. (2024). Modeling of sustainable development: training manual National technical "Dniprovsk Polytechnic" University. Dnipro: "Svidler A.L."
19. Ouyang, H., Cui, X., Peng, X., & Udemba, E. N. (2023). Reverse knowledge transfer in the digital era and its effect on ambidextrous innovation: A simulation based on system dynamics. *Heliyon*, 9(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22717>
20. Zhang, T., Zaffar, A. S., Yumashev, A.V. & Chład, M. (2020). Applied Model of E-Learning in the Framework of Education for Sustainable Development. *Sustainability*, 12(16), 6420. <https://doi.org/10.3390/su12166420>
21. Forrester, Jay W. (1969). *Urban Dynamics*. M.I.T. Press, Cambridge, Mass.
22. Fomenko, O.O. & Chechelnytsky, S.G. (2023). The ecological footprint coefficient of architecture as a factor in the formation of national green standards. *Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture*, (5(017)), 110-119. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.241023.110.999> (in Ukrainian)
23. Vensim. <https://vensim.com/vensim-personal-learning-edition/>
24. AnyLogic. <https://www.anylogic.com/> <https://the.anylogic.company/contacts/>
25. Mahdavi, A. (2020). The Art of Process Centric Modeling with Anylogic. <https://www.anylogic.com/resources/books/the-art-of-process-centric-modeling-with-anylogic/>
26. Ibarra-Vazquez, G., Soledad Ramírez-Montoya, M., Buenestado-Fernández, M., & Olague G. (2023). Predicting open education competency level: A machine learning approach. *Heliyon*, 9(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20597>
27. Lev, I. & Zimmer, M. (2022). Predator–prey interactions: Strategic biting. *Current Biology*, 32(8). <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.03.026>
28. Malthus, T.R. (1798). *An Essay on the Principle of Population, as it affects the future improvement of society*. London: Science.
29. Poggiato, G., Münkemüller, T., Bystrova, D., Arbel, J., Clark, J. S. & Thuiller, W. (2021). On the Interpretations of Joint Modeling in Community Ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(5), 391-401. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.01.002>
30. Fedulova, L.I. (2020). Trends in the development and implementation of digital technologies for achieving sustainable development goals. *Economics of Nature Management and Sustainable Development*, 7(2.6), 6-14. [https://doi.org/10.37100/2616-7689/2019/6\(25\)/1](https://doi.org/10.37100/2616-7689/2019/6(25)/1) (in Ukrainian)

The article was received by the editors 02.01.2024

The article is recommended for printing 24.05.2024

Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: «Екологія» є збірником наукових робіт, який включено до Переліку ВАК фахових видань, в яких можна публікувати основні результати дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора і кандидата географічних наук (спеціальності 101,103) та біологічних наук (спеціальності 091,101).

До публікації приймаються статті, які написані українською або англійською мовами згідно з правилами для авторів і отримали позитивні рекомендації рецензентів.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Електронна версія оформляється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 11, міжрядковий інтервал 1,0, всі поля по 2,5 см. Жирним шрифтом виділяються підзаголовки у статті; курсив допускається лише у виняткових випадках.

Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті. Ілюстрації подаються чорно-білими. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці.

Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання – по ширині.

Відступ для абзацу – 1,00 см.

Для статей необхідно вказати УДК (UDC): (зліва, розмір 11), ініціали та прізвище автора, науковий ступінь, звання та посаду (розмір 11, по центру), e-mail та <https://orcid.org/> усіх співавторів, повну назву установи та її адреса (розмір 10, по центру).

Анотація має бути структурованою для експериментальних робіт, тобто обов'язково вказати:

Мета. Методи. Результати. Висновки.

Текст статті має відповідати вимогам ВАК. Посилання на джерела у статті давати в прямокутних дужках [] із зазначенням номера в порядку посилання у тексті, а в окремих випадках і сторінок.

Список використаної літератури обов'язково оформляється за ДСТУ 8302:2015, обов'язково містити джерела, що опубліковані не більше 5 років тому: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Кількість посилань має бути не менше 15. Обов'язково вказувати DOI або URL-електронну адресу посилань.

Через 2 інтервали також подати прізвище, науковий ступінь, наукове звання та посаду, e-mail та <https://orcid.org/>, організацію, її повну адресу, назву статті, розширену анотацію та ключові слова *англійською мовою*: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Анотація повинна бути побудована як реферат у реферативних журналах та відражати суть експериментів, основні результати та їх інтерпретацію. Для експериментальних статей подати структуровані резюме де має бути вказані слова: **Purpose. Methods. Result. Conclusion.**; та **KEY WORDS** (ключові слова) – 5-6 слів

Подати також **References**, за стандартом APA (прізвище, ініціали, назва - англійською, та **Retrieved from** або **DOI**, наприкінці у дужках (In Ukrainian)

Адреса редакції: навчально-науковий інститут екології, 4 поверх, к. 483а,

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

пл. Свободи, 6, Харків, Україна, 61022

тел. +38-057- 707-53-86 e-mail: visnykecology@karazin.ua

ecology.journal@karazin.ua

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

Наукове видання

**ВІСНИК ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА**

**СЕРІЯ «ЕКОЛОГІЯ»
Вип. 30**

Збірник наукових праць

Українською та англійською мовами

Макетування та комп'ютерне верстання
Баскакова Л. В.

Підписано до друку 27.05.2024 Формат 60 x 84 ¹/₈ . Папір офсетний.
Друк ризографічний

Ум. друк. арк. 8,6. Обл.-вид. арк. 9,9
Наклад 100 пр. Зам.

61022 Харків, майдан Свободи, 6
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Надруковано ХНУ імені В. Н. Каразіна
61022, Харків, майдан Свободи, 4.
Тел. 705-24-32
Видавництво

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09