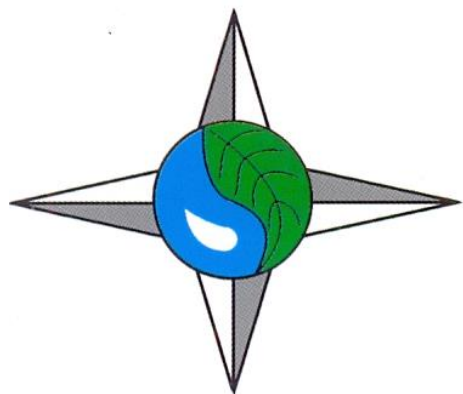


ISSN 2311-0902 (print)
ISSN 2616-7271 (online)



Номер 34-35

2025

Issue 34-35

УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Ukrainian Hydrometeorological Journal

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Ministry of Education and Science of Ukraine

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА

Odesa I. I. Mechnikov National University

**У К Р А Ї Н С Ь К И Й
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ
ЖУРНАЛ**

Ukrains'kij Gidrometeorologičnij Žurnal

Ukrainian Hydrometeorological journal

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Scientific Journal

Друкується 2 рази на рік

Issued: 2 times a year

Заснований у 2005 р.

Founded in 2005 y.

№ 34-35, 2025

Одеса

ОНУ

2025

Засновник і видавець:
*Одеський національний університет імені
І. І. Мечникова*

Головний редактор
В. А. Овчарук, д-р геогр. наук, професор,
завідувачка кафедри гідрології суші
(Одеський національний університет імені
І. І. Мечникова)

Заступник головного редактора
А. В. Чугай, д-р техн. наук, професор,
завідувачка кафедри екології та охорони довкілля
(Одеський національний університет імені
І. І. Мечникова)

Члени редакційної колегії

О. А. Бакланов, доктор фізико-математичних наук, професор з метеорології і геофізики, старший науковець Данського метеорологічного інституту, запрошений професор Інституту Нільса Бора Копенгагенського університету (Данія); **М. А. Берлінський**, д-р геогр. наук, проф., завідувач кафедри океанології та морського природокористування ОНУ ім. І. І. Мечникова; **В. В. Гребін**, д-р геогр. наук, проф., завідувач кафедри гідрології та гідроекології Київського національного університету ім. Тараса Шевченка; **Н. С. Лобода**, доктор географічних наук, професор, професор кафедри гідрології суші ОНУ ім. І. І. Мечникова; **Д. В. Лукашов**, д-р біол. наук, проф. кафедри екології та охорони навколишнього середовища, зав. кафедри екології та зоології Київського національного університету ім. Тараса Шевченка; **О. Макарінський**, PhD в географії, пров. наук. співроб., Австралійський інститут морських наук, дослідницький центр "Арафура-Тимор" (Австралія); **О. В. Мудрак**, д-р с.-г. наук, проф., зав. кафедри екології, природничих та математичних наук ПХС "Вінницька академія безперервної освіти"; **А. М. Польовий**, д-р геогр. наук, проф., кафедри агрометеорології та агроекології ОНУ ім. І. І. Мечникова; **Т. А. Сафранов**, д-р геол.-мінер. наук, проф. кафедри екології та охорони довкілля ОНУ ім. І. І. Мечникова; **І. Г. Семенова**, д-р геогр. наук, доцент, дослідник Піренейського інституту екології Іспанської національної дослідницької ради (IPE-CSIC), Сарагоса, Іспанія; **С. М. Степаненко**, д-р фіз.-мат. наук, проф., головний науковий співробітник відділу інтеграції науки, освіти та бізнесу Державної установи «Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень НАН України»; **Ю. С. Тучковенко**, д-р геогр. наук, проф., провідний науковий співробітник відділу методології моніторингу та прогнозування Інституту морської біології НАН України; **М. М. Федоряк**, д-р біол. наук, проф. та зав. кафедри екології та біомоніторингу Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича; **В. М. Хохлов**, д-р геогр. наук, проф. кафедри метеорології та кліматології ОНУ ім. І. І. Мечникова; **Ж. Р. Шакірянзова**, д-р геогр. наук, проф. кафедри гідрології суші ОНУ ім. І. І. Мечникова.

Редактор англomовних текстів

А. В. Іванченко, канд. філол. наук, доц. кафедри іноземних мов професійного спрямування ОНУ ім. І. І. Мечникова.

Відповідальний секретар

О. М. Соборова, канд. геогр. наук, доц. кафедри водних біоресурсів та аквакультури ОНУ ім. І. І. Мечникова

“Український гідрометеорологічний журнал” є спеціалізованим науковим виданням, в якому публікуються результати фундаментальних та прикладних наукових досліджень у напрямках “Гідрометеорологія” (метеорологія і кліматологія; агрометеорологія; гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія; океанологія) спеціальності «Науки про Землю» та «Екологічні аспекти природокористування» спеціальності «Екологія» з метою інформування про сучасні наукові досягнення українських та зарубіжних дослідників, розвитку вищої освіти, оприлюднення результатів наукових досліджень з теоретичних та прикладних аспектів вирішення актуальних проблем у відповідних або суміжних областях науки.

Журнал призначений для науковців, науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти, студентів, аспірантів та докторантів, фахівців у галузі природничих наук за спеціальностями 103 «Науки про Землю» та 101 «Екологія».

Ukrainian Hydrometeorological Journal publishes the original results of fundamental and applied research in the following fields: ‘Hydrometeorology’ (Meteorology and Climatology; Agricultural Meteorology; Hydrology, Water Resources, Hydrochemistry; Oceanography) of the specialty ‘Earth Sciences’ and ‘Environmental Aspects of Nature Management’ of the specialty ‘Environmental Sciences’. The objective of the Journal consists in presenting the information on modern scientific achievements of Ukrainian and foreign researchers, promoting the development of higher education, and publishing the original research works on theoretical and applied aspects of solving the topical problems in respective and closely-related areas of science.

The Journal is intended for use by scientists, academic staff of higher education institutions, students, postgraduate students, researchers and experts in the sphere of the Natural Sciences' specialties such as ‘Earth Sciences’ and ‘Environmental Sciences’.

Founder and Publisher:
Odesa I. I. Mechnikov National University

Editor-in-Chief
Valeriya A. Ovcharuk, D. Sc. in Geography,
Prof., Head of the Department of Land Hydrology
(Odesa I. I. Mechnikov National University),
Ukraine

Deputy Editor-in-Chief
Angelina V. Chugai, D.Sc. in Technology,
Prof., Head of the Department of Ecology and Environmental Protection
(Odesa I. I. Mechnikov National University),
Ukraine

Members of the Editorial Board

Alexander A. Baklanov, D. Sc. in Physics and Mathematics, Prof. of Meteorology, Geophysics, Senior Scientist / Project Leader at Danish Meteorological Institute, Research Department; Adjoint Professor at the Niels Bohr Institute of the University of Copenhagen, Denmark; **Mykola A. Berlinskyi**, D. Sc. in Geography, Prof., Head of the Department of Oceanography and Marine Nature Management of ONU, Ukraine; **Mariia M. Fedoriak**, D.Sc. in Biology, Prof. and Head of the Department of Ecology and Biomonitoring of Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine; **Vasyl V. Grebin**, D. Sc. in Geography, Prof., Head of the Department of Hydrology and Hydroecology of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine; **Valeriy M. Khokhlov**, D. Sc. in Geography, Prof. of the Department of Meteorology and Climatology of ONU, Ukraine; **Nataliya S. Loboda**, D. Sc. in Geography, Prof. of the Department of Land Hydrology ONU, Ukraine; **Dmitriy V. Lukashov**, D. Sc. in Biology, Prof. of the Department of Ecology and Environmental Protection, Head of the Department of Ecology and Zoology of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine; **Oleg Makarynskyi**, PhD in Geography, Lead Researcher, Australian Institute of Marine Science, Arafura Timor Research Facility, Australia; **Oleksandr V. Mudrak**, D. Sc. in Agriculture, Prof., Head of the Department of Ecology, Nature and Mathematic Sciences of Vinnytsia Academy of Continuing Education, Ukraine; **Anatoliy M. Poloviy**, D. Sc. in Geography, Prof. of the Department of Agrometeorology and Agroecology of ONU, Ukraine; **Tamerlan A. Safranov**, D. Sc. in Geology and Mineralogy, Prof. of the Department of Ecology and Environmental Protection of ONU; **Inna Semenova**, D. Sc. in Geography, Assoc. Prof., Researcher at the Pyrenean Institute of Ecology, Spanish National Research Council (IPE-CSIC), Zaragoza, Spain; **Sergiy M. Stepanenko**, D. Sc. in Physics and Mathematics, Prof., Chief Research Scientist of the Department of Science, Education and Business Integration, State Institution “Institute of Market and Economic-Ecological Research of the National Academy of Sciences of Ukraine”; **Zhanetta R. Shakhirzanova**, D. Sc. in Geography, Prof. of the Department of Land Hydrology of OSENU, Ukraine., **Yu. S. Tuchkovenko**, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Leading Research Scientist of the Department of Monitoring and Forecasting Methodology, Institute of Marine Biology of the National Academy of Sciences of Ukraine

Editor of texts in English

Andrii Ivanchenko, PhD in Philology, Assoc. Professor of the Department of Foreign Languages for Specific Purposes, Odesa I. I. Mechnikov National University

Executive Secretary

Olga. M. Soborova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Odesa I. I. Mechnikov National University



В процесі підготовки номера до друку було використано Систему виявлення збігів / ідентичності / схожості **STRIKEPLAGIARISM** для пошуку текстового збігу

ЗМІСТ

CONTENTS

Метеорологія і кліматологія

Meteorology and Climatology

- Прокоф'єв О. М., Гончарова Л. Д.* Оцінка весняних регіональних відгуків термічного режиму північно-західного Причорномор'я на зміну глобального клімату **5** *Prokofiev O. M., Goncharova L. D.* Assessment of spring regional responses of the thermal regime of the Northwestern Black Sea region to global climate change
- Семергей-Чумаченко А. Б., Шепель В. В.* Зміни метеорологічних характеристик Північної Атлантики в умовах глобального потепління **18** *Semerhei-Chumachenko A. B., Shepel V. V.* Changes in meteorological characteristics of the North Atlantic under global warming
- Хоменко І. А., Марчишин Р. М.* Тренди та мінливість снігового покриву в Славському в період 1948–2020 рр. в умовах зміни клімату **32** *Khomenko I., Marchyshyn R.* Trends and variability of snow cover in Slavsko during 1948–2020 under climate change

Агрометеорологія

Agricultural Meteorology

- Нікітін П. С., Ільїна В. Г.* Аналіз та оцінка сучасних умов вирощування ярого ячменю з урахуванням біогенного навантаження та змін клімату в Одеській області **44** *Nikitin P. S., Ilina V. G.* Analysis and assessment of current conditions for spring barley cultivation taking into account biogenic load and climate change in the Odesa region

Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія

Hydrology and Water Resources, Hydrochemistry

- Овчарук В. А., Кущенко Л. В., Тимко О. С., Роїк В. В.* Обґрунтування граничних модулів схилового припливу під час весняного водопілля на річках Вінницької області в сучасних кліматичних умовах **54** *Ovcharuk V. A., Kushchenko L. V., Tymko O. S., Roik V. V.* Justification of the limiting modules of slope inflow during the spring flood on the rivers of Vinnytsia region under current climate conditions

Екологічні аспекти природокористування

Environmental Aspects of Nature Management

- Шелінговський Д. В., Сафранов Т. А.* Особливості забруднення важкими металами ґрунтового покриву міста Одеса **67** *Shelinhovskiy D. V., Safranov T. A.* Peculiarities of heavy metal contamination of the soil cover in the city of Odesa

- Чугай А. В., Донцов М. Ю., Лавров Т. В., Шапочка М. О. Методичні аспекти оцінки техногенного впливу на повітряний басейн (на прикладі Одеської промислово-міської агломерації) **76** Chugai A. V., Dontsov M. Y., Lavron T. V., Shapochka M. O. Methodological aspects of assessing the technogenic impact on the air basin (on the example of the Odesa industrial-urban agglomeration)
- Владимирова О. Г., Сапко О. Ю. Виконання екологічної складової угоди про асоціацію Україна – ЄС: стан імплементації, проблеми та перспективи **83** Volodymyrova O. H., Sapko O. Y. Implementation of the environmental component of the Ukraine–EU association agreement: current status, challenges, and prospects
- Приходько В. Ю., Ільїна А. О. Дослідження фітогенного компоненту урбосистеми з використанням кількісних індикаторів озеленення міста **91** Prykhodko V. Yu., Ilina A. O. Research of the phytogenic component of the urbosystem using quantitative indicators of city greening
- Колісник А. В., Трахтенберг В. І., Сербов М. Г. Методологічні підходи формування інноваційної моделі інтегрованого управління прісноводними ресурсами на регіональному рівні **100** Kolisnyk A. V., Trakhtenberh V. I., Serbov M. G. Methodological approaches to forming an innovative model of integrated freshwater resources management at the regional level
- Грабко Н. В., Романчук М. Є. Аналіз водопостачання та водовідведення в областях України **111** Hrabko N. V., Romanchuk M. Ye. Analysis of water supply and wastewater services in the regions of Ukraine
- Юрасов С. М., Терзєман В. В. Статистичні методи в управлінні якістю річкових вод згідно вимог Водної рамкової директиви. **121** Yurasov S. M., Terzeman V. V. Statistical methods in river water quality management in accordance with the requirements of the water framework directive
- Ложніков О. В., Адамова В. О., Ломазов П. К. Оцінка можливості використання вод в рекреаційних цілях у залишкових вироблених кар'єрах Дніпровського району **130** Lozhnikov O. V., Adamova V. O., Lomazov P. K. Assessment of the suitability of residual quarry waters in the Dnipro district for recreational use

УДК 551.525.4:551.583 (477.7)

ОЦІНКА ВЕСНЯНИХ РЕГІОНАЛЬНИХ ВІДГУКІВ ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я НА ЗМІНУ ГЛОБАЛЬНОГО КЛІМАТУ

О. М. Прокоф'єв^{1,2}, Л. Д. Гончарова¹,

¹ Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна,

² Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України
leggg0707@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5669-0181>;
goncharova.luda.50@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6340-2424>

У статті, на прикладі станцій Одеської області, пропонується статистичний підхід до визначення регіональних відгуків в температурному режимі Північно-Західного Причорномор'я у зв'язку з глобальною зміною клімату. На першому етапі аналізуються основні кількісні показники середньої місячної температури повітря для 10 станцій Одеської області за 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. Визначено, що від першого до другого тридцятиріччя весни в регіоні стали в середньому теплішими на 1,1°C. На наступних етапах на прикладі ст. Одеса проведено дослідження багаторічних змін показників середньодобової температури повітря, яка більш детально відбиває особливості часового розподілу температури повітря, ніж середня місячна. Використовуючи базу емпіричних даних за 1909 весняних днів періоду 2001-2023 рр., проаналізована динаміка міждобової мінливості температури повітря та визначено число днів зі середньодобовою температурою повітря у різних градаціях. Порівнюючи два періоди ХХІ століття (І – 2001-2010 рр. та ІІ – 2013-2023 рр.) визначено, що у березні від першого до другого періоду різко зростає кількість днів із середньою добовою температурою повітря в межах від 5,1 до 15,0°C: зі 43,2% до 62,1% днів; з температурою вище 15,0°C не зафіксовано ні одного випадку у перше десятиліття ХХІ століття, на відміну від періоду 2013-2023 рр.; зменшилась на 2,3% кількість днів із температурою повітря нуль градусів і нижче. У квітні в період 2001-2023 рр. переважала температура повітря в межах від 5,1 до 15,0°C і складала 88,7%. В останній місяць весни від першого до другого періоду на 1,4% зросла кількість днів із середньою добовою температурою в межах від 10,1°C до 20,0°C: від 84,8% до 86,2%, але зменшився на 0,3% показник в межах 20,1-25,0°C. У квітні та травні останніх десятиріч не зафіксовано випадків з температурою повітря нуль градусів і нижче. Проаналізована повторюваність середньої добової температури повітря в певних межах, тобто визначено середнє значення абсолютної частоти. Аналіз середньої кількості днів із середньодобовою температурою повітря на ст. Одеса за 4 багаторічні періоди (1895-1975, 1961-1990, 2001-2010, 2013-2023 рр.) дозволив визначити динаміку вказаного показника більш ніж за 100-річний період. З'ясовано, що в районі дослідження на початку ХХІ століття зросла повторюваність середньої добової температури повітря в більш високих температурних межах, що вказує на тепліші весни, порівняно з ХХ століттям.

Запропонований статистичний підхід (на прикладі конкретної станції) є певним внеском у вивчення як теоретичних, так і практичних аспектів дослідження термічного режиму окремих територій з використанням емпіричних даних. Отримані результати можуть бути враховані для перспективного планування та адаптації різних галузей економіки в умовах глобальних кліматичних змін.

Ключові слова: клімат, показники термічного режиму, календарний сезон, багаторічні характеристики, температурна мінливість.

1. ВСТУП

Проблема зміни клімату – найбільш актуальна проблема сучасності. Вона стосується як метеорологів, кліматологів, так і вчених інших напрямів, тому що має не тільки науковий та

практичний інтерес, але й соціально-економічний. З огляду на те, що в даний час проблема зміни клімату знаходиться на вищому рівні глобальних викликів ХХІ століття і пріоритетів міжнародної політики, в багатьох країнах світу вона розглядається як одна з ключо-

вих складових національної безпеки в довгостроковій перспективі [1-4].

У зв'язку з цим, концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року [5] спрямована на розробку національної кліматичної програми та запобігання зниження ризиків, пов'язаних з ними. Складність і неоднозначність зв'язків у кліматичній системі, постійна еволюція її компонентів з різною інерційністю, є причиною багатьох кліматичних трансформацій. Перш за все, досить швидко відбуваються зміни температури повітря, яка є однією з ключових характеристик кліматичної системи, оскільки всі природні процеси безпосередньо залежать від температурного режиму. Дані про коливання температур, особливо їх екстремуми, мають значний інтерес для різних сфер економіки та впливають на життєдіяльність людей.

Як відомо, кліматичний режим кожного регіону формується як синтез особливостей температури, вологості, опадів, вітру, які базуються на закономірностях розподілу радіаційного, теплового та водного балансів і впливу атмосферної циркуляції. Взаємодія цих чинників, їх інтенсивність і особливості впливу характеризуються певною територіальною індивідуальністю. На думку вітчизняних науковців [6-15] внаслідок глобального потепління клімат на території України стане різко змінюватися і тому кожне нове дослідження в цьому напрямі дасть можливість проаналізувати кліматозумовлені природні ресурси, щоб забезпечити сталий соціально-економічний розвиток нашої країни, особливо південних її областей. Температура повітря визначає стан багатьох природних ресурсів, які є складовою частиною економічних ресурсів [6-8, 12]. Дослідження змін та коливань температурного режиму в цілому, а також окремих його характеристик, в цілях врахування в сферах господарської діяльності, і розробка досконалих методів його прогнозування для різних територій України з великою завчасністю мають у теперішній час велике значення.

Результати, викладені у науковій статті, підготовлено за тематикою науково-дослідних робіт кафедр факультету Гідрометеорології і екології Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова: «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (№ ДР 00115U006532); «Комплексний метод ймовірносно-прогностичного моделювання екстремальних гідрологічних явищ на річках Півдня України для забезпечен-

ня сталого водокористування в умовах кліматичних змін» (№ДР 0121U010964); «Районування території України за ступенем вразливості до зміни клімату та вибір оптимальних шляхів адаптації» (№ДР 0125U001204).

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Кліматичні зміни, що відбуваються протягом останніх десятиліть, визивають занепокоєння наукової спільноти. Дослідження українських вчених вказують на перебудову кліматичних складових, які відбувались протягом XX і продовжуються у XXI столітті [14-21]. Динаміку температурно-вологісного режиму та оцінку його майбутніх змін і коливань за різними кліматичними сценаріями для України представлено в роботах [7, 8, 12, 13]. Результати цих досліджень вказують на суттєві регіональні зміни не тільки в часовому, а й у його просторовому розподілі. Формування кліматичних полів відбувається у тісному зв'язку з процесами циркуляції повітряних мас [12,18-23]. Автори [22, 23] підкреслюють, що у глобальному масштабі відмічається послаблення зональної циркуляції та зростання меридіональної південної складової в усі сезони року. Циркуляційним аспектам просторово-часового розподілу термічного режиму для Східно-Європейського регіону в основні та перехідні сезони року присвячена робота [22], в якій представлені результати статистичного дослідження взаємозв'язків у кліматичній системі Атлантико-Європейського регіону.

Як відомо, кліматичні фактори мають вирішальне значення, зокрема, й у формуванні гідро-екологічного стану водних ресурсів. Взагалі, потепління інтенсифікувало глобальний гідрологічний цикл, збільшивши глобально-осереднені опади, випаровування та стік. Більше того, наслідками глобального потепління є не тільки зміни середніх величин, а й загальне збільшення екстремальних проявів. Протягом останніх тридцяти років в Україні мали місце екстремальні прояви, пов'язані, насамперед, з режимом опадів. Наприклад, у деяких областях істотно збільшилася кількість аномально посушливих років, зим та літ, а зміна у температурному режимі відбулася тільки у підвищеній кількості аномально спекотних літ. Такі зміни призвели до того, що, наприклад, протягом 1998-2007 років майже кожного року в окремих областях України спостерігалися посухи [24]. У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря у Північній півкулі продовольча безпека України (і особливо її південних областей) буде залежати від того,

наскільки ефективно адаптується сільське господарство до змін клімату [7, 12].

Враховуючи результати досліджень багатьох науковців [9-11, 14, 15, 18-20, 24, 25], які вказують на особливо суттєві зміни клімату за останні десятиріччя у помірних широтах Північної півкулі, автори [22] дослідили сучасну динаміку температурного режиму Східно-Європейського регіону в секторі 40-60° півн. ш. та 20-44° сх. д. На базі реаналізу даних «ERA-INTERIM» за період 1979-2013 рр. проаналізовані середньомісячні значення приземної температури повітря та атмосферного тиску в 144-х вузлах регулярної сітки точок 2°×2°. Аналіз динаміки температурного режиму в перехідні сезони року вказує на зростання температури повітря біля поверхні землі в досліджуваному регіоні [22].

Південь України за кліматичними характеристиками, особливостями атмосферної циркуляції, впливом Чорного та Азовського морів виділяють в окрему область, яка потребує дослідження її кліматозумовлених природних ресурсів. Для території Одеської області дослідженню просторово-часової динаміки багаторічних показників температурно-вологісного режиму присвячено ряд робіт [14-17, 25]. Автори на основі співставлення кліматичних характеристик, що розраховані за різні періоди осереднення, отримали результати, що вказують на варіації регіонального масштабу, які особливо відчутні на сучасному етапі зміни глобального клімату.

Таким чином, як свідчать результати наведених публікацій, вкрай важливим є дослідження кількісних показників природних факторів, які впливають на формування клімату, що дозволить передбачити їх майбутні зміни, а це в свою чергу допоможе своєчасно оцінити метеорологічні й екологічні ризики в вирішенні соціальних проблем, щоб забезпечити сталий розвиток нашої країни і особливо Північно-Західного Причорномор'я.

Дана стаття має на меті, на прикладі станцій Одеської області, представити результати статистичного підходу до визначення регіональних відгуків в основних показниках температурного режиму Північно-Західного Причорномор'я на ті зміни, що відбулися в кліматичній системі в період другого глобального потепління, яке розпочалося з 70-х років минулого століття і продовжується по теперішній час.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

У кліматичних дослідженнях температурний режим визначеної території (пункту) описується

рядом показників, які представляються і аналізуються за певні відрізки часу. Автори монографій [14, 15] підкреслюють, що для представлення річного ходу кліматичних показників можна використовувати різні способи, починаючи з поняття «сезон», який вперше був застосований у 1910 році. У теперішній час під кліматичним сезоном розуміється суттєва частина року (кілька місяців), що характеризується спільністю кліматичних умов. Тому цілком правомірно авторам даної статті представити результати, розбиті року на так звані календарні сезони, оскільки єдиний часовий параметр (три місяці) дає гарний фон для порівняння показників у різні сезони і в середині сезону. Оскільки інколи цього недостатньо, до числа кліматичних показників додається їх ритмічність у середині певного інтервалу.

Предмет дослідження – ряди середньої місячної температури повітря весняного сезону для 10 станцій Одеської області, взятих з кліматичних Кадастрів України за стандартні періоди 1961-1990 [26] та 1991-2020 [27] роки. Також в дослідженні задіяна база емпіричних даних середньодобової температури повітря за 1909 весняних днів періоду 2001-2023 рр. [27]. Число днів зі середньодобовою температурою повітря у різних градаціях за період 1895-1975 взято із монографії [28]. *Основним завданням* є визначення регіональних температурних змін в районі Північно-Західного Причорномор'я впродовж більш ніж 100-річного періоду та визначення тенденцій в температурних показниках сучасного періоду (2001-2023 рр.), порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр. Відповідно до поставленої мети, в науковому дослідженні реалізовані стандартні статистичні методи оцінювання емпіричних даних [29] з подальшим їх просторово-часовим узагальненням по досліджуваній території. Для представлення результатів застосовані табличний та графічний аналізи.

4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Період дослідження термічного режиму весняного сезону Північно-Західного Причорномор'я, результати якого наводяться в даній статті, припадає на вторинне глобальне потепління, протягом якого відбувається інтенсивне глобальне підвищення температури. Представлення отриманих статистичних оцінок параметрів відбувається в чотири етапи, в кожному з яких наводяться та аналізуються показники як середньомісячної, так і середньодобової температури повітря.

Однією із основних характеристик термічно-

го режиму є середня місячна температура повітря, просторово-часовий розподіл якої залежить від радіаційних умов, сезонних коливань циркуляції атмосфери та фізико-географічних особливостей регіону. Просторово-часовий розподіл різних показників термічного режиму проаналізовано по середнім місячним температурам та визначені аномальні відхилення впродовж певного часового інтервалу [12, 30]. Тому результатом *першого етапу дослідження* є аналіз бага-

торічних показників місячної температури повітря на станціях Північно-Західного Причорномор'я за період 1961-2020 рр. (табл. 1). У наведеній таблиці найвищі з них представлені жирним шрифтом, а найнижчі – жирним курсивом; додатні тенденції, які визначалися порівняннями двох стандартних тридцятиріч, подаються зі знаком «+» (Δt , °C).

Таблиця 1 – Середня місячна температура повітря (t , °C) весняного сезону на станціях Одеської області за два стандартні кліматичні періоди (I – 1961-1990 рр.; II – 1991-2020 рр.)

Table 1 – Mean monthly air temperature (t , °C) of the spring season at stations in Odesa region for two standard climate periods (I – 1961-1990; II – 1991-2020)

№	Станція	Березень			Квітень			Травень		
		I	II	Δt	I	II	Δt	I	II	Δt
1	Любашівка	1,1	3,0	1,9	9,1	10,1	1,0	15,2	15,9	0,7
2	Затишшя	1,6	3,5	1,9	9,4	10,3	0,9	15,6	16,2	0,6
3	Сербка	2,2	3,9	1,7	9,6	10,4	0,8	15,8	16,4	0,6
4	Роздільна	2,2	3,9	1,7	9,6	10,5	0,9	15,7	16,5	0,8
5	Одеса	2,6	4,3	1,7	9,0	10,0	1,0	15,1	16,2	1,1
6	Білгород-Дністровський	3,0	4,8	1,8	9,9	10,9	1,0	16,3	17,3	1,0
7	Сарата	3,3	4,7	1,4	9,9	10,5	0,6	15,9	16,4	0,5
8	Болград	3,7	5,2	1,5	10,4	11,1	0,7	16,3	16,9	0,6
9	Вилкове	4,1	5,7	1,6	10,5	11,4	0,9	16,4	17,4	1,0
10	Ізмаїл	4,0	5,5	1,5	10,5	11,2	0,7	16,2	16,9	0,7
Середня по області		2,8	4,5	1,7	9,8	10,7	0,9	15,8	16,6	0,8

Як випливає з табл. 1, у березні, квітні та травні найвища середня температури повітря протягом 60 років зафіксована на ст. Вилкове, а найнижча: у березні – це ст. Любашівка, у квітні – ст. Одеса. Травневий мінімум температури повітря різниться за локацією і кліматичним періодом. У перше тридцятиріччя він зафіксований на ст. Одеса (15,1°C), а в друге – на ст. Любашівка (15,9°C). На всіх станціях області від першого до другого часового періоду весняні температури зростають. І з трьох місяців найбільші підвищення температури повітря зафіксовані у березні: в межах від 1,4°C (ст. Сарата) до 1,9°C (ст. Любашівка та Затишшя). Крім того, у перший місяць весни середня місячна температура на всіх станціях вже додатна. Спостерігається її суттєве зростання у південному напрямку, на відміну від температурного поля квітня та травня, для яких воно стає більш однорідним для всього регіону. У квітні від першого до другого тридцятиріччя темпи підвищення температури повітря уповільнюються і вони є найнижчими з усіх весняних місяців (0,6-1,0°C). Середня температура повітря цього місяця у період

1961-1990 рр. змінювалася по області від 9,0°C (ст. Одеса) до 10,5°C (ст. Вилкове та Ізмаїл); у 1991-2020 рр. цей показник був мінімальним на ст. Одеса (10,0°C), а максимальним – на ст. Вилкове (11,4°C). У травні, як видно з табл. 1, середня місячна температура першого періоду коливалася в межах від 15,1°C (ст. Одеса) до 16,4°C (ст. Вилкове). У друге тридцятиріччя багаторічний мінімальний показник зафіксовано на ст. Любашівка (15,9°C), а максимальний – на ст. Вилкове (17,4°C). Середня по області температура повітря періоду 1961-1990 рр. у березні складала 2,8°C, у квітні – 9,8°C та у травні – 15,8°C; у період 1991-2020 рр. відповідно за місяцями – 4,5°C, 10,7°C та 16,6°C (табл. 1).

Таким чином, для території Одеської області від першого до другого тридцятиріччя весни стали в середньому теплішими на 1,1°C.

Як показують дані метеорологічних спостережень, в останні десятиріччя ХХ та на початку ХХІ століть на території України стали частішими значні перепади середньої добової температури повітря, неодноразові появи яких протягом місяця практично завжди супроводжується небезпечними та стихійними метеорологічними яви-

щами, що вимагає від наукової спільноти їх вивчення та прогнозування. Тому, для визначення кліматичних відгуків в районі Північно-Західного Причорномор'я **на наступному етапі** проведено саме дослідження багаторічних змін середньодобової температури повітря, яка більш детально відбиває особливості часового розподілу температури повітря, ніж середня місячна.

Таблиця 2 – Багаторічні значення середньодобової температури повітря на ст. Одеса за два періоди (I– 2001-2010 рр.; II– 2013-2023 рр.)

Table 2 – Long-term values of mean daily air temperature at Odesa station for two periods (I – 2001–2010; II – 2013–2023)

Місяць	Середня добова температура, °С				Середня місячна, °С	
	мінімальна		максимальна			
	I	II	I	II	I	II
<i>Березень</i>	-1,0	-0,3	11,4	10,7	4,5	5,5
<i>Квітень</i>	4,5	4,7	15,2	15,6	10,0	10,3
<i>Травень</i>	10,8	11,6	21,8	21,9	16,3	16,6

Як випливає з табл. 2, діапазон значень середньодобової температури повітря має широкі межі, але від першого (2001-2010 рр.) до другого (2013-2023 рр.) періодів ХХІ століття температурний фон згладжується тільки у перший та останній місяці весняного сезону, тобто зменшується різниця між найменшими і найбільшими її багаторічними значеннями.

У березні різниця складає 1,4°C: з 12,4°C (I період) до 11,0°C (II період); у травні – 0,7°C: з 11,0°C до 10,3°C та у квітні показник залишається майже без змін протягом 2001-2023 рр. (10,7°C та 10,9°C). Але протягом сезону спостерігаємо великі різниці наведених значень із середньою місячною температурою повітря.

На **третьому етапі дослідження**, використовуючи емпіричні ряди спостережень на ст. Одеса визначено число днів зі середньодобовою температурою повітря у різних градаціях.

У табл. 3 наводиться загальна кількість днів двох періодів зі середньодобовою температурою повітря в різних градаціях. Для визначення динаміки середнього числа днів зі середньодобовою температурою повітря у визначених межах впродовж ХХ-го початку ХХІ століть у табл. 4 представлено цей показник за чотири періоди: два з них вказані вище, до яких додаються: 1895-1975 рр. та стандартний кліматичний період 1961-1990 рр. У табл. 3 та 4 максимальні значення визначені жирним шрифтом.

Порівнюючи два періоди ХХІ століття (табл. 3) слід констатувати, що у березні періоду 2013-2023 рр. зафіксовано один день зі серед-

На прикладі ст. Одеса, досліджена динаміка в показниках середньодобової температури повітря за березень, квітень та травень у період 2001-2023 роки. За три весняних місяця проаналізовано 920 днів періоду 2001-2010 рр. та 989 днів періоду 2013-2023 років; розраховані багаторічні її значення та визначені найбільші та найменші з них, які наводяться в табл. 2.

ньодобовою температурою в межах від -14,9 до -10,0°C, хоча у період 2001-2010 рр. таких випадків не налічувалось. Кількість днів із середньою добовою температурою повітря в межах від -9,9 до -5,0°C протягом 2001-2023 рр. залишається незмінною – 2 дні. Але різко (на 18,9%) зростає (від першого до другого періоду) кількість днів із середньою добовою температурою повітря в межах від 5,1 до 15,0°C: зі 43,2 до 62,1% (зі 134 до 203 днів); з температурою вище 15,0°C не зафіксовано ні одного випадку у перше десятиліття ХХІ століття, на відміну від періоду 2013-2023 рр. У перший весняний місяць зменшилась на 2,3% (з 10,3 до 8,0%) кількість днів із температурою повітря нуль градусів і нижче (від загальної кількості днів, що налічувались у березні).

У квітні на початку ХХІ століття переважала температура повітря в межах від 5,1 до 15,0°C і складала 88,7%: 557 днів від 628 їх загальної кількості у цих межах за 2001-2023 рр.

В останній місяць весни від першого (2001-2010 рр.) до другого (2013-2023 рр.) періоду на 1,4% зросла кількість днів із середньою добовою температурою в межах від 10,1°C до 20,0°C: I період – 263 дні з 310 (84,8%), II період – 288 днів з 334 (86,2%), але зменшився на 0,3% показник з температурою в межах 20,1-25,0°C. У квітні та травні останніх десятиріч не зафіксовано випадків з температурою повітря нуль градусів і нижче за Цельсієм.

В табл. 4 наводиться інформація, яка дає змогу визначити повторюваність середньої добової температури повітря в певних межах, оскільки є

середнім значенням абсолютної частоти.

Таблиця 3 – Загальна кількість днів із середньодобовою температурою повітря у різних градаціях на ст. Одеса за два періоди (I – 2001-2010 рр.; II – 2013-2023 рр.)

Table 3 – Total number of days with mean daily air temperature in different gradations at Odesa station for two periods (I – 2001–2010; II – 2013–2023)

<i>i</i>	Температура, °C		Березень		Квітень		Травень	
			310	327	300	328	310	334
	від	до	I	II	I	II	I	II
1	-14,9	-10,0	-	1				
2	-9,9	-5,0	2	2				
3	-4,9	0,0	30	23				
4	0,1	5,0	142	98	21	11		
5	5,1	10,0	123	174	127	143	3	2
6	10,1	15,0	11	29	139	148	108	113
7	15,1	20,0	-	2	13	26	155	175
8	20,1	25,0					42	44
9	25,1	30,0					2	-
0°C і нижче			32	26	-	-	-	-
Вище 0°C			278	301	300	328	310	334
Показник у відсотках								
0°C і нижче			10,3	8,0				
Вище 0°C			89,7	92,0	100	100	100	100

Таблиця 4 – Середня кількість днів із середньодобовою температурою повітря у різних градаціях за чотири періоди (I – 1895-1975 рр.; II – 1961-1990 рр.; III – 2001-2010 рр.; IV – 2013-2023 рр.)

Table 4 – Average number of days with mean daily air temperature in different gradations for four periods (I – 1895–1975; II – 1961–1990; III – 2001–2010; IV – 2013–2023)

<i>i</i>	Температура, °C		Місяць											
			березень				квітень				травень			
	від	до	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	-24,9	-20,0												
2	-19,9	-15,0												
3	-14,9	-10,0	0,1	0,1		0,09								
4	-9,9	-5,0	1,2	1,3	0,2	0,2								
5	-4,9	0,0	7,0	6,2	3,0	2,1	0,1	0,1						
6	0,1	5,0	15,9	14,9	14,2	8,9	4,7	2,7	2,1	1,0	0,02			
7	5,1	10,0	6,3	7,4	12,3	15,8	16,2	16,0	12,7	13,0	1,7	2,1	0,3	0,2
8	10,1	15,0	0,5	1,1	1,1	2,6	8,0	10,1	13,9	13,5	13,2	14,5	10,8	10,3
9	15,1	20,0	0,02		0,2		1,0	1,1	1,3	2,4	13,5	12,5	15,5	15,9
10	20,1	25,0									2,6	1,9	4,2	4,0
11	25,1	30,0									0,03		0,2	
12	30,1	35,0												

У березні в період 2001-2010 рр. температура в межах від -14,9 до -10,0°C не зафіксована, хоча в інші періоди таке значення у першому весняному місяці спостерігалось у середньому один раз за 10 років. Добова температура в межах від -9,9 до -5,0°C у період 1895-1975 рр. фіксувалася щорічно, а на початку ХХІ століття спостерігалась лише 5 разів за 10 років або 1 раз за 2 роки. У березні добова температура повітря в межах 0,1-5,0°C є переважаючою у попередні три пері-

оди (14-16 днів) і тільки у період 2013-2023 рр. найбільша кількість днів припадає на більш високі температурні значення (5,1-10,0°C) і спостерігається на ст. Одеса вже майже 16 днів щорічно. Крім того, у період 2013-2023 рр. березневу добову температуру в межах 15,1-20,0°C не зафіксовано, на відміну від попереднього десятиріччя, в якому така подія зафіксована один раз за 5 років. Порівняно з кліматичною нормою, у перший весняний місяць кількість днів з добо-

вою температурою в градації 5,1-10,0°C зросла більше, ніж у два рази – з 7,4 (1961-1990 рр.) до 15,8 днів (2013-2023 рр.).

У квітні на початку XXI століття добова температура повітря в межах 0,0°C і нижче не спостерігалася, хоча з кінця XIX століття по 70-ті роки XX-го ця подія фіксувалася 1 раз кожні 10 років. У цей же період найбільшою була кількість днів із середньою добовою температурою повітря 10,1-15,0°C (13-14 днів). Для двох попередніх періодів (1895-1975 рр. та 1961-1990 рр.) переважала температура в межах 5,1-10,0°C – у середньому 16 днів.

Травень на ст. Одеса в усі часові періоди, що розглядалися, характеризувався середньою добовою температурою повітря від 10,1 до 20,0°C (26-27 днів). На початку XXI століття суттєво зросла кількість днів із середньою добовою температурою повітря в градації 20,1-25,0°C (4,0-4,2 дні), порівняно з кліматичною нормою (1,9 днів). Температура в межах 25,1-30,0°C у період 1895-1975 рр. спостерігалась три рази за 100 років; у період 2001-2010 рр. вже один раз за 5 років; у II та IV періодах температура в цих межах не зафіксована.

Таким чином, аналіз числа днів із середньодобовою температурою повітря за місяці весняного календарного сезону дозволяє стверджувати, що на початку XXI століття на ст. Одеса зросла по-

вторюваність показника в більш високих температурних межах, що вказує на тепліші весни, порівняно з XX століттям.

Як зазначено у фундаментальній монографії [12]: «Важливим показником термічного режиму визначеної території (пункту) є міждобова мінливість температури повітря. Вона відображає коливання температури повітря, спричинені адвекцією тепла або холоду». Тому на **завершальному етапі дослідження** на прикладі ст. Одеса для Північно-Західного Причорномор'я проаналізовано цей показник за кожний місяць весняного сезону. Для цього за три календарних місяця статистично опрацьовано 1909 днів середньодобової температури повітря за два багаторічні часові інтервали XXI століття: 920 днів періоду 2001-2010 рр. та 989 днів періоду 2013-2023 років. Використовуючи дані про середню добову температуру повітря на ст. Одеса за два періоди XXI століття – 2001-2010 рр. та 2013-2023 рр., розраховані багаторічні середні добові температури повітря для кожного дня конкретного місяця весняного сезону. За отриманими значеннями побудовані графіки, на яких зображено динаміку міждобової мінливості температури повітря для березня, квітня, травня та позначені кліматичні норми (1961-1990 рр.) середніх місячних температур повітря (рис. 1-3).

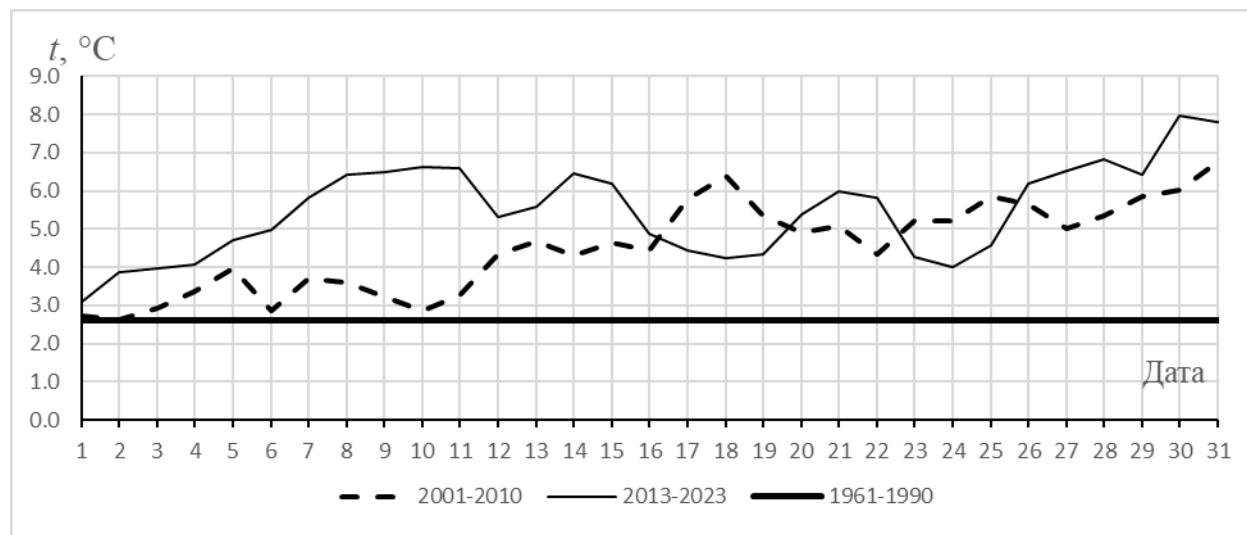


Рис. 1 – Міждобова мінливість температура повітря (ст. Одеса, березень)

Fig. 1 – Inter-diurnal variability of air temperature (Odesa station, Marth)

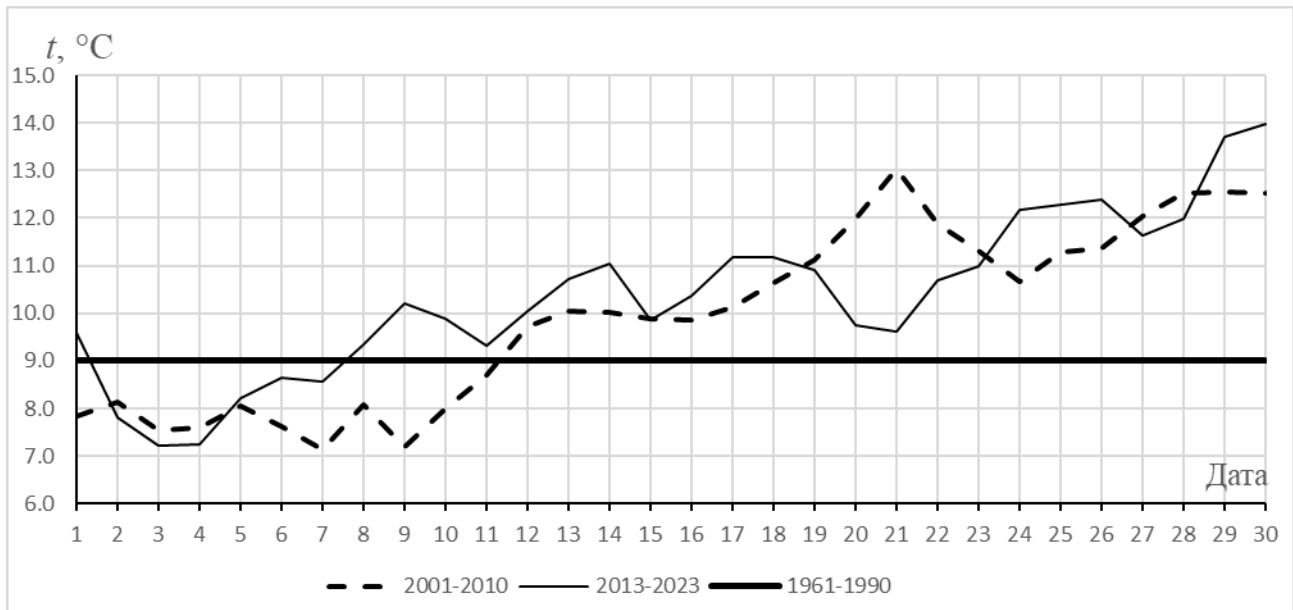


Рис. 2 – Міждобова мінливість температура повітря (ст. Одеса, квітень)
Fig. 2 – Inter-diurnal variability of air temperature (Odesa station, April)

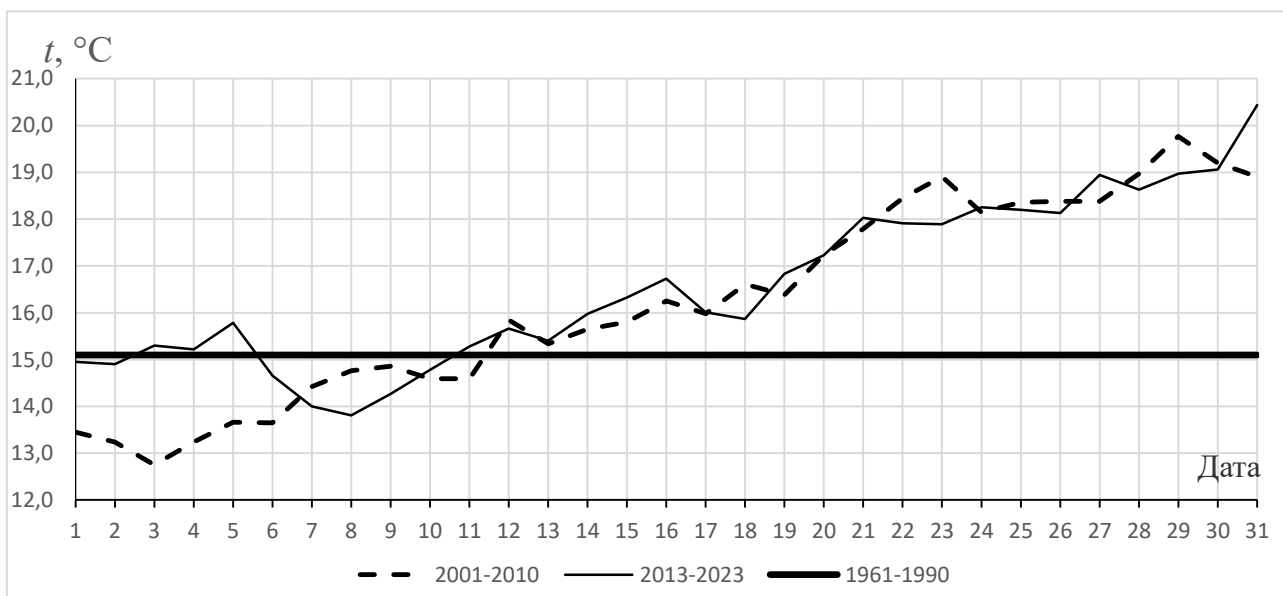


Рис. 3 – Міждобова мінливість температура повітря (ст. Одеса, травень)
Fig. 3 – Inter-diurnal variability of air temperature (Odesa station, May)

Як випливає з рис. 1-3, у березні обох періодів добова температура повітря перевищує кліматичну норму (2,6°C). Перша декада 2001-2010 рр. за добовими значеннями температури більш прохолодна, ніж у наступний період. У квітні та травні добові температури у перші декади місяців менші за кліматичну норму, тобто початок місяців є більш прохолодними, порівняно з періодом 1961-1990 рр. Друга та третя декади квітня та травня характеризуються майже однаковими тенденціями в змінах добових температур двох

періодів ХХІ століття, особливо в останній весняний місяць. Міждобова мінливість у березні складає 4,2 і 4,9°C відповідно за періодами. У квітні від періоду 2001-2010 рр. до 2013-2023 рр. мінливість зростає від 5,9 до 6,8°C, тобто термічний режим стає більш нестійким. У травні, навпаки, спостерігається зменшення міждобової мінливості температури повітря від 7,0 до 6,6°C.

Можна констатувати, що навесні в районі дослідження тільки у травні міждобова мінливість температури повітря залишалася майже без змін

протягом періоду 2001-2023 рр..

Таким чином, навесні міждодова мінливість в районі дослідження, яка відображає коливання температури повітря, що спричинені адвекцією тепла або холоду, і які, в свою чергу, пов'язані з атмосферною циркуляцією, вказує на великий розкид значень показника і залежить від місяця сезону. На наш погляд це пов'язано зі змінами циркуляційних процесів у Північній півкулі, які зафіксовані наприкінці ХХ-го та на початку ХХІ століть [21], що і є відгуком в районі Північно-Західного Причорномор'я.

5. ВИСНОВКИ

1. Аналіз багаторічних показників температури повітря у весняні місяці на станціях Одеської області за період 1961-2020 рр. показав, що у березні, квітні та травні найвища середня температура повітря протягом 60 років зафіксована на ст. Вилкове, а найнижча: у березні – це ст. Любашівка, у квітні – ст. Одеса. Травневий мінімум температури повітря різниться за локацією і кліматичним періодом. У перше тридцятиріччя він зафіксований на ст. Одеса ($15,1^{\circ}\text{C}$), а в друге – на ст. Любашівка ($15,9^{\circ}\text{C}$). На всіх станціях області від першого до другого часового періоду весняні температури зростають. І з трьох місяців найбільші підвищення температури повітря зафіксовані у березні: в межах від $1,4^{\circ}\text{C}$ (ст. Сарата) до $1,9^{\circ}\text{C}$ (ст. Любашівка та Затишшя). Середня по області температура повітря періоду 1961-1990 рр. у березні складала $2,8^{\circ}\text{C}$, у квітні – $9,8^{\circ}\text{C}$ та у травні – $15,8^{\circ}\text{C}$; у період 1991-2020 рр. відповідно за місяцями – $4,5^{\circ}\text{C}$, $10,7^{\circ}\text{C}$ та $16,6^{\circ}\text{C}$. Для території Одеської області від 1-го до 2-го тридцятиріччя весни стали в середньому теплішими на $1,1^{\circ}\text{C}$.

2. Для кожного місяця весняного сезону 2001-2023 років на прикладі ст. Одеса за 920 днів І періоду 2001-2010 рр. та 989 днів ІІ періоду 2013-2023 років проаналізована динаміка показників середньодобової температури повітря. Діапазон значень температури повітря має широкі межі, але від першого до другого періодів ХХІ століття температурний фон згладжується тільки у березні та травні, тобто зменшується різниця між найменшими і найбільшими її багаторічними значеннями. У березні різниця складає $1,4^{\circ}\text{C}$: з $12,4^{\circ}\text{C}$ (І період) до $11,0^{\circ}\text{C}$ (ІІ період); у травні – $0,7^{\circ}\text{C}$: з $11,0^{\circ}\text{C}$ до $10,3^{\circ}\text{C}$ та у квітні показник залишається майже без змін протягом 2001-2023 рр. ($10,7^{\circ}\text{C}$ та $10,9^{\circ}\text{C}$). Але протягом сезону спостерігаємо великі різниці наведених значень із середньою місячною тем-

пературою повітря.

3. Використовуючи базу емпіричних даних на ст. Одеса за 1909 весняних днів періоду 2001-2023 рр. визначено число днів зі середньодобовою температурою повітря у різних градаціях. Порівнюючи два періоди ХХІ століття (І – 2001-2010 рр. та ІІ – 2013-2023 рр.) встановлено, що у березні від першого до другого періоду різко зростає кількість днів із середньою добовою температурою повітря в межах від $5,1$ до $15,0^{\circ}\text{C}$: зі $43,2\%$ до $62,1\%$ днів; з температурою вище $15,0^{\circ}\text{C}$ не зафіксовано ні одного випадку у перше десятиліття ХХІ століття, на відміну від періоду 2013-2023 років; зменшилась на $2,3\%$ кількість днів із температурою повітря нуль градусів і нижче. У квітні в період 2001-2023 рр. переважала температура повітря в межах від $5,1$ до $15,0^{\circ}\text{C}$ – $88,7\%$. В останній місяць весни від першого до другого періоду на $1,4\%$ зросла кількість днів із середньою добовою температурою в межах від $10,1^{\circ}\text{C}$ до $20,0^{\circ}\text{C}$: з $84,8\%$ до $86,2\%$, але зменшився відсоток днів з температурою в межах $20,1$ - $25,0^{\circ}\text{C}$ – на $0,3\%$. У квітні та травні останніх десятиріч не зафіксовано випадків з температурою повітря нуль градусів і нижче.

4. Аналіз середньої кількості днів із середньодобовою температурою повітря на ст. Одеса за 4 багаторічні періоди (1895-1975, 1961-1990, 2001-2010, 2013-2023 рр.) дозволив визначити динаміку вказаного показника більш ніж за 100-річний період. З'ясовано, що в районі дослідження на початку ХХІ століття зросла повторюваність середньої добової температури повітря в більш високих температурних межах, що вказує на тепліші весни, порівняно з ХХ століттям.

5. Міждодова мінливість середньодобової температури повітря в районі дослідження залежить від місяця сезону: тільки у травні впродовж 2001-2023 років спостерігалися однакові тенденції в змінах цього показника. На наш погляд це пов'язано зі змінами циркуляційних процесів у Північній півкулі, які зафіксовані наприкінці ХХ-го та на початку ХХІ століть особливо на початку календарної весни, що і є відгуком в районі Північно-Західного Причорномор'я.

Запропонований статистичний підхід (на прикладі конкретної станції) є певним внеском у вивченні як теоретичних, так і практичних аспектів дослідження термічного режиму окремих територій з використанням емпіричних даних. Отримані результати можуть бути враховані для перспективного планування та адаптації різних галузей економіки в умовах глобальних кліматичних змін.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IPCC. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, H. Lee та J. Romero, ред., с. 35-115). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Europe. In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1817-1928). chapter, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.015>
- Програма розвитку ООН (UNDP). (н.д.). *Цілі сталого розвитку*. <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsilistalohorozvytku>
- Кабінет Міністрів України. (2024, 30 травня). *Про схвалення Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024-2026 роках (№ 483-р)*. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-strategii-formuvannia-ta-realizatsii-derzhavnoi-polityky-u-sferi-zminy-klimatu-na-period-t300524>
- Balabukh, V., та ін. (2018). Extreme weather events in Ukraine: Occurrence and changes. P. J. Sallis (Ред.), *Extreme weather* (с. 85-106). London: Intech Open.
- Степаненко, С. М., & Польовий, А. М. (Ред.). (2018). *Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія*. Одеса: Державний екологічний університет.
- Замфірова, М. С., & Хохлов, В. М. (2020). Режим температури повітря та опадів в Україні в 2021–2050 роках за даними ансамблю моделей CORDEX. *Український гідрометеорологічний журнал*, (25), 17-27.
- Гелевера, О., Мостіпан, М., & Топольний, С. (2023). Багаторічна динаміка температури повітря зимового та весняного сезонів у центральній Україні. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Геологія. Географія. Екологія*, (59), 83-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-07>
- Пясецька, С., & Щеглов, О. (2023). Сучасний характер змін середньої місячної температури повітря протягом 2006-2020 рр. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (58), 217-230. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-17>
- Барабаш, М. Б., & Татарчук, О. Г. (2009). Практичний напрям досліджень зміни клімату в Україні. *Наукові праці УкрНДІГМІ*, (57), 28-36.
- Ліпінський, В. М., Дячук, В. А., & Бабіченко, В. М. (Ред.). (2003). *Клімат України: монографія*. Київ: Видавництво Раєвського.
- Borovska, H., & Khokhlov, V. (2023). Climate data for Odesa, Ukraine in 2021-2050 based on EURO-CORDEX simulations. *Geoscience Data Journal*. <https://doi.org/10.1002/gdj3.197>
- Гончарова, Л. Д., & Прокоф'єв, О. М. (2024). *Динаміка окремих показників атмосферних опадів Півдня України у період 1961-2020 роки: монографія*. Одеса: Одеський державний екологічний університет.
- Прокоф'єв, О. М. & Гончарова, Л. Д. (2025). *Статистичний підхід до вирішення задач клімато-географічних особливостей розподілу опадів на півдні України: монографія, присвяч. 160-й річниці Одес. нац. ун-ту ім. І. І. Мечникова*. Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/42222>
- Prokofiev O. & Goncharova L. (2025) Analysis of the dynamics of the temperature regime of the North-Western Black sea region in the context of global climate changes. *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (62), 298-314. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-22>
- Ivus, G. P., Goncharova, L. D., Kosolapova, N. I., & Zubkovych, C. O. (2018). Modern seasonal features of the risk mode on the territory of Odesa region. *Review Scientific Journal (Science)*, 1(3[10]), 27-33.
- Гончарова, Л. Д., Прокоф'єв, О. М., Решетченко, С. І., & Черниченко, А. В. (2021). Вплив атмосферних макропроцесів на просторовий розподіл опадів по території України у весняний сезон. *Український гідрометеорологічний журнал*, (27), 5-15. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.01>
- Гончарова, Л. Д., & Прокоф'єв, О. М. (2021). Клімато-географічні особливості розподілу опадів на території України в осінній період. *Екологічні науки*, 2(35), 94-98. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.16>
- Гончарова Л.Д. & Прокоф'єв О.М. (2025). Динаміка сезонної температури повітря в Одеському регіоні в контексті глобальних кліматичних трансформацій. *Вісник Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова. Серія «Географічні та геологічні науки»*, 1(46)[30]), 11-24. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2025.1\(46\).332348](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2025.1(46).332348)
- Гончарова, Л., Прокоф'єв, О. & Решетченко, С. (2022). Особливості клімато-географічного розподілу атмосферних опадів на півдні України. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (57), 81-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-07>
- Гончарова, Л. Д., та ін. (2017). Сучасна динаміка температурного режиму Східно-Європейського регіону в основні та перехідні сезони року. *І Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд з міжнародною участю: Матеріали з'їзду*. Одеса: ТЕС.
- Гончарова, Л. Д. (2014). *Повітряні течії тропосфери та стратосфери північної півкулі: монографія*. Одеса: ТЕС.
- Ліпінський В. М., Осадчий В. І., Бабіченко В. М. (Ред.). (2006). *Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.): монографія*. Київ: [б. в.].
- Прокоф'єв О.М. & Гончарова Л.Д. (2024) Кліматичні трансформації Північно-Західного Причорномор'я в умовах глобального потепління. *Екологічні науки*, 6(57), 244-249. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.36>
- Стандартні кліматичні норми (1961-1990 рр.). (2002). Київ: [б. в.].
- Гідрометеорологічний центр Чорного та Азовського морів. *Архів метеорологічних даних спостережень*.
- Смекалова Л. К., Швер Ц. А. (Ред.). (1986). *Клімат Одеси: монографія*.

29. Гончарова, Л. Д., & Школьній, Є. П. (2007). *Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ): навчальний посібник*. Одеса: Екологія.
 30. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. & Миротворська Н.К. (2004). *Кліматологічна обробка окремих метеорологічних величин: навчальний посібник*. Одеса: ТЕС.
- ## REFERENCES
1. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (p. 3056). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
 2. IPCC. (2023). *Sections. In Climate Change 2023: Synthesis Report* (pp. 35-115). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
 3. Bednar-Friedl, B., et al. (2022). Europe. *In Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (pp. 1817-1927). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.015>
 4. United Nations Development Programme (UNDP). (n.d.). *Sustainable Development Goals*. Retrieved from <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku> [in Ukrainian].
 5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024, May 30). Resolution No. 483-p on the approval of the Strategy for the Formation and Implementation of State Policy in the Field of Climate Change for the Period Until 2035 and Approval of the Operational Plan of Measures for its Implementation in 2024-2026. Retrieved from <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-strategii-formuvannia-ta-realizatsii-derzhavnoi-polityky-u-sferi-zminy-klimatu-na-period-t300524> [in Ukrainian].
 6. Balabukh, V., et al. (2018). Extreme weather events in Ukraine: Occurrence and changes. In P. J. Sallis (Ed.), *Extreme Weather* (pp. 85-106). London, UK: Intech Open.
 7. Stepanenko, S. M., & Polovyi, A. M. (Eds.). (2018). *Climatic risks of the functioning of sectors of Ukraine's economy in the context of climate change*. Odessa: Odessa State Environmental University [in Ukrainian].
 8. Zamfirova, M. S., & Khokhlov, V. M. (2020). Air temperature and precipitation regime in Ukraine in 2021-2050 based on the CORDEX ensemble models. *Ukrayins'kyi hidrometeorologichnyi zhurnal*, 25, 17-27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02> [in Ukrainian].
 9. Helevera, O., Mostipan, M., & Topolnyi, S. (2023). Long-term dynamics of air temperature during winter and spring seasons in Central Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, 59, 83-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-07> [in Ukrainian].
 10. Pyasetska, S. V., & Shcheglov, O. M. (2023). Current trends in monthly average air temperature changes during 2006-2020. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, 58, 217-230. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-17> [in Ukrainian].
 11. Barabash, M. B., & Tatarchuk, O. G. (2009). Practical research directions in climate change in Ukraine. *Naukovi pratsi UkrNDHMI*, 57, 28-36 [in Ukrainian].
 12. Lipinsky, V.M., Dyachuk, V.A., & Babichenko, V.M. (2003). *Climate of Ukraine*. Kyiv: Raievsky Publishing [in Ukrainian].
 13. Borovska, H., & Khokhlov, V. (2023). Climate data for Odesa, Ukraine in 2021-2050 based on EURO-CORDEX simulations. *Geoscience Data Journal*, 11, 148-159. <https://doi.org/10.1002/gdj3.197>.
 14. Goncharova, L.D., & Prokofiev, O.M. (2024). Dynamics of specific atmospheric precipitation indicators in southern Ukraine for 1961-2020: Monograph. Odessa. Retrieved from <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/13060> [in Ukrainian].
 15. Прокоф'єв, О.М. & Гончарова, Л.Д. (2025). *Статистичний підхід до вирішення задач клімато-географічних особливостей розподілу опадів на півдні України: монографія, присвяч. 160-й річниці Одес. нац. ун-ту ім. І. І. Мечникова*. Одеса: Одес. нац. ун-ту ім. І. І. Мечникова. <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/42222>
 16. Prokofiev O. & Goncharova L.(2025) Analysis of the dynamics of the temperature regime of the North-Western Black sea region in the context of global climate changes. *Вісник Харківського національного університету ім.В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (62), 298-314. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-22>
 17. Ivus, G.P., Goncharova, L.D., Kosolapova, N.I., & Zubkovych, C.O. (2018). Modern seasonal features of the risk mode on the territory of Odesa region. *Review Scientific Journal (Science)*, 1(3), 27-33. Retrieved from <http://archive.ws-conference.com/wp-content/uploads/pw0774.pdf>.
 18. Goncharova, L.D., Prokofiev, O.M., Reshetchenko, S.I., & Chernychenko, A.V. (2021). Influence of atmospheric macroprocesses on the spatial distribution of precipitation over Ukraine during the spring season. *Ukrayins'kyi hidrometeorologichnyi zhurnal*, 27, 5-15. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.01> [in Ukrainian].
 19. Goncharova, L.D., & Prokofiev, O. M. (2021). Climate-geographical features of precipitation distribution over Ukraine in the autumn period. *Ekologichni nauky*, 2(35), 94-98. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.16> [in Ukrainian].
 20. Гончарова Л.Д. & Прокоф'єв О.М. (2025). Динаміка сезонної температури повітря в Одеському регіоні в контексті глобальних кліматичних трансформацій. *Вісник Одеського національного університету ім.І.І.Мечникова. Серія «Географічні та геологічні науки»*. 1(46)[30]), 11-24. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2025.1\(46\).332348](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2025.1(46).332348)
 21. Goncharova, L. D., Prokofiev, O. M., & Reshetchenko, S. I. (2022). Features of climate-geographical distribution of atmospheric precipitation in southern Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, 57, 81-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-07> [in Ukrainian].
 22. Goncharova, L. D., et al. (2017). Modern dynamics of temperature regime in the Eastern European region during main and transition seasons. I All-Ukrainian Hydrometeorological Congress with International Participation: Conference Proceedings. Odessa. [in Ukrainian].
 23. Goncharova, L.D. (2014). Tropospheric and stratospheric air currents in the Northern Hemisphere. Odessa: TES [in Ukrainian].
 24. Lipinsky, V.M., Osadchyi, V.I., & Babichenko, V.M. (Eds.). (2006). *Extreme meteorological events in Ukraine in the last two decades (1986-2005)*. Kyiv. [in Ukrainian].
 25. Прокоф'єв О.М. & Гончарова Л.Д. (2024) Кліматичні трансформації Північно-Західного Причорномор'я в

- умовах глобального потепління. *Екологічні науки*, 6(57), 244-249. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.36>
26. Standard climatic norms (1961-1990) (p. 446). Kyiv, 2002 [in Ukrainian].
27. Archive of meteorological observation data. Provided by the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas.
28. Smekalova, L. K., & Shver, T. A. (Eds.). (1986). The climate of Odessa. [in Ukrainian].
29. Goncharova, L. D., & Shkolny, Y. P. (2007). Methods for processing and analyzing hydrometeorological information (problem set and exercises): A tutorial. Odessa: Ecology [in Ukrainian].
30. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. & Миротворська Н.К. (2004). *Кліматологічна обробка окремих метеорологічних величин: навчальний посібник* Одеса: TEC.

ASSESSMENT OF SPRING REGIONAL RESPONSES OF THE THERMAL REGIME OF THE NORTHWESTERN BLACK SEA REGION TO GLOBAL CLIMATE CHANGE

O. M. Prokofiev^{1,2}, L. D. Goncharova¹

¹ Odesa I. I. Mechnikov National University,

2 V. Zmiiienka Str., Odessa, 65000, Ukraine,

² Institute of Climate-Oriented Agriculture National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,

Hlibodarske, Odessa district, Odessa region, Ukraine

leggg0707@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5669-0181>;

goncharova.luda.50@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6340-2424>

The relevance of this study lies in addressing a fundamental scientific issue-examining the dynamics of specific indicators of climate-dependent natural resources to ensure sustainable socio-economic development in Ukraine under global climate change conditions. The North-Western Black Sea region is a leading, highly developed industrial-agricultural area of the country, where information on its thermal regime is crucial, as it constitutes an essential component of natural resources. Given its potential for use in the southern regions of Ukraine, this research focuses on determining temperature indicators that will aid in planning and adapting various economic sectors in southern Ukraine amid regional climate transformations.

The implementation directions of these objectives are formulated within the research projects of the departments of the Faculty of Hydrometeorology and Ecology at Odesa I.I. Mechnikov National University, including: 'Zoning of Ukraine's territory based on vulnerability to climate change and selection of optimal adaptation pathways.' (No. DR0125U001204). The underestimation of certain aspects of the dynamics of regional climate temperature characteristics in the context of global climate change has resulted in these aspects remaining insufficiently studied to date.

Analysis of previous research it proves the importance of studying the climatic indicators of the temperature regime of the North-Western Black Sea region, which is a leading highly developed industrial-agricultural region of Ukraine. The underestimation of certain aspects of the dynamics of climatic characteristics of the regional climate in the context of global climate change has led to these aspects being still insufficiently studied today.

This article aims (using the Odessa station as an example) to present the results of a physical-statistical approach to determining regional responses in the main indicators of the temperature regime of the North-Western Black Sea region to the changes occurring in the climate system of the present period.

The implementation of the physical-statistical approach was conducted using classical methods of statistical and graphical analysis.

Based on long-term empirical data for 1909 spring days of the period 2001-2023, the dynamics of interdaily variability of air temperature was analyzed and the number of days with average daily air temperature in different gradations was determined. Comparing the two periods of the 21st century, it was determined that in March from the first (2001-2010) to the second (2013-2023) the number of days with average daily air temperature in the range from 5.1 to 15.0°C increases sharply: from 43.2% to 62.1% of days; not a single case with a temperature above 15.0°C was recorded in the first decade of the 21st century, unlike the period 2013-2023; the number of days with an air temperature of zero degrees and below decreased by 2.3%. In April, in the period 2001-2023, the air temperature ranged from 5.1 to 15.0°C and accounted for 88.7%. In the last month of spring, the number of days with an average daily temperature in the range from 10.1°C to 20.0°C increased by 1.4%: from 84.8% to 86.2%, but the indicator with a temperature in the range of 20.1-25.0°C decreased by 0.3%. In April and May of the last decade, no cases with an air temperature of zero degrees and below were recorded. The frequency of the average daily air temperature in higher temperature ranges increased, which indicates warmer

springs, compared to the 20th century.

The obtained results provide a basis for analyzing the dynamics of regional climate changes in the context of global climate change. The rational and timely application of the climate information presented in this article will contribute to the development of effective adaptation pathways, which, in turn, will make a significant contribution to ensuring the sustainable development of Ukraine. Future tasks will focus on researching the thermal regime indicators of other stations in the North-Western Black Sea region, involving additional empirical data.

Keywords: climate, thermal regime indicators, calendar season, multi-year characteristics, temperature variability.

Подання до редакції : 30. 10. 2025

Надходження остаточної версії : 24. 11. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025

УДК 551.515.2:656.61, PACS: 92.60.-e, 92.70.Gt

ЗМІНИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІВНІЧНОЇ АТЛАНТИКИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

А. Б. Семергей-Чумаченко, В. В. Шепель

*Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
вул. Всеволода Змієнко, 2, 65082, Одеса, Україна,
alina.semerhei-chumachenko@onu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8718-4073>*

Визначені тенденції океанічно-атмосферних умов Північної Атлантики в контексті глобального потепління, яке проявляється з другої половини XX століття та посилюється на початку XXI століття. На основі даних платформи Climate Reanalyzer проаналізовано просторово-часову мінливість температури поверхні моря, температури приземного повітря, термічного контрасту між океаном і атмосферою (визначеного як різниця між температурою поверхні моря та температурою приземного повітря), середнього приземного тиску, а також поля вітру на рівні 250 гПа, яке характеризує положення та інтенсивність струминної течії.

Порівняння аномалій температури поверхні моря за 2021–2024 рр. з кліматичними нормами 1961–1990 та 1991–2020 рр. показало, що відносно обох періодів більша частина Північної Атлантики характеризується переважанням додатних аномалій з максимумами у фронтальній зоні Гольфстріму та Північно-Атлантичної течії. Водночас відносно 1991–2020 рр. ці аномалії є менш інтенсивними та просторово неоднорідними, а в субполярному секторі (Лабрадорське море – південна Гренландія – Ісландія) зберігається стійка область ослабленого потепління або відносного охолодження. Виявлена сезонна мінливість температури поверхні моря: восени та взимку переважають слабко від’ємні або квазинейтральні аномалії, тоді як весна характеризується максимумом додатних аномалій у фронтальній зоні Гольфстріму. Влітку спостерігається зміщення на північ зон підвищеного теплового вмісту океану до моря Ірмінгера та субполярних вод.

Аналіз рядів температури поверхні моря, температури приземного повітря та їх різниці за 1940–2024 рр. виявив прискорення потепління після 1990-х років, при цьому температура приземного повітря зростає швидше, ніж температура поверхні океану. Така асиметрія зумовлює стійке зменшення термічного контрасту між океаном і атмосферою та ослаблення середнього тепло- і вологообміну, особливо в холодний сезон. Ослаблення цього контрасту має сезонну асиметрію: найбільше абсолютне зменшення спостерігається взимку, тоді як влітку зафіксовано перехід різниці температур до від’ємних значень, коли температура приземного повітря перевищує температуру поверхні океану.

Під час дослідження баричного поля взимку 2021–2024 рр. виявлені від’ємні аномалії середнього приземного тиску в центральному субполярному басейні Північної Атлантики та підвищений тиск на його периферії, що відображає концентрацію та можливу перебудову ядра позатропічної штормової зони. Аномалії вітру на рівні 250 гПа вказують на локальне посилення та зсув на північ осі струминної течії.

Ключові слова: Північна Атлантика, кліматичні зміни, температура поверхні моря, шторм, термічний контраст океан–атмосфера, тренд.

1. ВСТУП

Посилення та зміщення штормових траєкторій у Північній Атлантиці на тлі глобального потепління підвищує ризики для трансатлантичних морських перевезень і стабільності глобальних логістичних ланцюгів. Оцінка просторово-сезонних змін температури поверхні океану, повітря, термічного контрасту океан–атмосфера та перебудови баричного поля Північної Атлантики потрібна для вдосконалення прогнозування што-

рмових ризиків, розробки маршрутів суден з врахуванням погодних умов (weather-routing) та зменшення економічних втрат у судноплаванні. Сучасні зміни штормової траєкторії Північної Атлантики впливають на економіку України через зростання глобальної вартості та ризиків морської логістики, що відбивається на фрахті, страхуванні, надійності поставок і конкурентоспроможності українського експорту. Розуміння причин ускладнення погоди у цьому регіоні підсилює

потенціал України у розвитку кліматичних сервісів для транспорту й управління морськими ризиками.

Сучасні дослідження свідчать, що кліматичні зміни вже змінюють великомасштабну циркуляцію атмосфери, яка визначає небезпечні метеорологічні умови над Північною Атлантикою. Одним із ключових механізмів є арктичне підсилення (Arctic Amplification) — прискорене потепління Арктики порівняно із середніми широтами, що послаблює меридіональний градієнт температури [1] і може трансформувати конфігурацію тропосферних струминних течій, сприяючи зростанню повторюваності екстремальної погоди у середніх широтах. Для Північної Атлантики це означає можливі зміни траєкторій циклонів, тривалості штормових ситуацій та частоти епізодів сильного вітру на морських маршрутах.

Розуміння цих змін забезпечує концепція штормових траєкторій (storm tracks). В [2] узагальнюють, що кліматичні зміни впливають на траєкторії циклонів через протилежні механізми: зростання вологості й латентного тепловиділення може посилювати барокліний розвиток циклонів, тоді як ослаблення температурних контрастів здатне послаблювати штормову активність. Така конкуренція процесів особливо характерна для Північної Атлантики, де ризики для судноплавства залежать не тільки від зміни частоти штормів, а й від їхньої інтенсивності, сезонності та географічного перерозподілу.

Важливим керівним елементом для розміщення штормових зон є Північно-Атлантична течія, який [3] має значну міжрічну й декадну мінливість та визначає широтне положення траєкторії штормів та умови інтенсивного циклогенезу. Навіть за незначних змін у середніх характеристиках штормів зсув струменя на північ чи південь може перемістити зони небезпечного вітру, опадів і хвиль відносно основних трансатлантичних трас. Методологічно близькі результати отримано й для інших регіонів: в [4] показано, що проєктовані зміни позатропічних циклонів у CMIP5 пояснюють регіональні тренди опадів, і цей підхід є корисним для аналізу зв'язків «циклонічність-наслідки» в Атлантиці.

Оскільки атмосферні зміни трансформуються у морські небезпеки через вітрове поле, ключове значення для безпеки судноплавства мають вітрові хвилі. В [5] на основі багатомодельного ансамблю визначено, що в глобальному масштабі очікуються суттєві зміни висоти значних хвиль, періоду та напрямку хвильової енергії, причому реакція є просторово неоднорідною і тісно

пов'язана зі змінами циркуляції. Північна Атлантика віднесена до басейнів із підвищеною чутливістю хвильових екстремумів до трансформації штормових режимів.

Регіональний аналіз для північного сходу Атлантики [6, 7] підтверджує таку чутливість: автори показують, що клімат вітрових хвиль Північної Атлантики має виразну просторову структуру змін, з тенденціями до посилення екстремальних хвиль у північних і північно-східних секторах, особливо взимку. Ці результати безпосередньо важливі для судноплавства, оскільки саме крайні значення хвилювання визначають ризик аварійності, затримок, зміни маршрутів і вимоги до конструктивної стійкості суден.

Як контрастний приклад кліматично зумовленої перебудови морських трас виступають автори [8], які показують, що зменшення льодовитості відкриває нові трансарктичні маршрути, змінюючи глобальну логістику. Хоч ці роботи не стосуються безпосередньо Північної Атлантики, вони демонструють принципово важливий висновок: кліматичні зміни можуть переформатувати географію судноплавства, що потенційно збільшує значення північно-атлантичної акваторії і підвищує потребу в надійних оцінках штормових ризиків.

В [9] автор виділяє провідний режим мінливості північноатлантичних штормових трас, використовуючи аналіз варіацій синоптичної активності (коливання атмосферного тиску на рівні моря) у зимовий сезон 1900–1992 рр., і показує його тісний зв'язок із Північноатлантичною осциляцією (NAO). Робота важлива як «класична» основа: траєкторії штормів у Північній Атлантиці змінюється узгоджено з перебудовою баричного поля (Азорський максимум–Ісландський мінімум) та великомасштабною циркуляцією. Дослідження надає критично важливу ланку між океанічними фронтами, кліматичною динамікою та погодними ризиками. Наявність чіткого фронту Гольфстріму в межах великомасштабної аномалії температури поверхні океану (SST) посилює перший центр хвильового потоку (Rossby wave train), що спрямовується на Євразію, приблизно на 40%, та інтенсифікує потік хвильової активності та призводить до посилення транспорту вологи та екстремальних опадів над морськими акваторіями у бік Західної Європи.

Огляд [10] систематизує знання про NAO, його фази, механізми та впливи у період до метеорологічних спостережень, в тому числі за допомогою палео-реконструкцій (даних непрямих свідчень, наприклад, кілець дерев). Реконструкції добре узгоджуються з інструментальними

спостереженнями у період їх перетину. Окремо підкреслюється, що NAO безпосередньо пов'язаний зі зміщеннями та інтенсивністю North Atlantic storm track (під час позитивної фази — більш інтенсивний і зміщений на північний схід; під час негативної — слабший і більш південний). Це дає фізичний «місток» між баричним полем/струменем і практичними наслідками (наприклад, шторми з сильним вітром над Європою).

Стаття [11] показує, що в умовах потепління змінюється частота/ймовірність певних режимів атмосферної циркуляції над Північною Атлантикою та Європою, що має наслідки для екстремумів (зокрема, ризиків повеней узимку та посух улітку в Європі), тобто зміни циркуляції є статистичне та динамічне значущими й релевантними до ризиків.

У роботі [12] через аналіз двох наборів ансамблеві експериментів (2000-2013 рр.) аналізується, як сила SST-фронтів у зоні Гольфстріму впливає на атмосферну відповідь на великомасштабні аномалії температури поверхні океану взимку. Показано, що більш різкий фронт Гольфстріму може підсилювати атмосферний відгук і телезв'язки через процеси, пов'язані зі проходженням циклонів та вихорами, тобто фронтальна зона є «підсилювачем» взаємодії океан-атмосфера, вказує на важливість «гарячих плям»/фронтів SST для активності штормів.

Порівнюючи траєкторії штормів у зимовий сезон Північної півкулі [13] в високороздільних (HR, 10 км океан і 25 км атмосфера) і низькороздільних (LR, 100 км океан і 100 км атмосфера) конфігураціях Community Earth System Model (CESM) та реаналізом досліджені довгострокові середні зимові штормові треки Північної півкулі (NH). Основний акцент роботи на барокліній нестійкості як механізму формування траєкторії штормів та впливу модельної роздільності на інтенсивність і структуру збурень.

Більшість досліджень аналізують окремі компоненти (штормові траси, хвилі, NAO), але не інтегрують їх у комплексну оцінку ризиків для конкретних практичних аспектів. Отже, комбінований вплив зсуву трас штормів, змін екстремальності хвиль і мінливості NAO було б доцільно трансформувати в кількісні показники ризику (ймовірність небезпечних подій, очікувані економічні втрати, вразливість глобальних ланцюгів поставок) для різних сезонів і широт

Метою дослідження є визначення зміни метеорологічних умов під впливом глобального потепління в Північній Атлантиці з застосуван-

ням ресурсу Climate Reanalyzer [14], для подальшої оцінки ризиків для судноплавства (штормові вітри, хвилі, тумани, сильні опади тощо).

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для кількісної оцінки впливу клімату на метеорологічні умови судноплавства потрібні високороздільні та узгоджені ряди вітру, тиску, температури, опадів та інших параметрів, необхідних для діагностики штормів та їх трендів над Північною Атлантикою. Реаналіз ERA5 є надійною основою для аналізу історичної мінливості, просторових закономірностей та прив'язки змін атмосферної циркуляції до морського стану.

Для характеристики впливу сучасних кліматичних змін на метеорологічні умови у Північній Атлантиці використано платформу візуалізації даних реаналізу ERA 5 Climate Reanalyzer [14].

Climate Reanalyzer є корисним інструментом для оперативного моніторингу та попереднього аналізу кліматичних параметрів, надаючи доступ до візуалізацій щоденних даних (температура повітря та морської поверхні, площа морського льоду) та місячних продуктів реаналізу (карти, часові ряди, кореляції) на основі ERA5. Ресурс дозволяє швидко оцінювати аномалії, формувати гіпотези та отримувати ілюстративний матеріал для статей, проте для глибокого аналізу та посилань необхідно використовувати первинні джерела даних, зазначені на сайті [14].

Для визначення проявів глобального потепління проаналізовані поля температури поверхні океану (SST) та температура повітря біля поверхні землі (T2m), які доступними на платформі Climate Reanalyzer. Цей набір даних є важливим для аналізу міждесятилітніх змін і аномалій у Північній Атлантиці та що дозволяє швидко ідентифікувати регіональні «гарячі плями» потепління та сезонні особливості.

Для обробки даних та проведення статистичного аналізу у дослідженні було використано надбудову Real Statistics Resource Pack для Microsoft Excel [15]. Її застосування зумовлене зручністю інтеграції з табличними даними багаторічних спостережень і можливістю реалізації сучасних статистичних тестів без необхідності використання спеціалізованих мов програмування. Даний інструмент підтримує виконання тесту Манна-Кендалла та методу Сена, що дозволяє автоматично отримати значення статистик, рівень значущості (p-value) та довірчі інтервали для оцінки тенденцій.

Методи – просторово-часовий аналіз метеорологічних полів, непараметричний тест Манна-

Кендела.

Для аналізу фонових кліматичних змін (SST та T2m) побудовані:

- сезонні та річні карти аномалій 2021–2024 рр. відносно кліматичних періодів 1961–1990 та 1991–2020 рр.;
- часові ряди середніх аномалій у межах обраного домену;
- лінійні тренди (°C/десятиліття) з оцінкою параметрів тренду за методом Манна-Кендела і інтенсивності тренду за методом Сена.

Сезонний аналіз виконано для зими (DJF), весни (MAM), літа (JJA) та осені (SON), із акцентом на DJF та SON як періоди максимальних позатропічних штормів в Атлантиці.

Для кількісного аналізу циклонічної активності і небезпечних для судноплавства вітрових умов використані осереднені поля атмосферного тиску на рівні моря (mean sea level pressure - MSLP) та вітру на рівні 250 гПа (250 hPa wind).

Дослідження охоплює акваторію Північної Атлантики, а саме домен North Atlantic LEA (Lambert Equal-Area) у ламбертовській азимутальній рівновеликій проекції.

Аналіз проводився для періоду 1940–2024 рр., із врахуванням попередньої кліматичної норми 1961–1990 рр., чинної кліматичної норми 1991–2020 рр. та міжрічної мінливості з 2021 по 2024 рр. Таке розбиття дає змогу зіставити «кліматичну норму» з поточними змінами, що мають практичне значення для морської діяльності.

Для розрахунку термічного контрасту океан–атмосфера ($\Delta T = SST - T2m$) використано місячні та сезонні цифрові дані температури поверхні моря (SST) і температури приземного повітря на висоті 2 м (T2m), отримані з ресурсу Climate Reanalyzer на основі реаналізу ERA5. Значення ΔT розраховані як різниця узгоджених у часі та просторі полів SST і T2m для обраного регіону Північної Атлантики.

Діагностика змін умов штормової активності та сильних вітрів здійснена для зимових місяців за полями атмосферного тиску на рівні моря (MSLP) та вітру на рівні 250 гПа.

3. РЕЗУЛЬТАТИ

Розглянемо прояви глобального потепління в акваторії Північної Атлантики. Середньорічні поля температури поверхні океану (SST, °C), наведені на рис. 1, свідчать про загальне потепління басейну та поступове зміщення ізотерм у північ-

ному напрямку. Попри збереження великомасштабного температурного контрасту між тропічними, помірними та субполярними широтами, у сучасний період спостерігається розширення площі теплих поверхневих вод, що відображає системну термічну перебудову Північної Атлантики.

У тропічно-субтропічному поясі Північної Атлантики (0–25°N) у кліматичному періоді 1961–1990 рр. поверхневі води характеризувалися наявністю обширної зони SST 26–29 °C у західній тропічній Атлантиці та Карибському морі, тоді як у східній тропічній частині басейну переважали значення 24–27 °C. У 1991–2020 рр. спостерігалося розширення області SST понад 26 °C у північному та східному напрямках, що свідчить про посилення теплового стану поверхневих вод. У 2021–2024 рр. зони з SST близько 28–30 °C у (біла рамка на рис. 1) західній тропічній Атлантиці та Карибському басейні займають ще більшу площу та поширюються у північному напрямку, відображаючи подальше розширення теплих поверхневих вод у цьому секторі.

Найбільш виразна область підвищеного теплового вмісту океану в усі розглянуті кліматичні періоди просторово асоційована з системою Гольфстріму. У період 1961–1990 рр. тепла течія Гольфстріму та її північно-східне продовження — Північно-Атлантична течія — характеризувалися відносно меншою шириною, нижчими значеннями SST та обмеженим просторовим розвитком фронтальної зони. У кліматичному періоді 1991–2020 рр. відбулося посилення та розширення теплої течії, що супроводжувалося північним зміщенням ізотерм 18–20 °C на кілька градусів широти та подовженням Північно-Атлантичної течії в напрямку північно-східної Атлантики. У 2021–2024 рр. максимальні додатні аномалії SST були зосереджені вздовж осі Гольфстріму та його північно-східного продовження (червона рамка на рис. 1), що свідчить про подальше розширення фронтальної зони та інтенсифікацію Північно-Атлантичної течії з поширенням теплих поверхневих вод у центральну Атлантику та в напрямку Європи.

Зона підвищеного теплового вмісту океану, пов'язана з системою Гольфстріму та Північно-Атлантичної течії, сприяє інтенсифікації тепло- та вологообміну і бароклічних процесів, які підсилюють циклогенез та штормові хвилі на головних трансатлантичних судноплавних маршрутах [2, 5, 6, 12].

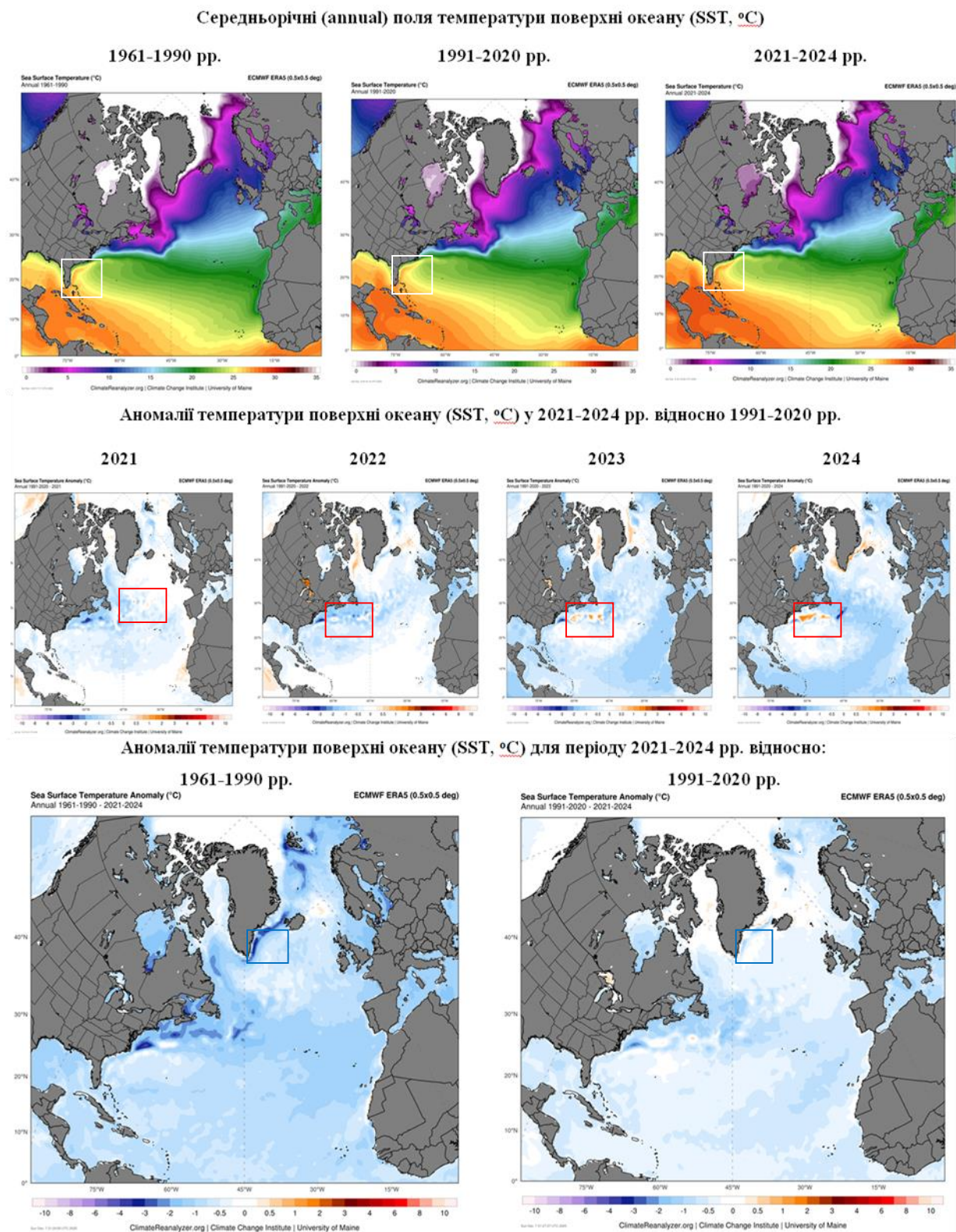


Рис. 1 – Поля середньорічних значень та аномалій SST, °C у Північній Атлантиці для різних кліматичних періодів
Fig. 1 – Fields of mean annual SST values and anomalies (°C) in the North Atlantic for different climatic periods

У субполярній гирловій зоні, тобто області, що знаходиться поблизу Ньюфаундленду та в Північній Атлантиці ($\approx 45\text{--}60^\circ\text{N}$, $60\text{--}20^\circ\text{W}$), розділяє

субтропічний та субполярний кругообіги, і де зустрічаються тепла Північно-Атлантична та холодна Лабрадурська течії тренд неоднорідний. У

кліматичному періоді 1991–2020 рр. у субполярному секторі Північної Атлантики фіксується загальне потепління, однак його інтенсивність є суттєво нижчою порівняно з фронтальною зоною Гольфстріму та Північно-Атлантичної течії. У сучасному середньому полі 2021–2024 рр. холодні води, пов'язані з циркуляцією субполярного кругооберту, займають значну площу, а фронтальний перехід між теплими субтропічними та холодними субполярними водними масами стає більш контрастним. Саме в цій області формується стійка холодна аномалія, відома як Subpolar Cold Blob або North Atlantic Warming Hole [16], яка відображає зону ослабленого потепління або відносного охолодження поверхневих вод порівняно із загальним фоновим потеплінням Північної Атлантики.

Порівняння двох карт аномалій SST показує різний географічний розподіл аномалій, тому що періоди 1961–1990 і 1991–2020 рр. мають різний рівень потепління.

Аномалії SST у 2021–2024 рр. відносно попередньої кліматичної норми 1961–1990 рр. характеризуються переважанням додатного фону на більшій частині акваторії Північної Атлантики та значною просторовою протяжністю теплих відхилень. Максимальні додатні аномалії зосереджені у фронтальній зоні Гольфстріму та Північно-Атлантичної течії, а також у східному секторі басейну поблизу Європи.

Водночас у субполярному секторі Північної Атлантики, у межах субполярного кругооберту та зоні взаємодії Лабрадорської і Східно-Гренландської течій із Північно-Атлантичною течією, зберігається область слабких або від'ємних аномалій SST - так звана субполярна холодна пляма. Її прояв у період 1961–1990 рр. був більш вираженим порівняно з кліматичним періодом 1991–2020 рр. (синя рамка на рис. 1), що відображає посилення контрасту між субполярним і субтропічним секторами Північної Атлантики у сучасну кліматичну епоху.

Аномалії 2021–2024 рр. відносно 1991–2020 рр. (чинна кліматична норма) стають меншими за величиною і більш плямистими.

Позитивні аномалії SST у сучасний період зберігаються переважно у фронтальній зоні Гольфстріму та його північно-східного продовження — Північно-Атлантичної течії, формуючи локалізовані осередки підвищеного теплового вмісту. Водночас значна частина центральної та східної Північної Атлантики характеризується аномаліями, близькими до нульових значень відносно кліматичної норми 1991–2020 рр., що свідчить

про відсутність вираженого додаткового потепління в цих секторах. Натомість у межах субполярного кругооберту, зокрема в районах Лабрадорського моря, моря Ірмінгера та південної Гренландії, від'ємні аномалії SST стають більш виразними та просторово узгодженими, що відображає посилення або збереження субполярної холодної аномалії відносно сучасної кліматичної 1991–2020 рр.

Загалом аномалії для окремих років у 2021–2024 рр. помірні та є міжрічні особливості. У 2021 р. позитивні аномалії SST були локалізовані переважно у фронтальній зоні Гольфстріму та його осевій частині, тоді як центральна частина субполярної Північної Атлантики характеризувалася умовами, близькими до кліматичної норми або слабо від'ємними аномаліями.

У 2022 р. у західному секторі субполярного кругооберту, включно з Лабрадорським морем і зоною субполярної холодної аномалії, посилювалися від'ємні або квазинейтральні відхилення SST. Водночас фронтальна зона Гольфстріму зберігала додатні аномалії відносно норми, що призводило до зростання термічного контрасту між субтропічним і субполярним секторами Північної Атлантики.

2023 рік характеризувався найбільш вираженою просторовою неоднорідністю полів аномалій SST. Локалізовані додатні аномалії посилювалися у фронтальній зоні Гольфстріму та в області Субполярного фронту, тоді як у центральній частині Північної Атлантики зберігалися слабкі від'ємні або близькі до нульових відхилення від чинної кліматичної норми.

У 2024 р. спостерігалася найбільш контрастна просторово-термічна структура аномалій SST: додатні відхилення фіксувалися як у фронтальній зоні Гольфстріму, так і в субполярному секторі поблизу Гренландії та Ісландії, тоді як у центральній частині субполярної Північної Атлантики зберігалася ядро відносно прохолодних вод, пов'язане з циркуляцією субполярного кругооберту.

Отже, у 2021–2024 рр. аномалії SST у Північній Атлантиці демонстрували зростаючу просторову контрастність із концентрацією додатних відхилень у фронтальній зоні Гольфстріму та збереженням субполярної холодної аномалії в межах субполярного кругооберту

З урахуванням сезонної мінливості атмосферної циркуляції Північної Атлантики, хвильового режиму та пов'язаних із ними навігаційних ризиків, аналіз аномалій температури поверхні моря (SST), вітрових характеристик і екстремальних метеорологічних проявів виконувався окремо для

стандартних кліматологічних сезонів: зими (DJF), весни (MAM), літа (JJA) та осені (SON). Особливу увагу приділено періоду SON–DJF, який відповідає максимуму позатропічної штормової активності та формуванню небезпечних для судноплавства умов у регіоні.

У зимовий сезон поля аномалій SST у більшій частині Північної Атлантики характеризуються переважанням слабо від’ємних значень. Найбільш виразні від’ємні аномалії зосереджені (сині рамки на рис. 2) у західному та центральному секторах середніх широт (приблизно 25–40°N, 75–45°W), включно з акваторіями, розташованими південніше та східніше фронтальної зони Гольфстріму. У субполярному секторі Північної Атлантики, південніше Гренландії та Ісландії, аномалії SST також мають переважно від’ємний або близький до нульового характер

Взимку (DJF) 2021–2024 рр. поля аномалій SST у Північній Атлантиці не демонструють стійких або просторово розвинених додатних відхилень: позитивні аномалії мають локальний і слабо виражений характер. Таким чином, зимовий період сучасних років характеризується ослабленим проявом океанічного потепління на фоні підвищеного термічного контрасту між фронтальною зоною Гольфстріму та відносно холодними водами прилеглих субполярних і центрально-атлантичних районів.

У весняний сезон (MAM) загальний фон аномалій SST у більшій частині басейну залишається слабо від’ємним, особливо в центральній Північній Атлантиці. Водночас чітко формується зонально витягнута смуга додатних аномалій (червона рамка на рис. 2) уздовж фронтальної зони Гольфстріму та Північно-Атлантичної течії (приблизно 30–40°N від східного узбережжя США до 55–45°W).

Найбільша інтенсивність додатних аномалій SST протягом року спостерігається у весняний сезон, що визначає весну як період максимуму теплих відхилень у фронтальній зоні Гольфстріму. У цей час фронтальна смуга додатних аномалій є найбільш інтенсивною та просторово протяжною порівняно з іншими сезонами, відображаючи посилення ролі океанічних фронтів у формуванні сезонної термічної структури Північної Атлантики.

У літній сезон (JJA) 2021–2024 рр. у тропічно-субтропічному та центральному секторах Північної Атлантики переважали слабо від’ємні аномалії SST, тоді як у середніх широтах фон аномалій

був близьким до нульових або слабо від’ємних значень. Водночас сезонний максимум додатних аномалій SST зміщувався у північному напрямку: найбільш виразні позитивні відхилення фіксувалися вздовж західного узбережжя Гренландії (червоні рамки на рис. 2), в районі моря Ірмінгера та прилеглих субполярних вод, що відображає літнє посилення теплових аномалій у межах субполярного кругооберту.

Отже, літо характеризується відносним посиленням додатних аномалій SST у субполярному секторі Північної Атлантики на тлі слабо вираженого потепління в тропічно-субтропічних широтах басейну.

Восени (SON), подібно до зимового, у більшій частині Північної Атлантики знову переважають слабо від’ємні аномалії SST. Центральний та східний сектори басейну характеризуються значеннями, нижчими за кліматичну норму (сині рамки на рис. 2), тоді як у субполярному секторі аномалії SST є переважно близькими до нульових або слабо від’ємними. Додатні аномалії SST проявляються локально у західній частині фронтальної зони Гольфстріму поблизу узбережжя Північної Америки (приблизно 30–35°N, 75–65°W), проте їх інтенсивність і просторова протяжність є суттєво меншими порівняно з весняним сезоном

Аналіз температури приземного повітря на висоті 2 м (T2m) є методичне обґрунтованим доповненням до аналізу SST, оскільки характеризує термічний стан нижнього шару атмосфери, його реакцію на великомасштабні циркуляційні режими та формування метеорологічних умов, важливих для морської навігації. Особливу інформативність має оцінка термічного контрасту океан–атмосфера ($\Delta T = SST - T2m$), який визначає інтенсивність тепло- і вологообміну над океанічними фронтальними зонами, зокрема в області Гольфстріму, та впливає на енергетику позатропічних циклонів у штормовий сезон.

Ряди SST і T2m за період 1940–2024 рр. свідчать про стале потепління Північної Атлантики з прискоренням після 1990-х років і максимумами у 2023–2024 рр. При цьому зростання T2m є дещо швидшим і більш рівномірним порівняно з SST (рис. 3), що в довгостроковій перспективі зумовлює зменшення термічного контрасту океан–атмосфера (ΔT), незважаючи на наявність міжрічної мінливості.

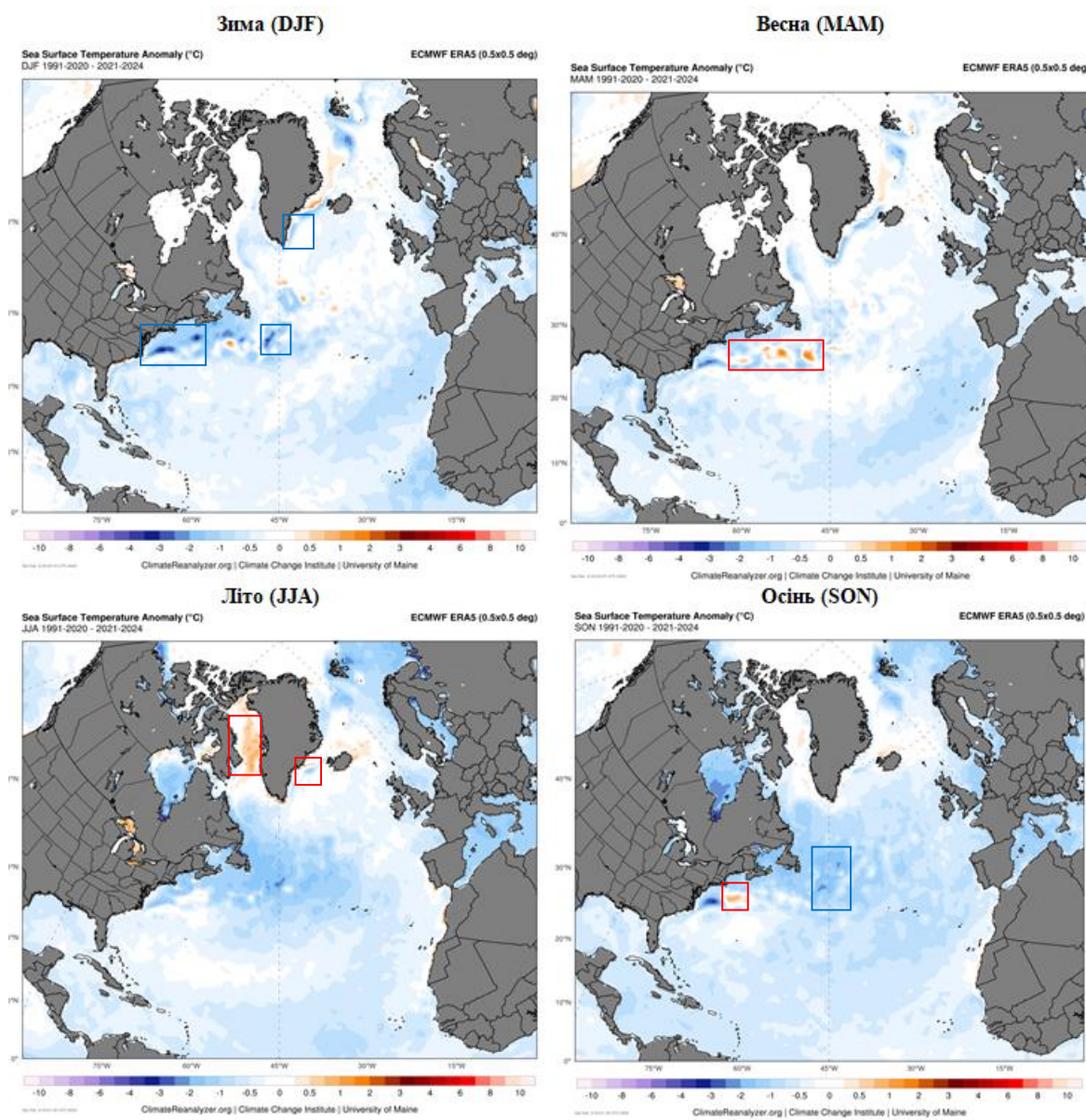


Рис. 2 – Поля аномалій SST, °C у Північній Атлантиці у 2021-2024 рр. відносно 1991-2020 рр. для різних сезонів
Fig. 2 – Fields of SST anomalies (°C) in the North Atlantic in 2021–2024 relative to 1991–2020 for different seasons

Ряди термічного контрасту океан–атмосфера ($\Delta T = \text{SST} - T_{2m}$) за періоду 1940–2024 рр. демонструють стійкий від’ємний лінійний тренд упродовж усього періоду спостережень як для річних середніх значень, так і для всіх сезонів (рис. 3). Річні значення ΔT зменшилися приблизно з 1,5–1,6 °C у 1940–1950-х роках до рівнів близько 1,0 °C і нижче у 2020-х роках, що свідчить про поступове ослаблення середнього термічного контрасту між океаном і атмосферою в Північній Атлантиці.

Найбільш інтенсивне зменшення термічного контрасту океан–атмосфера спостерігається у зи-

мовий сезон: сезонні значення ΔT знизилися орієнтовно на 0,5 °C, що свідчить про істотне ослаблення теплового контрасту між океаном і приземною атмосферою в межах основного коридору позатропічної штормової активності Північної Атлантики. У перехідні сезони також фіксується помітний спад ΔT на рівні приблизно 0,3–0,4 °C. Особливо показовою є літня еволюція ΔT , для якої зафіксовано перехід від слабо додатних значень у середині XX ст. до від’ємних у сучасний період, що означає переважання температури приземного повітря над температурою поверхні океану влітку в межах домену.

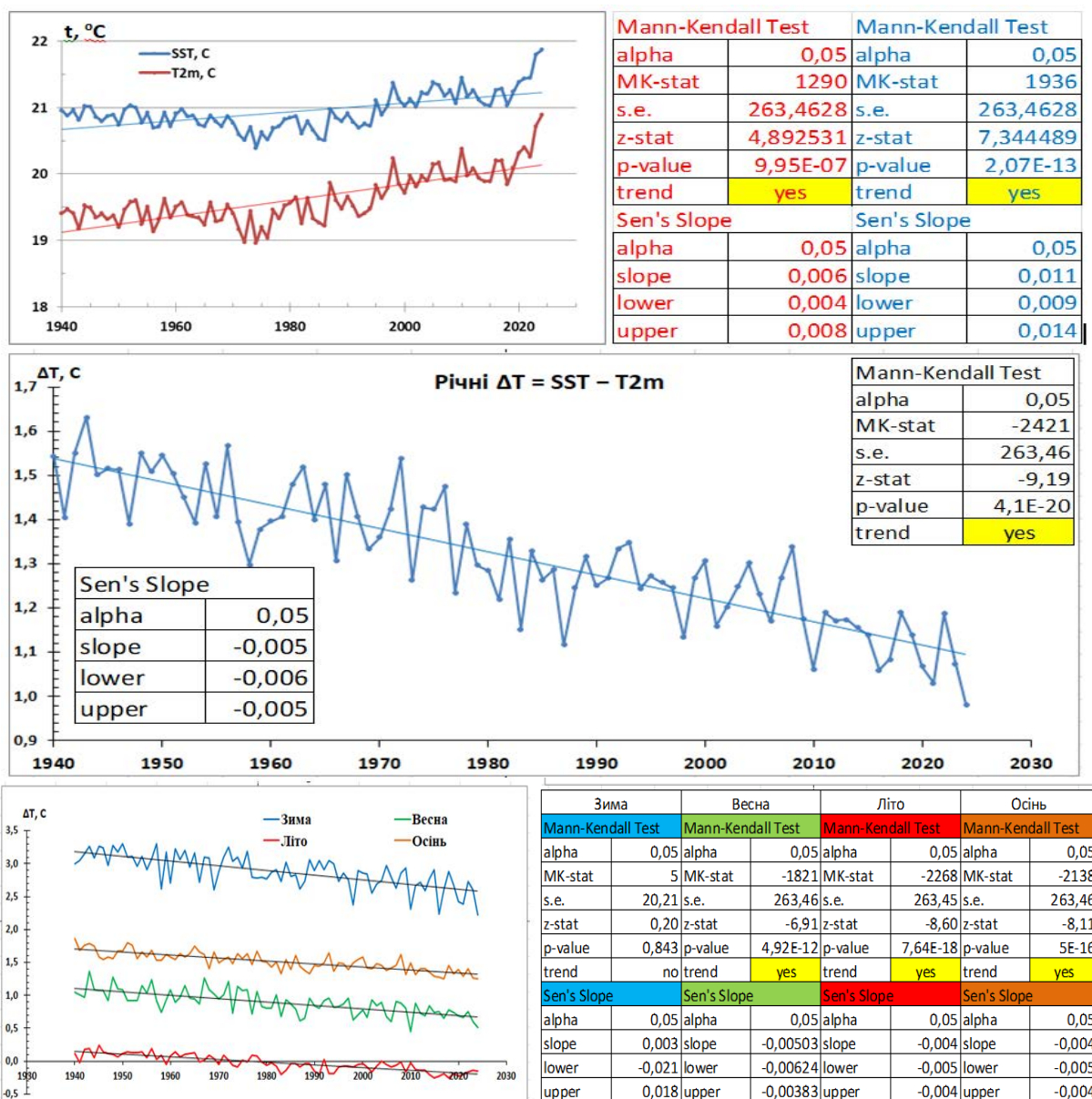


Рис. 3 – Динаміка і статистична оцінка трендів SST, T2m та різниці температур ΔT (°C) у 1940-2024 рр.
 Fig. 3 – Dynamics and statistical assessment of trends in SST, T2m and the temperature difference ΔT (°C) in 1940-2024

Аналіз часових рядів температури моря та повітря за допомогою непараметричних методів (Манна-Кендалла та Сена) виявив статистично значущі монотонні зростаючі тренди в обох випадках ($p < 0.001$). Однак швидкість зростання суттєво відрізняється. Температура повітря зростає зі швидкістю $0,015$ °C на рік (оцінка тренду з 95% довірчим інтервалом: $0,013$ – $0,018$ °C/рік). Температура моря зростає повільніше $0,010$ °C на рік (оцінка тренду з 95% довірчим інтервалом: $0,008$ – $0,013$ °C/рік). Різниця в наклоні є статистично значущою (довірчі інтервали не перекриваються), що узгоджується з фізичними властивостями середовища: повітря, маючи меншу теплоємність, реагує на зміну клімату швидше, ніж водна маса.

Високі значення Z-статистики та крихітні p-value для обох змінних є класичним індикатором сильного впливу глобального потепління у регіоні. Обидві $Z \gg 3,29$, тому тренди в обох випадках значущі з найвищою можливою статистичною впевненістю. Z-статистика для температури повітря на 20% вища, ніж для температури моря.

Розгляд річної різниці між температурою моря та повітря виявив найсильніший та найнадійніший ($Z\text{-stat} = -9,19$) тренд серед усіх досліджених змінних. Встановлено статистично значуще монотонне зменшення цієї різниці зі швидкістю $-0,005$ °C на рік (оцінка тренду з 95% довірчим інтервалом: $-0,006$... $-0,005$ °C/рік; $p < 0,001$). Це є прямим наслідком того, що температура повітря

зростає значно швидше ($+0,015\text{ }^{\circ}\text{C/рік}$), ніж температура моря ($+0,010\text{ }^{\circ}\text{C/рік}$). Таке скорочення теплового розриву між середовищами може вказувати на зміну режиму теплообміну в системі "океан-атмосфера" та є важливим індикатором нерівномірності прогрівання компонентів кліматичної системи в регіоні дослідження.

Сезонний аналіз виявив виразну асиметрію: значуще зменшення різниці температури мореповітря відбувається в теплий період року (весна, літо, осінь), тоді як взимку тренд відсутній. Найсильніший та найстійкіший спад спостерігається влітку ($Z = -8,60$). Це свідчить про те, що процес більш швидкого прогрівання атмосфери порівняно з океаном є сезонно-залежним і найбільш вираженим у період максимальної сонячної радіації та стабільних атмосферних умов.

Спільний аналіз SST, T2m та їх різниці (ΔT), є інформативним підходом для оцінки стану та змін у системі "океан-атмосфера". Він дозволяє кількісно оцінити нерівномірність прогрівання компонентів кліматичної системи та потенційні наслідки для циркуляційних процесів та енергетики погодних явищ у Північній Атлантиці

Поля аномалій SST в осінній сезон 2021–2024 рр. характеризуються переважанням слабо від'ємних або близьких до нульових відхилень на більшій частині акваторії Північної Атлантики. У центральному та східному секторах басейну фіксуються помірні від'ємні аномалії SST відносно кліматичної норми 1991–2020 рр., що свідчить про ослаблене потепління або відносне охолодження поверхневих вод у цей період.

Поля аномалій температури приземного повітря (T2m) в осінній сезон істотно відрізняються від відповідних полів SST. У 2021–2024 рр. (рис. 4) над більшою частиною акваторії Північної Атлантики, а також над прилеглими континентальними територіями, переважають додатні аномалії T2m відносно кліматичної норми. Найбільш інтенсивні позитивні відхилення зосереджені у субполярному секторі Північної Атлантики та Арктиці, зокрема над Канадською Арктикою, Баффіновою затокою, Лабрадормом і північно-західним сектором Атлантичного океану. Такий просторовий розподіл узгоджується з проявами арктичного підсилення потепління, яке характеризується максимальними темпами зростання температури приземного повітря в осінній сезон.

В Центральній Атлантиці ($\approx 20\text{--}50^{\circ}\text{N}$) переважно слабкі додатні аномалії (світло-блакитні), тобто повітря тут тепліше, але не так різко, як у високих широтах. Східна Атлантика біля Європи й Північ Африки - переважають позитивні відхи-

лення, відносно рівномірні, без великих "холодних" осередків.

Загалом, осінь 2021–2024 рр. характеризується стійким потеплінням приземної атмосфери у всьому басейні з максимумом у субполярно-арктичній зоні на заході Північної Атлантики.

У зимовий сезон 2021–2024 рр., на відміну від полів аномалій температури приземного повітря (T2m), поля аномалій SST у Північній Атлантиці характеризуються домінуванням слабо від'ємних або квазинейтральних значень на більшій частині басейну. У період грудень–лютий (DJF) океанська поверхня в середньому не демонструє суцільного потепління, а загальний термічний фон відповідає умовам слабого відносного охолодження. Водночас локалізовані додатні аномалії SST зберігаються у фронтальній зоні Гольфстріму, що підкреслює підвищений термічний контраст між цією течією та навколишніми водами в холодний сезон.

У зимовий сезон 2021–2024 рр. відносно кліматичної норми 1991–2020 рр. Північна Атлантика характеризується переважанням додатних аномалій температури приземного повітря (T2m) з максимумами у субполярно-арктичному та північно-західному секторах басейну. Водночас аномалії SST у більшій частині акваторії мають квазинейтральний або слабо від'ємний характер, за винятком локалізованих додатних відхилень у фронтальній зоні Гольфстріму.

Протилежний характер аномалій SST і T2m вказує на зменшення зимового термічного контрасту океан–атмосфера (ΔT) і зміну умов тепло- та вологообміну в зоні основної штормової активності Північної Атлантики.

Зимова кліматологія поля середнього атмосферного тиску на рівні моря (MSLP, гПа) за 1991–2020 рр. чітко визначає основне ядро північноатлантичної штормової траєкторії (рис. 5). Найнижчі середні значення тиску формують Ісландський мінімум — просторово витягнуту область пониженого MSLP, центр якої розташований у субполярному секторі між південною Гренландією та Ісландією (приблизно $55\text{--}65^{\circ}\text{N}$, $45\text{--}25^{\circ}\text{W}$). Від цього ядра ізобари розходяться до більш високого тиску на південь (Азорський максимум) і на захід до континенту Північної Америки. Така конфігурація відображає стійкий зимовий градієнт тиску між субтропіками та субполярними широтами та відповідає кліматологічному коридору найчастішого циклогенезу і проходження позатропічних циклонів у Північній Атлантиці.

Порівняння поля MSLP за 2021–2024 рр. з кліматичною нормою демонструє помітну перебу-

дову поля тиску в зоні Ісландського мінімуму. Карта аномалій показує від'ємні відхилення MSLP у центрально-субполярній Атлантиці навколо Гренландії та південніше Ісландії, тоді як у західному секторі (поблизу Лабрадору/північно-східної Канади) і в східному секторі біля Європи переважають додатні аномалії тиску. Подібна структура аномалій означає, що в сучасний період

ядро пониженого тиску зберігається і локально поглиблюється у центральному субполярному басейні, але водночас посилюється фон атмосферного тиску з боків штормового коридору, що це вказує на модифікацію його позиції та “стиснення” у зоні найнижчого тиску.

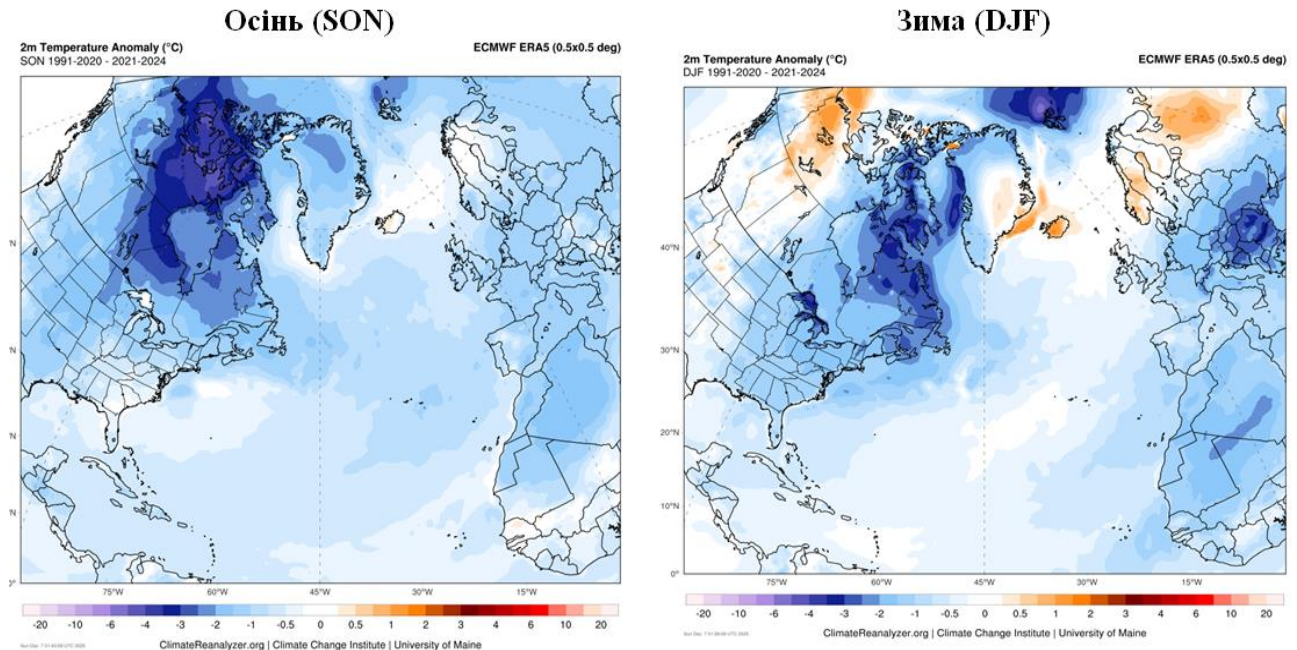


Рис. 4 – Просторові аномалії температури приземного повітря (T2m) у Північній Атлантиці восени (SON) та взимку (DJF) за 2021–2024 рр. відносно кліматичної норми 1991–2020 рр.

Fig. 4 – Spatial anomalies of near-surface air temperature (T2m) in the North Atlantic in autumn (SON) and winter (DJF) for 2021–2024 relative to the 1991–2020 climatic normal

Кліматологічне поле швидкості вітру на 250 гПа за 1991–2020 рр. відображає класичний північноатлантичний потік, який формує динамічний “скелет” штормових траєкторій. Зимовий максимум швидкості простягається смугою від східного узбережжя Північної Америки через центральну Атлантику до Західної Європи, з ядром у широтах приблизно 35–50°N. Саме зона входу/виходу струменя та найбільших горизонтальних градієнтів швидкості відповідає основному коридору циклонної активності.

У 2021–2024 рр. конфігурація струменя зберігає загальну орієнтацію, проте аномалії швидкості на 250 гПа мають дипольну структуру: у субполярній Атлантиці та біля Гренландії фіксується посилення струменя, а на окремих ділянках східної Атлантики і над Європейським сектором спостерігається ослаблення швидкості.

Тобто в сучасний період вісь і зона найбільшої інтенсивності струменя локально зміщується до півночі та стає більш хвилястою, що є динаміч-

ною передумовою для зсувів та перебудови шляхів штормів.

4. ВИСНОВКИ

Аналіз кліматологічних середніх полів SST свідчить про стійке потепління Північної Атлантики при переході від кліматичного періоду 1961–1990 до 1991–2020 рр., яке додатково посилюється у 2021–2024 рр. Найбільш інтенсивне зростання температури поверхні океану просторово асоційоване з фронтальною системою Гольфстріму та Північно-Атлантичної течії.

Усереднені аномалії SST за 2021–2024 рр. підтверджують переважання додатного температурного фону на більшій частині акваторії Північної Атлантики, з максимумами у фронтальній зоні Гольфстріму та мінімальними значеннями у межах субполярного кругооберту, де зберігається область ослабленого потепління або відносного охолодження.

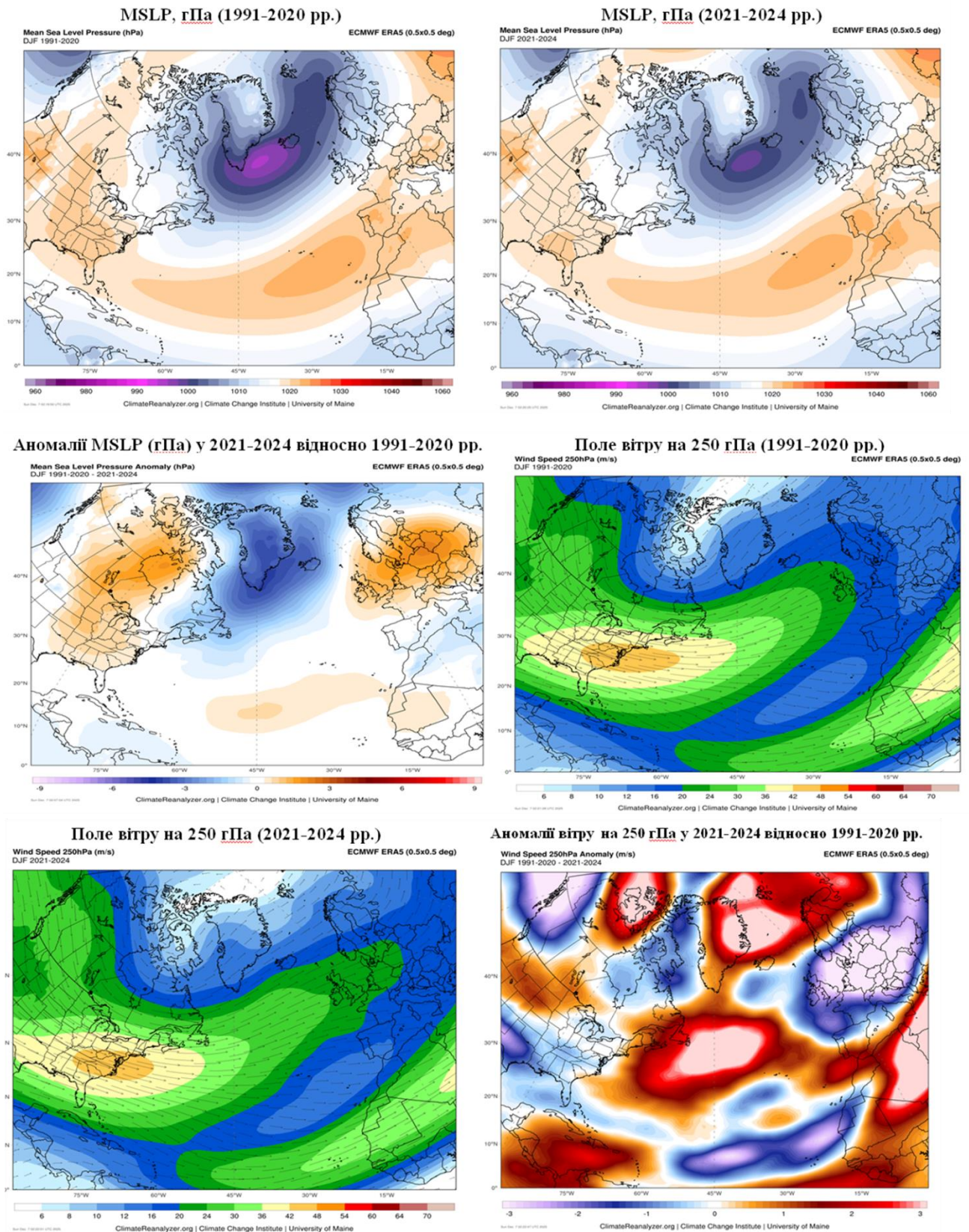


Рис. 5 – Поля середнього атмосферного тиску на рівні моря (MSLP, гПа) та вітру на рівні 250 гПа (250 hPa wind) у Північній Атлантиці взимку 1991-2020 і 2021-2024 pp., та їх просторові аномалії відносно 1991-2020 pp.

Fig. 5 – Fields of mean sea level pressure (MSLP, hPa) and 250-hPa wind in the North Atlantic for winters of 1991–2020 and 2021–2024, and their spatial anomalies relative to 1991–2020

Аномалії SST у 2021–2024 рр. характеризуються чітко вираженою сезонною мінливістю. Восени та взимку переважають слабо від’ємні або квазинейтральні відхилення, тоді як весняний сезон відповідає максимуму додатних аномалій у фронтальній зоні Гольфстріму. Влітку спостерігається північне зміщення зон максимального потепління до субполярного сектору, що відображає сезонну перебудову термічної структури поверхневих вод Північної Атлантики.

Посилення меридіонального термічного контрасту між субтропічними та субполярними широтами, а також сезонно-контрастна перебудова полів SST, потенційно впливають на барокліністність атмосфери та енергетику позатропічного циклогенезу.

Просторове положення та інтенсивність штормової зони визначаються конфігурацією Ісландського мінімуму та смугою максимальних швидкостей струминної течії. У 2021–2024 рр. ця система зберігає активний характер, однак супроводжується від’ємними аномаліями приземного атмосферного тиску в центральному субполярному басейні та підвищеним тиском на його периферії.

ПОДЯКА

Автор висловлює подяку рецензентам та редакційній колегії Журналу за критичні зауваження до тексту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Cohen J., Screen J., Furtado J., Barlow M., Whittleston D., Coumou D., Francis J., Dethloff K., Entekhabi D., Overland J. & Jones J. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*. 2014. 7 (9), Pp. 627–637. <https://doi.org/10.1038/ngeo2234>
2. Shaw T., Baldwin M., Barnes E., Caballero R., Garfinkel C.I., Hwang Y.-T., Li C., O’Gorman P.A., Rivière G., Simpson I.R., & Voigt A. Storm track processes and the opposing influences of climate change. *Nature Geoscience*. 2016. 9 (9), Pp. 656–664. <https://doi.org/10.1038/ngeo2783>
3. Woollings T., Hannachi A., Hoskins B. Variability of the North Atlantic eddy-driven jet stream. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2010. 136 (649), Pp. 856–868. <https://doi.org/10.1002/qj.625>
4. Zappa G., Hawcroft M.K., Shaffrey L., Black E., Brayshaw D.J. Extratropical cyclones and the projected decline of winter Mediterranean precipitation in the CMIP5 models. *Climate Dynamics*. 2015. 45 (7), Pp. 1727–1738. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2426-8>
5. Hemer M.A., Fan Y., Mori N., Semedo A., Wang X.L. Projected changes in wave climate from a multi-model ensemble. *Nature Climate Change*. 2013. 3 (5), Pp. 471–476. <https://doi.org/10.1038/nclimate1791>
6. Wolf J., Woolf D.K. Waves and climate change in the North-East Atlantic. *Geophysical Research Letters*. 2006. 33 (6). <https://doi.org/10.1029/2005GL025113>
7. Bricheno L.M., Woolf D., Valiente N.G., Makrygianni N., Chowdhury P., Timmermans B. Climate change impacts on

- storms and waves relevant to the UK and Ireland. *MCCIP Science Review*, 2025, 24 pp. <https://doi.org/10.14465/2025.reu09.str>
8. Smith L.C., Stephenson S.R. New trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013. 110 (13), Pp. E1191–E1195. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214212110>
 9. Rogers J. C. North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe // *Journal of Climate*. – 1997. 10 (7). Pp. 1635–1647. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<1635:NASTVA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<1635:NASTVA>2.0.CO;2)
 10. Pinto J. G., Raible C. C. Past and recent changes in the North Atlantic oscillation. *WIREs Climate Change*. 2011. 3 (1). Pp. 79–99. DOI: <https://doi.org/10.1002/wcc.150>
 11. Rousi, E., F. Seltén, S. Rahmstorf, & D. Coumou. Changes in North Atlantic Atmospheric Circulation in a Warmer Climate Favor Winter Flooding and Summer Drought over Europe. *Journal of Climate*. 34 (6). P. 2277–2295. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0311.1>
 12. Xie X., Jia Y., Han Z. The Gulf Stream Front Amplifies Large-Scale SST Feedback to the Atmosphere in North Atlantic Winter. *Atmosphere*. 2023. Vol. 14, p. 1758. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos14121758>
 13. Chang E. K. M., Ma C.-G., Zheng C. Effects of model horizontal resolution on Northern Hemisphere winter storm tracks. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. – 2023. Vol. 15. Article e2023MS003652. DOI: <https://doi.org/10.1029/2023MS003652>
 14. Climate Reanalyzer [Електронний ресурс]. – Climate Change Institute, University of Maine, 2024. URL: https://climatereanalyzer.org/research_tools/monthly_maps/ (Дата звернення: 20.11.2025).
 15. Real Statistics Using Excel [Електронний ресурс]. URL: <https://real-statistics.com/> (Дата звернення: 20.12.2025).
 16. Gervais M., Shaman J., Kushnir Y. Impacts of the North Atlantic Warming Hole in Future Climate Projections: Mean Atmospheric Circulation and the North Atlantic jet. *Journal of Climate*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0647.1>

REFERENCES

1. Cohen, J., Screen, J.A., Furtado, J.C., Barlow, M., Whittleston, D., Coumou, D., Francis, J., Dethloff, K., Entekhabi, D., Overland, J., & Jones, J. (2014). Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*, 7 (9), pp. 627–637. <https://doi.org/10.1038/ngeo2234>
2. Shaw, T. A., Baldwin, M., Barnes, E.A., Caballero, R., Garfinkel, C.I., Hwang, Y.-T., Li, C., O’Gorman, P.A., Rivière, G., Simpson, I.R., & Voigt, A. (2016). Storm track processes and the opposing influences of climate change. *Nature Geoscience*, 9 (9), pp. 656–664. <https://doi.org/10.1038/ngeo2783>
3. Woollings, T., Hannachi, A., & Hoskins, B. (2010). Variability of the North Atlantic eddy-driven jet stream. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 136 (649), pp. 856–868. <https://doi.org/10.1002/qj.625>
4. Zappa, G., Hawcroft, M.K., Shaffrey, L., Black, E., & Brayshaw, D.J. (2015). Extratropical cyclones and the projected decline of winter Mediterranean precipitation in the CMIP5 models. *Climate Dynamics*, 45(7), pp. 1727–1738. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2426-8>
5. Hemer, M.A., Fan, Y., Mori, N., Semedo, A., & Wang, X. L. (2013). Projected changes in wave climate from a multi-model ensemble. *Nature Climate Change*, 3(5), pp. 471–476.

- <https://doi.org/10.1038/nclimate1791>
6. Wolf, J., Woolf, D.K. (2006). Waves and climate change in the North-East Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 33 (6), <https://doi.org/10.1029/2005GL025113>
 7. Brichenov, L.M., Woolf, D., Valiente, N.G., Makrygianni, N., Chowdhury, P., & Timmermans, B. Climate change impacts on storms and waves relevant to the UK and Ireland. *MCCIP Science Review*, 2025, 24 pp. <https://doi.org/10.14465/2025.reu09.str>
 8. Smith, L. C., & Stephenson, S. R. (2013). New trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110 (13), E1191–E1195. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214212110>
 9. Rogers, J. C. (1997). North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe. *Journal of Climate*, 10(7), 1635–1647. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<1635:NASTVA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<1635:NASTVA>2.0.CO;2)
 10. Joaquim G. Pinto, Christoph C. Raible. (2011). Past and recent changes in the North Atlantic oscillation. *WIREs Climate Change*, 2, 79–99. <https://doi.org/10.1002/wcc.150>
 11. Rousi, E., F. Selten, S. Rahmstorf, & D. Coumou, (2021): Changes in North Atlantic Atmospheric Circulation in a Warmer Climate Favor Winter Flooding and Summer Drought over Europe. *J. Climate*, 34 (6), 2277–2295, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0311.1>
 12. Xie, X.; Jia, Y.; Han, Z. (2023) The Gulf Stream Front Amplifies Large-Scale SST Feedback to the Atmosphere in North Atlantic Winter. *Atmosphere*, 14, 1758. <https://doi.org/10.3390/atmos14121758>
 13. Zhaoying Wang, Mingkui Li, Shaoqing Zhang, R. Justin Small, Lv Lu, Man Yuan, Jianlin Yong, Xiaopei Lin, Lixin Wu (2023) The Northern Hemisphere Wintertime Storm Track Simulated in the High-Resolution Community Earth System Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 15 (10), e2023MS003652. <https://doi.org/10.1029/2023MS003652>
 14. Climate Reanalyzer. – Climate Change Institute, University of Maine, 2024. URL: https://climatoreanalyzer.org/research_tools/ (Accessed: 20.11.2025).
 15. Real Statistics Using Excel. URL: <https://real-statistics.com/> (Accessed: 20.12.2025).
 16. Gervais Melissa, Shaman Jeffrey, Kushnir Yochanan (2019) Impacts of the North Atlantic Warming Hole in Future Climate Projections: Mean Atmospheric Circulation and the North Atlantic jet. *Journal of Climate*, 2019; <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0647.1>

CHANGES IN METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE NORTH ATLANTIC UNDER GLOBAL WARMING

A. B. Semerhei-Chumachenko, V. V. Shehel

*Odesa I. I. Mechnikov National University,
2 Vsevoloda Zmiienka Street, Odesa 65082, Ukraine, alina.semerhei-chumachenko@onu.edu.ua*

Trends in the ocean–atmosphere conditions of the North Atlantic under global warming, manifested since the second half of the 20th century and intensified in the early 21st century, are identified, and their relationship with storm activity is examined. Using data from the Climate Reanalyzer platform, the spatiotemporal variability of sea surface temperature, near-surface air temperature, the thermal contrast between the ocean and the atmosphere (defined as the difference between sea surface temperature and near-surface air temperature), mean sea level pressure, and wind fields at 250 hPa, which characterize the position and intensity of the jet stream, was analyzed.

Relative to the 1961–1990 climate baseline, sea surface temperature anomalies during 2021–2024 indicate widespread warming across the North Atlantic, with maximum values along the Gulf Stream and the North Atlantic Current. In contrast, anomalies relative to the 1991–2020 baseline are weaker and more spatially heterogeneous, with a persistent region of reduced warming in the subpolar North Atlantic. Seasonal analysis reveals springtime maxima along the Gulf Stream, a northward displacement of warm anomalies in summer, and predominantly weak or negative anomalies in autumn and winter.

Long-term records (1940–2024) indicate accelerated warming since the 1990s, with near-surface air temperature increasing more rapidly than sea surface temperature, leading to a reduction in the ocean–atmosphere thermal contrast, particularly during winter.

Wintertime (2021–2024) pressure fields exhibit negative mean sea level pressure anomalies over the central subpolar North Atlantic and higher pressure along the basin periphery, suggesting a concentration and partial reorganization of the extratropical storm track. Corresponding 250-hPa wind anomalies indicate localized jet strengthening and a northward displacement of the jet axis.

Keywords: North Atlantic, climate change, sea surface temperature, storm, ocean–atmosphere thermal contrast, trend.

*Подання до редакції : 08. 12. 2025
Надходження остаточної версії : 21. 12. 2025
Публікація статті : 23. 12. 2025*

UDC 551.578.4:551.524(477.87)

TRENDS AND VARIABILITY OF SNOW COVER IN SLAVSKO DURING 1948–2020 UNDER CLIMATE CHANGE

I. Khomenko, R. Marchyshyn

*Odesa I.I. Mechnikov National University,
2 V. Zmiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine
innchom.ik@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8982-5417>*

Snow plays a significant role in the climate system by altering soil properties, land–atmosphere heat and moisture exchange, the surface radiation balance, and key components of the hydrological cycle. As a major element of the cryosphere, snow cover shapes local meteorological conditions while simultaneously influencing atmospheric processes across broader spatial and temporal scales, including general circulation anomalies, Rossby wave modifications, the dynamics of sudden stratospheric warmings, and features of the East Asian summer monsoon. Given the high sensitivity of snow cover to changes in temperature, analysing its long-term dynamics is critically important, particularly in the context of the strong positive air-temperature trends observed during the winter and winter–spring transition periods.

The paper presents a comprehensive analysis of long-term snow-cover dynamics at the Slavsko meteorological station (Ukrainian Carpathians) for the period 1948/49–2019/20, one of the longest continuous observational records in the high-mountain regions of Ukraine. Using daily meteorological data, a physico-statistical and climatic assessment was performed of the duration of the snow season, the period of stable snow cover, the timing of snow formation and melt, maximum and mean snow depth, and integral indicators of snow accumulation. For the first time for the Slavsko station, a classification of winter seasons was conducted using snowiness and winter-severity index, which allowed the identification and systematisation of 22 winter types and helped trace their evolution in response to climatic perturbations.

These results provide a detailed understanding of snow-cover dynamics in the Ukrainian Carpathians, capturing long-term trends and the rising variability of recent decades. Such evidence is vital for strengthening climate-adaptation strategies in winter tourism, hydrology, transportation infrastructure, and the broader mountain economy.

Keywords: snow cover, snowiness coefficient, winter types, climate variability, Ukrainian Carpathians, Slavsko.

1. INTRODUCTION

Snow cover is widely recognized as a critical element of the climate system, acting as both a climatic regulator and an ecological and hydrological driver. Because of its high albedo, thermal insulation properties, and capacity to modulate surface energy fluxes, snow cover plays a major role in shaping regional climate feedbacks and influencing atmospheric circulation patterns [3,6,13]. Numerous global assessments highlight snow cover as one of the most sensitive climate indicators, responding rapidly to variations in air temperature and precipitation. Observational and reanalysis datasets show a persistent decline in Northern Hemisphere the spring snow extent since the late twentieth century [6, 7, 12, 22], accompanied by a shift toward earlier melt and reduced seasonal snow accumulation. These trends are consistent with climate-model projections, which suggest substantial future reductions in

snow reliability, particularly in mid-elevation mountain zones [14, 20].

Studies across major mountain regions provide detailed evidence of these transformations. In the European Alps, long-term observations demonstrate a notable decrease in snow-cover duration and snow depth at elevations below 1500 m [4, 20], where temperatures frequently oscillate around the freezing point. Warming winters reduce the likelihood of snowfall, increase the frequency of mid-winter melt events, and compress the effective snow season [21]. Similar findings have been reported in the Pyrenees [24] and the Tatra Mountains [17], where the regional warming signal has intensified since the 1980s. High-resolution modelling further shows that even modest temperature increases can lead to disproportionately large declines in snow-cover duration at lower elevations [18], reinforcing the vulnerability of mountain ecosystems and winter-based economies.

Long-term climatological analyses also emphasize the strong linkage between snow-cover variability and large-scale atmospheric circulation. The North Atlantic Oscillation (NAO), Arctic Oscillation (AO), and changes in North Atlantic storm tracks modulate the frequency and intensity of cold-air outbreaks, snowstorms, and warm advection events across Europe [13]. Positive NAO phases typically correspond to warmer winters and reduced snow cover in Central and Eastern Europe, while negative phases favour increased snowfall and longer snow persistence [10]. These circulation-driven impacts are particularly pronounced in transitional mountain zones such as the Carpathians, which lie at the interface of Atlantic, continental, and Mediterranean air-mass influences. As a result, snow regimes in this region exhibit strong interannual variability, with abrupt transitions between mild, low-snow winters and cold, snowy seasons.

Research specific to Eastern Europe and the Carpathian region, though less extensive than Alpine and Scandinavian studies [8, 11, 12], consistently identifies declining snow-cover duration, earlier melt dates, and reduced snow depth over recent decades. Analyses from Slovakia, Poland, and Romania report shortened snow seasons, reduced maximum snow depth, and stronger mid-winter instability linked to warming [1, 5, 10]. In the Western and Eastern Carpathians, meteorological station data show delayed onset of stable snow cover and more frequent interruptions due to warm spells [5]. Mountain catchments in the region have shown shifts in the timing of spring snowmelt and associated streamflow peaks, indicating broader hydrological consequences [1, 5, 10].

However, despite growing interest in climate-change impacts on Carpathian snow regimes, comprehensive multi-decadal station-based analyses remain limited, and gaps persist in understanding local-scale variability, elevation-dependent responses, and the role of orographic factors. The Ukrainian Carpathians, in particular, have received comparatively little systematic attention. Existing studies document tendencies toward decreasing seasonal snow depth, more frequent winter thaws, and increased interannual variability, yet few utilize long-term daily observations to analyse detailed snow-cover dynamics. The Slavsko meteorological station, with its continuous multi-decade record, provides a valuable empirical basis for addressing this gap, including a recent analysis of snow-cover variability at this site for 1990–2010 [15].

This study aims to quantify long-term changes and variability in snow-cover characteristics at the Slavsko meteorological station over the 1948/49–2019/20 period

2. MATERIALS AND METHODS

This paper is based on daily data for the winter seasons from 1948/49 to 2019/20, i.e. months in which occurrence of snow cover was actually observed – in this case the period from September to May. The analysis was based on occurrence of snow cover and snow cover thickness on subsequent days in particular winter seasons. Measurements were performed in the meteorological station Slavsko (48°54'00" N, 23°30'00" E).

For each season, we calculated the total number of days with snow cover, the mean and maximum snow depth, and characteristics of daily snow accumulation. The mean snow depth was calculated as the total snow depth over the winter period divided by the number of days in the period. The winter period was defined as December through March inclusive, as proposed in [27].

The duration of particular seasons was calculated as the number of days between the first and last day on which snow cover was observed. The frequency of occurrence of days with a decrease and increase in snow cover depth was calculated for pentads in winter seasons.

Linear trend analysis, moving averages, and comparative analysis of different periods were applied to identify long-term changes and interannual variability. Long-term trends in snow-cover characteristics were evaluated using both the least-squares method, which provides an estimate of the linear trend, and the Sen's slope estimator [25]. Trend magnitude was estimated using least-squares regression and Sen's slope, while statistical significance was assessed using the Mann–Kendall test at the 0.05 significance level, with trends considered statistically significant when $|Z| \geq 1.96$.

A shifted moving average was calculated by averaging values within a fixed temporal window and assigning the resulting mean to a time point shifted by 10 years relative to the original series.

The snowiness of winter was defined by the thickness and duration of the snow cover.

The snowiness of winter in this study was determined using the winter snowiness index proposed in [23] and further used in [27].

$$W_{sn} = 0.0409D_{sc} + 0.0246D_{sc20} + 0.00007S_{std}$$

where W_{sn} is the winter snowiness coefficient; D_{sc} is the number of days with snow cover of 1 cm or more during the period December–March; D_{sc20} is the number of days with snow cover of 20 cm or more during the same period; S_{std} is the total (cumulative) snow depth in centimetres during December–March.

The formation of snow cover depends on the air temperature. For this purpose, the winter severity index [16, 26] was calculated based on daily air temperature data for the research period:

$$W_{sev} = (1 - 0.25t)0.8325 + 0.0144d_w + 0.0087d_f + 0.0045d_{vf} - 0.0026S_t$$

where W_{sev} is the winter severity index; t is the mean air temperature for the winter period; d_w is the number of days with mean daily temperatures below 0°C during December – March; d_f is the number of frost days (days with daily maximum temperature below 0°C) during December–March; d_{vf} is the number of very frost days (days with maximum temperature below –10°C) during December – March; S_t is the sum of mean daily temperatures below 0°C during December – March.

Based on the long-term mean values of the snowiness and winter severity coefficients, as well as their standard deviations, the study [27] classified winters into several categories. According to thermal severity, winters were defined as **severe** ($W_{sev} \geq \bar{W}_{sev} + \sigma$), **moderately severe** ($\bar{W}_{sev} - \sigma < W_{sev} < \bar{W}_{sev} + \sigma$), and **mild winters** ($W_{sev} \leq \bar{W}_{sev} - \sigma$). According to snowiness, winters were classified as **snowy** according to snowiness: **snowy** ($W_{sn} \geq \bar{W}_{sn} + \sigma$), **moderately snowy** ($\bar{W}_{sn} - \sigma < W_{sn} < \bar{W}_{sn} + \sigma$), and **low snowy winters** ($W_{sn} \leq \bar{W}_{sn} - \sigma$).

These combined categories are referred to as thermal–snow types of winter.

3. RESULTS

The study was conducted for the Slavsko region, located in the southern sector of Lviv Oblast, Ukraine, within the northern part of the Ukrainian Carpathians (fig. 1). Geographically, the settlement lies in the upper basin of the Opir River (a left tributary of the Dniester) and is situated at elevations of approximately 600–650 m a.s.l. The surrounding terrain is characterized by mid-

mountain ridges of the Skole Beskids, with local summits – such as Trostian, Pohar, and Menchil – ranging from 1000 to 1230 m a.s.l. The area exhibits a complex orographic structure, with steep slopes, narrow valleys, and substantial elevation gradients that exert a strong influence on local climatic and snow regimes [2].

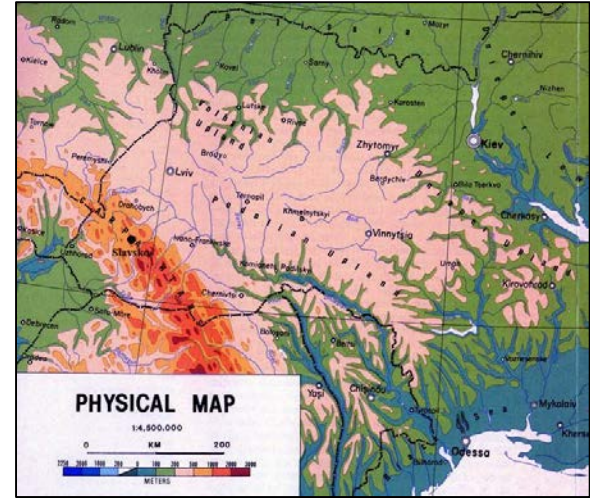


Figure 1 – Relief and elevation of the Ukrainian Carpathians

Slavsko is located in a temperate mountain climate zone, influenced by both Atlantic and continental air masses [19]. Orography enhances precipitation totals and governs the spatial distribution of snow accumulation and retention. Winters are typically cold with frequent snowfall, but long-term warming trends have modified the duration, stability, and depth of seasonal snow cover. Owing to its complex relief and long, continuous observational record, the Slavsko meteorological station provides a valuable case study for analysing local-scale snow-cover variability and long-term changes under specific orographic conditions, with important implications for winter tourism, natural hazards, and ecosystem processes in the region [26].

3.1. Number of days with snow cover

The number of days with snow cover at Slavsko (fig. 2) demonstrates pronounced interannual variability but also a long-term decreasing tendency.

Earlier in the record, most winters were characterised by long and stable snow seasons, whereas in recent decades winters with shorter snow cover periods became more frequent. This is clearly seen from the time series of seasonal numbers of snow-cover days and moving averages.

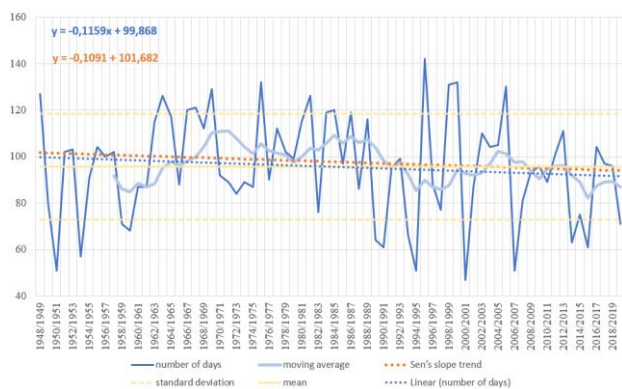


Figure 2 – Number of days with snow cover at Slavsko for winter seasons from 1948/49 to 2019/20.

The number of days with snow cover at Slavsko ranges from approximately 55–60 days in the least snowy winters to about 145–150 days in the snowiest winters. The long-term mean is close to 100 days, with most winters falling within a range of roughly 80 to 120 days, as indicated by the standard deviation.

Both the least-squares trend and Sen's slope show a small but consistent decrease of about 1.0–1.2 days per decade, amounting to an overall decline of roughly 8 days across the full observation period. While this suggests a gradual shortening of the seasonal snow-cover duration, the Mann–Kendall test ($Z = -0.82$) shows that the trend is not statistically significant. The observed changes should therefore be interpreted as weak tendencies embedded within substantial interannual variability rather than as a robust long-term trend.

3.2. Maximum and mean snow depth

Figures 3, 4 present the seasonal maximum (fig. 3) and the seasonal mean (figs. 4) snow depth for the winter periods 1948/1949–2019/2020.

The maximum seasonal snow depth (fig. 3) shows substantial interannual variation, with values ranging from approximately 15–20 cm in the least snowy seasons to nearly 120–130 cm in the snowiest ones. The long-term mean is close to 45 cm, and most seasons fall within a range of roughly 25–65 cm, as indicated by the standard deviation bounds. Both the least-squares regression and Sen's slope demonstrate a gradual decrease of about 0.06–0.10 cm per year, equivalent to roughly 0.6–1.0 cm per decade, suggesting a slow but consistent reduction in peak seasonal snow accumulation.

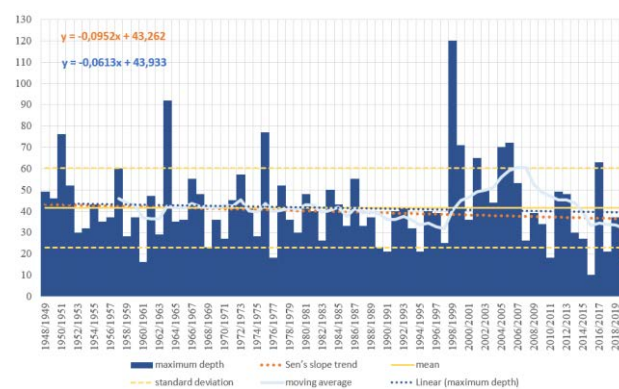


Figure 3 – Maximum seasonal snow depth at Slavsko.

The moving-average trajectory highlights a shift from predominantly higher maxima earlier in the record toward generally lower values in recent decades. However, the Mann–Kendall test ($Z = -0.97$) indicates that this decrease is **not** statistically significant and should be interpreted as a weak tendency within pronounced interannual variability.

Mean seasonal snow depth (fig. 4) also exhibits strong year-to-year fluctuations. Seasonal mean depth ranges from approximately 5–8 cm in the thinnest snow seasons to nearly 35–38 cm in the snowiest ones.

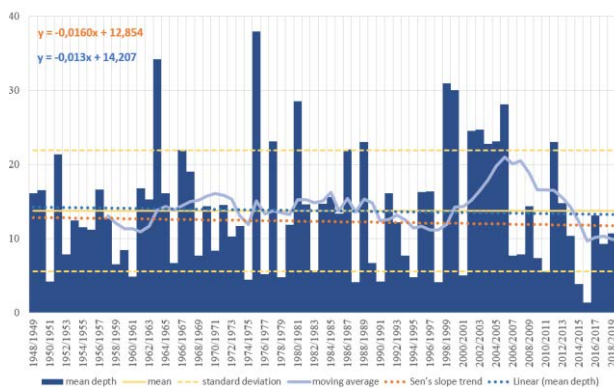


Figure 4 – Mean seasonal snow depth at Slavsko

The long-term mean is around 14–15 cm, with most winters falling between 10 and 20 cm. Trend estimates indicate a small but persistent decline: the least-squares trend yields about -0.016 cm per year, and Sen's slope yields approximately -0.013 cm per year, corresponding to a reduction of roughly 0.1–0.2 cm per decade. The moving average shows that higher mean depths were more common in the central portion of the record, while recent decades are characterised by generally lower average snow depths.

However, the Mann–Kendall test ($Z = -0.33$) indicates that this decrease is not statistically

significant and represents a weak tendency within pronounced interannual variability.

Extremely snowy winters with very high snow depth were more frequent in the middle of the twentieth century, while in recent decades winters with relatively low snow depth occur more often. Nevertheless, individual winters with high snow depth still appear against the general background of warming.

3.3. Snow cover depth and its variability

To characterise snow accumulation processes, we analysed several indicators, including the share of days with variable snow cover depth (fig. 5), the number of days with positive and negative daily snow-depth changes (fig. 6), the maximum daily snow-depth increase within each season (fig. 7), and the mean intraseasonal evolution of snow depth and snow cover duration (fig. 8).

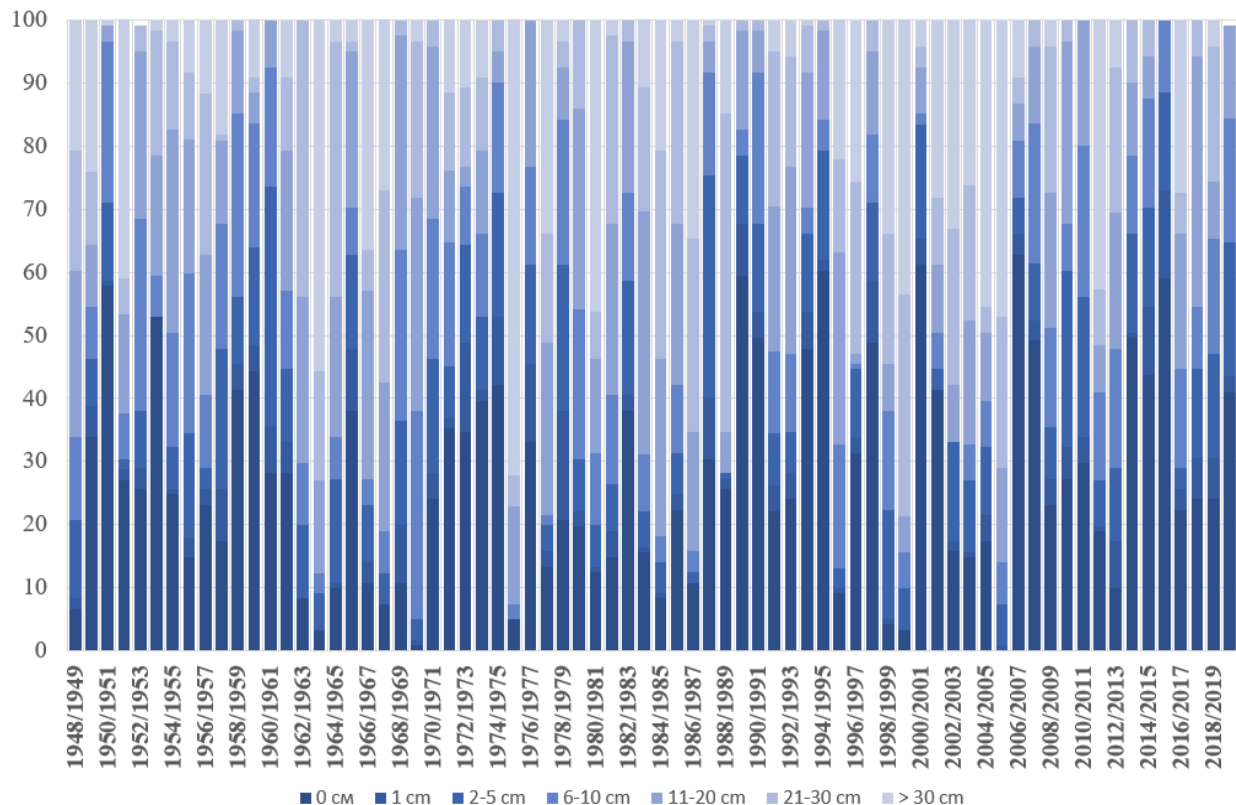


Figure 5 – The share (%) of days with variable snow cover depth in Slavsko in winter seasons 1948/1949–2019/2020

In the majority of years, the highest percent share concerns days without snow cover (fig. 5). The stacked distribution shows the proportion of days falling into different snow-depth classes, constructed according to the snow-depth classification proposed in [9]. Winters with deep snow (>30 cm) occur, but their share is relatively small and exhibits a decreasing tendency over time. Conversely, the proportion of days with shallow snow (0–5 cm) or snow absence has increased. Intermediate categories (6–20 cm) remain the most frequent, but their dominance fluctuates. Overall, the distribution indicates a shift toward shallower snowpacks, consistent with the declining trends in maximum and mean snow depth.

The seasonal distribution of daily snow-depth changes (fig. 6) shows that days with positive

snow-depth change (snowfall accumulation) peak at about 17–19 days per period, while days with negative snow-depth change (melting/settling) reach 28–30 days at their maximum.

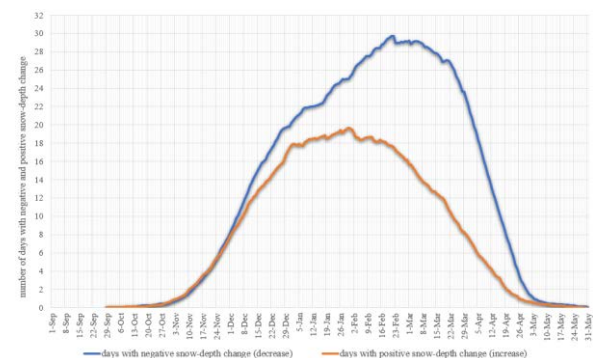


Figure 6 – Number of days with positive and negative daily snow depth changes in Slavsko – 7-pentad running averages for the years 1948/1949–2019/2020

Snowmelt days exceed snowfall days throughout most of the winter season, especially from mid-winter onward.

This pattern illustrates the dominance of snow metamorphism, compaction, and melt processes compared with new snow accumulation during a typical winter.

The seasonal cycle (fig. 7) shows a rapid increase in snow depth from late autumn, with multi-year mean daily snow depth rising from 0 cm to 1520 cm during the peak winter period.

Maximum mean depths occur in mid-winter, after which the snowpack gradually diminishes through spring. The number of days with snow cover follows a similar seasonal progression, reaching 60–75 days during the core winter period. This figure illustrates the typical timing of snow accumulation and melting and highlights the strong seasonality of snow processes in the Carpathian region.

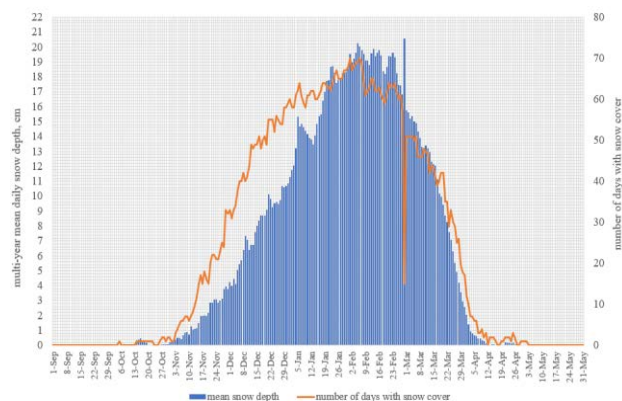


Figure 7 – The change in the average snow cover depth (cm) and frequency of days with snow cover (%) in Slavsko in seasons 1948/1949–2019/2020

The maximum seasonal daily increase in snow depth (fig. 8) at Slavsko exhibits pronounced interannual variability, with values generally ranging from about 10–15 cm in winters with weak accumulation events to approximately 70–80 cm in seasons characterised by intense snowfall. The long-term mean is close to 20 cm, and most observations fall within a range of roughly 10–30 cm.

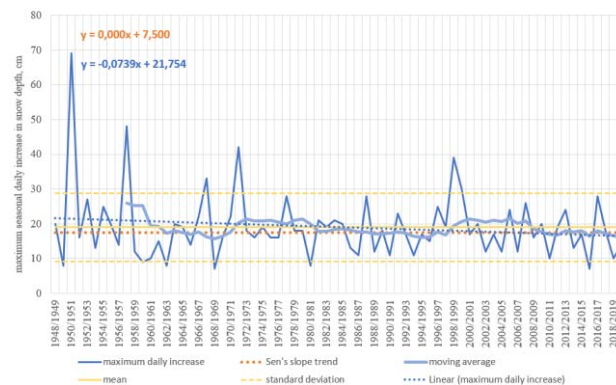


Figure 8 – Maximum daily snow depth increases per season

Both the least-squares regression and Sen's slope indicate a very weak positive trend, amounting to only a few tenths of a centimetre per decade. The moving average highlights multi-decadal fluctuations, but no persistent long-term change dominates the record. However, the Mann–Kendall test ($Z = -0.41$) indicates that this tendency is not statistically significant.

3.4. Indices of snowiness and winter severity

The winter snowiness coefficient (Fig. 9) and the winter severity index (Fig. 10) both exhibit an overall decreasing tendency over the study period, indicating a long-term reduction in snow accumulation, snow-cover duration, and the intensity of cold conditions. Both indices range from 0 to 10 and were used to classify winters at Slavsko into types spanning from very mild and low-snow to very severe and highly snowy conditions. Analysis of these classifications shows that severe winters were more common in the earlier decades of the record, whereas mild and low-snow winters have become increasingly prevalent in recent decades.

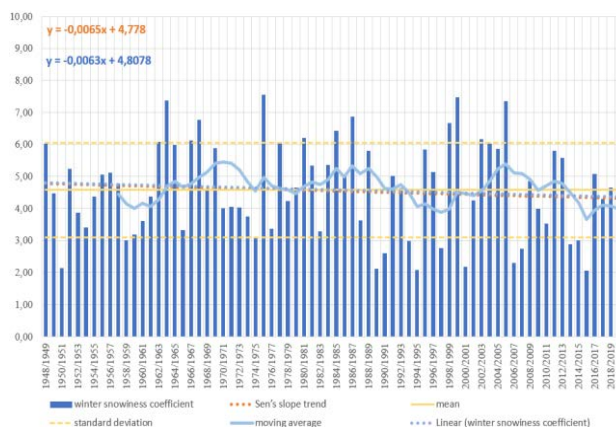


Figure 9 – Winter snowiness coefficient at Slavsko.

Trend analysis of the winter snowiness coefficient supports these observations. Both the least-squares method and the Sen's slope estimator indicate a slight but persistent decline of approximately 0.06 units per decade. Although modest in magnitude, this decrease is consistent with reduced snow accumulation and may contribute to enhanced surface warming. Decadal-scale fluctuations are evident in the moving-average series; however, the Mann–Kendall test ($Z = -1.08$) indicates that the observed tendency is not statistically significant.

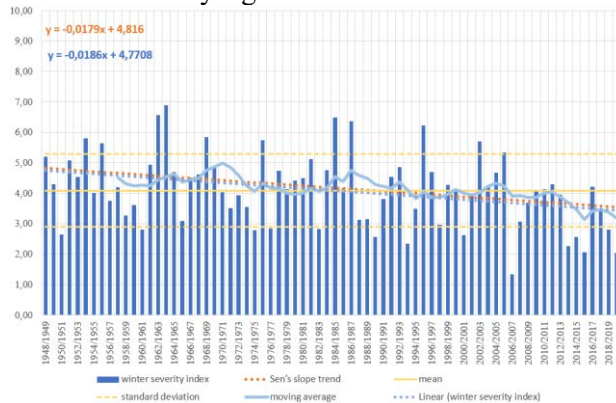


Figure 10 – Winter severity index at Slavsko

In contrast, analysis of the winter severity index reveals a more pronounced downward trend. Both the least-squares method and the Sen's slope estimator show a decline of about 0.2 units per decade. The Mann–Kendall test yields a standardized statistic of ($Z = -2.84$), indicating that this decreasing trend is statistically significant at conventional significance levels.

The correspondence between winter types and specific coefficient values is presented in Table 1.

More than half of all winters (58.3%) fall into the low-snow categories: “very little snow”

(19.4%), “moderately little snow” (16.7%), and “little snow” (22.2%). The snowiness index ranges from 2.1 to 7.6, with a mean value of 4.6, corresponding to a “little snow” winter. No winters were classified as exceptionally or unusually low-snow, nor as unusually or exceptionally snowy. The snowiest winter was 1975/1976, followed by 1963/1964, 1999/2000, and 2005/2006.

Altogether, 11 winters were classified as snowy, most of them between 1961 and 1990. After 1990, only the seasons 1998/1999, 2002/2003, and 2003/2004 fell into this category. Prior to 1961, only one snowy or very snowy winter was recorded (1948/1949). Conversely, winters with very little snow have become far more frequent in recent decades: of 14 such winters, 12 were observed after 1991. The lowest snowiness coefficient occurred in 2015/2016.

Winter severity exhibits a comparable pattern. Most winters are classified as cool (36.1%) or moderately cool (23.6%). The winter severity index varies from 1.3 (2006/2007) to 6.9 (1963/1964), with a mean of 4.1, corresponding to a cool winter. Only five severe winters occurred during the entire record, the last in 1995/1996, while the warmest winter (2006/2007) was the only one classified as mild.

Snowiness and severity are strongly linked: mild, moderately mild, and moderately cold winters consistently show low snow cover and low snowiness coefficients. A significant positive correlation between the two indices ($r = 0.75$) supports this relationship. The most frequent winter type is cool (30.5%), with snowiness ranging from “little snow” to “snowy,” while low-snow mild winters account for 20.8% of all cases.

Table 1 – Classification of winter seasons (1948/1949–2019/2020) at Slavsko by snowiness and severity

Type	Mild	Moderately mild	Moderately cold	Cold	Moderately severe	Severe
Very little snow	2006/2007	1950/51, 1989/90, 1993/94, 1997/98, 2000/01, 2013/14, 2014/15, 2015/16, 2019/20	1958/59, 1990/91, 1994/95, 2007/2008			
Moderately little snow		1960/61, 1974/75, 1976/77, 1982/83	1959/60, 1965/66, 1973/74, 1987/88	1952/53, 2009/10, 2010/11	1953/54	
Little snow		2008/09, 2018/19	1954/55, 1971/72, 1972/73, 2001/02, 2017/18	1949/50, 1957/58, 1961/62, 1970/71, 1978/79,	1968/69	

				1979/80, 1985/86, 1992/93		
Moderately snowy		1988/1989	1956/57, 2012/13	1964/65, 1969/70, 1983/84, 1991/92, 1996/97, 2004/05, 2011/12, 2016/17	1951/52, 1955/56, 1981/82	1995/96
Snowy			1966/67, 1967/68, 1977/78, 1980/81, 1998/99, 2003/04	1948/49, 2002/03	1962/63, 1984/85, 1986/87	
Very snowy			1999/00	1975/76, 2005/06	1963/64	

The fig. 11 presents the temporal evolution of seasonal snow-cover duration (days) over the study period. Year-to-year values (blue line) exhibit pronounced interannual variability, with snow-cover duration ranging from roughly 80–90 days in the shortest seasons to 160–170 days in the longest ones.

Both the Sen's slope estimator and the least-squares trend indicate a slight positive tendency, on the order of +0.08 to +0.10 days per year (roughly +0.8 to +1.0 days per decade). Given the small magnitude of this trend, there is no basis for asserting substantial long-term changes in the duration of the snow season over the study period.

The results of the Mann–Kendall test ($Z = 0.55$) confirm that the detected tendency is not statistically significant. Accordingly, interannual variations in snow-cover duration remain within the bounds of natural climatic variability.

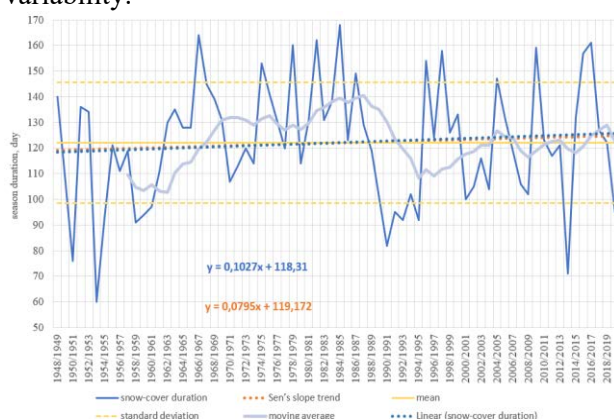


Figure 11 - Duration of the winter period at Slavsko, defined as the interval between first appearance and final disappearance of snow cover.

The moving-average curve illustrates multi-decadal fluctuations, with periods of longer snow-

cover seasons alternating with intervals of shorter seasons. Earlier decades show high variability with several very long seasons, while recent decades are dominated by winters of moderate length, yet still within the historical range.

4. DISCUSSION

The long-term evolution of snow-cover characteristics at the Slavsko station reveals a complex interplay of gradual climatic warming, internal variability, and local orographic influences. Although nearly all indicators demonstrate declining tendencies, the magnitude, timing, and statistical coherence of these trends vary substantially among different snow-cover metrics. This indicates that the response of snow processes to regional climate change is non-uniform and cannot be inferred from a single indicator.

The total number of snow-cover days at Slavsko exhibits a detectable but weak negative tendency of approximately 1.0–1.2 days per decade. However, this decrease is not statistically significant and should therefore be interpreted as a modest tendency embedded within pronounced interannual variability rather than as a robust long-term decline. This indicates that, despite regional winter warming, the regular occurrence of seasonal snow cover in the mid-mountain zone of the Ukrainian Carpathians (600–650 m a.s.l.) remains largely preserved, reflecting the stabilising influence of local orographic conditions.

At the same time, this weak aggregate tendency conceals more nuanced structural changes in snow-cover characteristics. Analysis of the relative shares of days belonging to different snow-depth classes reveals that the observed reduction is not uniform across the snow-cover spectrum. The

proportion of days with shallow snow cover and snow-free conditions has increased, while the share of days with moderate snow depths has declined. In contrast, days associated with deep snow cover represent a relatively small fraction of the seasonal distribution and exhibit no consistent long-term decrease. This redistribution indicates that recent changes primarily affect the persistence and continuity of intermediate snow-cover conditions rather than the occurrence of episodic deep-snow events. As a result, winters with substantial snow accumulation remain possible, but the duration of snow conditions most relevant for winter tourism and seasonal hydrological recharge is becoming increasingly fragmented.

The temporal structure of winters characterised by a higher share of deep snow-cover days further complicates linear interpretations. Although the largest proportions of deep-snow conditions occurred during 1961–1990, winters with elevated shares of deep snow were also recorded between 1998 and 2007, despite an overall warming background. This behaviour underscores the importance of internal climate variability and episodic circulation patterns, which can temporarily enhance snowfall and snow retention even under progressively warmer mean conditions. Consequently, reliance on monotonic trend analysis alone would oversimplify snow-cover dynamics at Slavsko and underestimate the combined influence of orography, precipitation variability, and atmospheric circulation in shaping mountain snow regimes.

The behaviour of maximum snow depth illustrates this issue clearly. Despite long-term downward trends of roughly 0.7–1.1 cm per decade, the moving-average series shows a pronounced period of increasing maximum values between 1998 and 2015, producing the absolute peak in 1999/2000. This paradoxical rise during a warming period highlights that snow depth is strongly controlled by precipitation variability and the occurrence of episodically intense snowstorms, which may temporarily counteract thermal limitations. Such findings call into question interpretations that rely solely on thermal trends to explain snow decline.

Mean snow depth also displays significant long-term reductions but at very small rates (0.1–0.2 cm per decade). Compared with the behaviour of maximum snow depth, mean depth appears more stable and less sensitive to extreme snowfall events. This stability suggests that the overall snow regime is becoming less persistent rather than less intense: snow accumulates in short, isolated

episodes but does not remain long enough to affect the mean depth strongly.

Importantly, these interpretations are consistent with the trend analysis, which shows that linear trends for most snow-cover characteristics are not statistically significant, indicating weak long-term tendencies superimposed on pronounced interannual and multi-decadal variability rather than robust monotonic change. Comparable findings have been reported across different European climatic and physiographic settings, including lowland temperate regions such as Estonia and more topographically complex areas such as Slovakia [27], suggesting that non-significant linear trends in snow characteristics are not uncommon.

The two synthetic indicators – the winter snowiness index and the winter severity index – provide a broader climatological interpretation. While both exhibit downward tendencies, the severity index declines at a far more pronounced rate (0.2 units per decade compared with 0.06 units for snowiness). This imbalance indicates that thermal changes outpace changes in snowfall or accumulation processes. In other words, winters are warming faster than they are losing their snow-accumulation capacity. The strong correlation ($r = 0.75$) between severity and snowiness further demonstrates that thermal and snow-related processes remain tightly coupled, but the weakening of severity may foreshadow a future decoupling where snow is increasingly constrained by temperature thresholds.

The classification of 36 winter types confirms this shift: the most frequent are cool low-snow or moderately snowy winters and moderately mild winters with very little snow—together representing roughly one-third of all winters. The relative scarcity of very snowy or very severe winters in recent decades points to a transition toward thermally milder but still variable snow conditions.

Snow accumulation dynamics show a clear asymmetry between gain and loss processes: throughout nearly the entire season, days with negative snow-depth change outnumber those with positive increments. Even during the main accumulation period (January–February), melt and compaction processes frequently dominate. This highlights the increasing fragility of snow cover under warming conditions, where occasional snowfall events are insufficient to maintain stable accumulation.

Another striking indicator of climatic change is the behaviour of unstable snow cover (discontinuous snow cover). While stable snow-

cover duration is shrinking, the duration of unstable snow cover has increased at approximately one day per decade. This divergence implies a transitional climatic state in which winter no longer guarantees sustained snow cover but does retain frequent, short-lived snow episodes. In practical terms, ecosystems and socioeconomic sectors dependent on stable winter conditions (e.g., ski tourism, forestry, hydrology) face increasing unpredictability.

Finally, cumulative seasonal snow depth varies enormously – from as little as 181 cm to over 5236 cm – demonstrating that interannual snowfall variability remains very high. Nevertheless, long-term declines of 22–25 cm per decade indicate a gradual depletion of total winter snowfall, consistent with both reduced snow-cover persistence and warmer winter temperatures. The exceptionally strong 1998–2015 cycle again cautions against interpreting downward trends without considering multidecadal oscillatory behaviour.

5. CONCLUSIONS

The Slavsko station, located on the slopes of the Ukrainian Carpathians at an elevation of 592 m above sea level, is characterized by a relatively substantial mean snow depth of 12 cm, with an absolute maximum of 120 cm. On average, the snow-cover season may last 122 days, of which 96 days are days with actual observed snow cover. The mean duration of a continuous snow-cover period is 81 days, although in some winters a continuous snow cover is completely absent.

Snow cover typically forms in October–November, gradually increasing over the following winter months and reaching its maximum in February, when the mean snow depth attains 19 cm, after which it declines to minimal values in April–May. The largest snow-depth increases occur in January–February, although throughout most of the season the snow cover tends to decrease at a higher rate than it increases.

Based on the snowiness and winter-severity index classes, 22 winter types were identified at Slavsko, ranging from mild winters with very little snow to severe winters with abundant snow. The most frequent types are cool low-snow or moderately snowy winters, along with moderately mild winters with very little snow, together accounting for 34% of all winters. A strong linear relationship is observed between the severity index and the snowiness index.

Future research should expand the spatial and methodological scope of snow-cover analysis in

the Ukrainian Carpathians by incorporating data from additional meteorological stations across different elevation levels, which would allow a more detailed assessment of elevation-dependent responses and help distinguish local orographic effects from regional climate signals. Integrating station observations with satellite products and reanalysis datasets would further improve the validation of spatial patterns of snow-cover change and help address data gaps, particularly in high-mountain areas. In addition, future studies should focus on extreme snow-cover characteristics and their links to large-scale atmospheric circulation, providing a stronger basis for modelling future snow-cover changes and supporting applied research in water resources, winter tourism, and climate-change adaptation in mountain regions.

The results obtained in this study form the scientific basis for the establishment of a Living Lab in Slavsko, aimed at translating long-term observations of snow-cover variability into applied knowledge and decision-support for winter tourism, water resources, and local climate adaptation in mountain environments.

This work was implemented within the framework of the SUNRISE project (2024-1-IT02-KA220-HED-000256685).

REFERENCES

1. Amihaesei, V., Micu, D., Cheval, S., Dumitrescu, A., Sfică, L., Birsan, M.-V. Changes in snow cover climatology in Romania (1961–2020). Research Square Preprint. Research Square, 2023, 28 p., <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101637>
2. Babichenko, V.M., Zuzuk, F.V. (Eds.). *Klimat Lvova [Climate of Lviv]*. Volynskyi Derzhavnyi Universytet, Lutsk, 1998, 188 p.
3. Barnett, T.P., Adam, J.C., Lettenmaier, D.P. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*. Nature Publishing Group, London, 2005, pp. 303–309
4. Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L.M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J.-I., Magnusson, J., Marty, C., Morán-Tejeda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., Vincent, C. The European mountain cryosphere: A review of its current state, trends, and future challenges. *The Cryosphere*. Copernicus Publications, Göttingen, 2018, pp. 759–794, <https://doi.org/10.5194/tc-12-759-2018>.
5. Birsan, M.-V., Dumitrescu, A. Snow variability in Romania in connection to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*. Wiley, Chichester, 2014, <https://doi.org/10.1002/joc.3671>.
6. Brown, R.D., Mote, P.W. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *Journal of Climate*. American Meteorological Society, Boston, 2009, pp. 2124–2145.
7. Brown, R.D., Robinson, D.A. Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including

- an assessment of uncertainty. *The Cryosphere*, 2011, 5, pp. 219–229. <https://doi.org/10.5194/tc-5-219-2011>
8. Bulygina, O.N., Razuvaev, V.N., Korshunova, N.N. Changes in snow cover over Northern Eurasia in the last decades. *Environmental Research Letters*, 2009, 4, 045026. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045026>
 9. Chrzanowski, J. Snow cover in Poland: its thickness classification and regionalization. *Materiały Badawcze Seria Meteorologia*, 1988, 15, pp. 1–43.
 10. Dong, C., Menzel, L. Recent snow cover changes over central European low mountain ranges. *Hydrological Processes*. Wiley, Chichester, 2020, pp. 321–338, <https://doi.org/10.1002/hyp.13586>.
 11. Fontrodona Bach, A., van der Schrier, G., Melsen, L.A., Klein Tank, A.M.G., Teuling, A.J. Widespread and accelerated decrease of observed mean and extreme snow depth over Europe. *Geophysical Research Letters*, 2018, 45, pp. 312–319. <https://doi.org/10.1029/2018GL079799>
 12. Henderson, G.R., Leathers, D.J. European snow cover extent variability and associations with atmospheric forcings. *International Journal of Climatology*, 2010, 30, pp. 1440–1451. <https://doi.org/10.1002/joc.1990>
 13. Hurrell, J.W., Deser, C. North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *Journal of Marine Systems*. Elsevier, Amsterdam, 2009, pp. 28–41.
 14. IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, 2021, 3949 p., <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
 15. Ivus, H.P., Hurska, L.M., Marchyshyn, R.M. Minlyvist kharakterystyk snihovoho pokryvu na meteostantsii Slavsko protiahom 1990–2010 rokiv [Variability of snow cover characteristics at the Slavsko meteorological station during 1990–2010]. *Ukrainskyi Hidrometeorologichnyi Zhurnal*, 2014, 14, pp. 35–42.
 16. Janasz, J. Thermic and snow conditions of winters in Lublin (1960/61–1994/95). *Acta Agrophysica*, 2000, 34, pp. 71–78.
 17. Jankowska, Z., Falarz, M. Melting of the snow cover in the Polish Tatra Mountains – Long-term changes and the impact of atmospheric circulation. *Quaestiones Geographicae*. Sciendo, Poznań, 2025, pp. 5–20.
 18. Kuhn, M., Oles, M. Elevation-dependent climate change in the European Alps. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. Oxford University Press, Oxford, 2020, 24 p., <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.001.0001/acrefore-9780190228620-e-762>.
 19. Lipinskyi, V.M. (Ed.). *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]*. Vydavnytstvo Raievskoho, Kyiv, 2003, 343 p.
 20. Marty, C., Meister, R. Long-term snow and weather observations at Weissfluhjoch and its relation to other high-altitude observatories in the Alps. *Theoretical and Applied Climatology*. Springer, Berlin, 2012, <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0584-3>.
 21. Matiu, M., Crespi, A., Bertoldi, G., Carmagnola, C., Marty, C., Morin, S., Schöner, W., Berro, D., Chiogna, G., Gregorio, L., Kotlarski, S., Majone, B., Resch, G., Terzago, S., Valt, M., Beozzo, W., Cianfarra, P., Gouttevin, I., Marcolini, G., Weilguni, V. Observed snow depth trends in the European Alps 1971–2019. *The Cryosphere*. Copernicus Publications, Göttingen, 2020, <https://doi.org/10.5194/tc-2020-289>.
 22. Mudryk, L., Santolaria-Otín, M., Krinner, G., Ménégos, M., Derksen, C., Brutel-Vuilmet, C., Brady, M., Essery, R. Historical Northern Hemisphere snow cover trends and projected changes in the CMIP-6 multi-model ensemble. *The Cryosphere*. Copernicus Publications, Göttingen, 2020, <https://doi.org/10.5194/tc-2019-320>.
 23. Paczos, S. The problem of winter classification in the light of various thermal criteria. *Annales UMCS*, 1985, 40(7), pp. 133–155.
 24. Quého, L., Vionnet, V., Dombrowski-Etchevers, I., Lafaysse, M., Dumont, M., Karbou, F. Snowpack modelling in the Pyrenees driven by kilometer-resolution meteorological forecasts. *The Cryosphere*. Copernicus Publications, Göttingen, 2016, pp. 1571–1589, <https://doi.org/10.5194/tc-10-1571-2016>.
 25. Ray, S., Das, S.S., Mishra, P., Al Khatib, A.M.G. Time series SARIMA modelling and forecasting of monthly rainfall and temperature in South Asian countries. *Earth Systems and Environment*, 2021, 5, pp. 531–546.
 26. Stepanenko, S.M., Polovyi, A.M. (Eds.). *Klimatychni ryzyky funktsionuvannia haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Climatic Risks of the Functioning of Economic Sectors of Ukraine under Climate Change]*. Odessa State Environmental University, Odessa: TES, 2018, 548 p. ISBN 978-617-7711-22-2.
 27. Szyga-Pluta, K. Changes in snow cover occurrence and the atmospheric circulation impact in Poznań (Poland). *Theoretical and Applied Climatology*, 2022, 147, pp. 925–940. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03875-8>

ТРЕНДИ ТА МІНЛИВІСТЬ СНІГОВОГО ПОКРИВУ В СЛАВСЬКОМУ В ПЕРІОД 1948–2020 РР. В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

I. А. Хоменко, Р. М. Марчишин

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна

innchom.ik@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8982-5417>

Сніг відіграє важливу роль у кліматичній системі, змінюючи властивості ґрунту, тепло- та вологообмін у системі «суходіл–атмосфера», радіаційний баланс поверхні та ключові компоненти гідрологічного циклу. Як провідний елемент криосфери, сніговий покрив формує локальні метеорологічні умови та водночас впливає на атмосферні процеси у ширших просторових і часових масштабах, зокрема на аномалії загальної циркуляції, модифікації хвиль Россбі, динаміку раптових стратосферних потеплінь і особливості літнього мусону Східної Азії. З огляду на високу чутливість снігового покриву до змін температури, аналіз його довгострокової динаміки є вкрай важливим, особливо в контексті виражених позитивних трендів температури повітря, спостережуваних узимку та в перехідний зимово-весняний період.

У статті представлено ґрунтовний аналіз довгострокової динаміки режимних характеристик снігового покриву на метеорологічній станції Славсько (Українські Карпати) за період 1948/49–2019/20, що є одним із найдовших безперервних рядів спостережень у високогірних районах України. На основі щоденних метеорологічних даних проведено фізико-статистичну та кліматичну оцінку тривалості снігового сезону, періоду сталого снігового покриву, дат утворення та сходження снігу, максимальної та середньої товщини снігу, а також інтегральних показників снігонакопичення. Вперше для станції Славсько виконано класифікацію зимових сезонів за коефіцієнтами сніжності та зимової суворості, що дало змогу ідентифікувати та систематизувати 22 типи зим і простежити їхню еволюцію у відповідь на кліматичні збурення.

Отримані результати забезпечують детальне розуміння динаміки снігового покриву в Українських Карпатах, відображаючи довгострокові тенденції та зростаючу варіабельність останніх десятиліть. Такі дані є важливими для посилення стратегій адаптації до зміни клімату в зимовому туризмі, гідрології, транспортній інфраструктурі та ширшій гірській економіці.

Ключові слова: сніговий покрив, коефіцієнт сніжності, зимова суворість, кліматична мінливість, Українські Карпати, Славсько.

Подання до редакції : 25. 11. 2025

Надходження остаточної версії : 22. 12. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025

УДК: 631.559:551.583(477.74)

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА СУЧАСНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ З УРАХУВАННЯМ БІОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА ЗМІН КЛІМАТУ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ

П. С. Нікітін, В. Г. Ільїна

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Змієнка Всеволода, 2, 65082, Одеса, Україна, agroecology87@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0004-5755-4116>, <https://orcid.org/0000-0001-5781-701X>

Урожайність ярого ячменю, стан ґрунтового покриву та стабільність агровиробництва безпосередньо залежать від поєднання кліматичних умов і рівня біогенного навантаження. У статті досліджено основні методологічні засади аналізу та оцінки агрокліматичних факторів, що визначають оптимальні умови для вирощування ярого ячменю в Одеській області в умовах посилення кліматичних змін.

Погіршення агрометеорологічних показників, нерівномірність випадання опадів та висока мінливість температурного режиму відображають зростаючий антропогенний вплив на ґрунтово-рослинний комплекс, зумовлений інтенсивним землекористуванням, застосуванням мінеральних добрив, трансформацією земель та іншими видами господарської діяльності. У дослідженні представлено ключові показники, що використовуються для оцінки біогенного навантаження, динаміки продукційного процесу та адаптивних властивостей ярого ячменю.

До початку активізації кліматичних змін агроландшафти Одеської області зазнавали одного з найвищих рівнів антропогенного навантаження в межах Південного Степу України. Прогнозовані показники біогенного навантаження на ґрунтово-рослинний покрив на найближчі роки свідчать про стійку тенденцію його зростання для більшості агроекосистематичних характеристик регіону. Стосовно північних районів Одещини зростання навантаження очікується насамперед для азотного та водного режимів, а для приморських територій — для гумусового стану і структурних властивостей ґрунтів. У статті розглядаються основні групи факторів, що знижують продуктивність ярого ячменю та обмежують можливості оптимізації посівних площ під впливом кліматичних змін. Внаслідок підвищеного біогенного навантаження можливості стабільного використання ґрунтових ресурсів істотно зменшуються. Погіршення агрокліматичних умов та дефіцит вологи значно знижують продуктивний потенціал агроекосистем.

Першочерговим завданням є визначення реальних потреб агровиробництва щодо раціональної структури посівів, збір та узагальнення даних про стан ґрунтово-рослинних систем, узгодження методів оцінки біогенного навантаження та проведення такої оцінки в межах регіону. Необхідно визначити шляхи переходу до адаптивних моделей управління агроекосистемами Південного Степу України, враховуючи зниження продуктивності внаслідок як кліматичних змін, так і надмірного біогенного навантаження на ґрунтові ресурси.

Ключові слова: ярий ячмінь; біогенне навантаження; кліматичні зміни; оптимізація; агроекосистема; родючість ґрунтів; Південний Степ України.

1. ВСТУП

Сучасний етап розвитку аграрного сектору України характеризується необхідністю функціонування в умовах глобальних кліматичних трансформацій, які створюють серйозні виклики для продовольчої безпеки держави. Особливої гостроти ця проблема набуває у зоні Південного Степу, зокрема в

Одеській області, яка традиційно є регіоном ризикового землеробства. Агрокліматичні умови останніми десятиліттями тут зазнають суттєвих змін у бік посилення аридизації: спостерігається стійке підвищення середньорічної температури повітря, зміщення строків випадіння опадів з критичних фаз вегетації, збільшення тривалості бездошових періодів та частоти екстремальних погодних явищ (посух, суховіїв, злив). Ці

тенденції призводять до дефіциту продуктивної вологи у ґрунті, підвищення сумарного випаровування та, як наслідок, погіршення умов росту і розвитку сільськогосподарських культур.

Ярий ячмінь посідає одне з провідних місць у структурі зернового клину Південного регіону, відіграючи стратегічну роль у забезпеченні продовольчих, кормових та технічних потреб. Завдяки відносно короткому вегетаційному періоду та здатності ефективно використовувати осінньо-зимові запаси вологи, ця культура традиційно вважалася страховою. Проте, в сучасних умовах жорсткого гідротермічного стресу, продуктивність ярого ячменю стає вкрай нестабільною і значною мірою залежить від лімітуючих факторів середовища, насамперед – вологозабезпеченості та рівня родючості ґрунту.

Поряд із кліматичними викликами, критичним фактором, що визначає стійкість агроєкосистем, є антропогенне навантаження. Намагання агровиробників компенсувати кліматично зумовлені втрати врожаю часто призводить до інтенсифікації технологій, зокрема, до незбалансованого застосування мінеральних добрив. Надмірне внесення азотовмісних сполук спричиняє підвищення біогенного навантаження на ґрунти. Це не лише не гарантує пропорційного приросту врожаю в посушливих умовах, але й призводить до негативних екологічних наслідків: накопичення нітратів у продукції та ґрунтових водах, пригнічення корисної ґрунтової біоти, порушення процесів гумусоутворення та прискорення деградації ґрунтового покриву.

Виникає очевидне протиріччя між необхідністю інтенсифікації виробництва ячменю та потребою в екологізації землекористування в умовах дефіциту вологи. Існуючі підходи до формування структури посівних площ та систем удобрення часто не враховують синергетичний ефект кліматичних змін та біогенного тиску. Сучасна стратегія агровиробництва має базуватися на принципах адаптивно-ландшафтного землеробства, ресурсоефективності та екологічної рівноваги. Це вимагає наукового переосмислення оптимальної частки ярого ячменю в сівоzmінах з урахуванням локальних ґрунтово-кліматичних особливостей та допустимого рівня агрохімічного навантаження.

Метою дослідження є наукове обґрунтування адаптації посівів ярого ячменю в агроландшафтах Одеської області з урахуванням динаміки кліматичних змін та рівня біогенного навантаження для підвищення еколого-

економічної ефективності землекористування.

Огляд літератури. Дослідження проведені в Україні показали, що в комплексі заходів, які забезпечують максимальну врожайність і високу якість зерна ярого ячменю, велике значення мають добрива. Ячмінь має слабо розвинену кореневу систему і тому добре реагує на внесення добрив. Приріст урожаю від мінеральних добрив становить 0,3-0,6 т/га, а може досягати 1,2-1,8 т/га [1, 2, 3, 4]. Добрива збільшують урожай ячменю завдяки збільшенню кількості продуктивних стебел на одиниці площі та маси зерен у колосі. Важливим є і те, що при внесенні добрив витрати води та створення одиниці сухої речовини зменшується на 20-35%. Встановлено, що на формування 1 тони зерна і відповідної соломи, ярий ячмінь витрачає в середньому 26 кг азоту, 11 кг фосфору, 24 кг калію [5]. За іншими даними ці втрати складають: азоту – 28 кг, фосфору – 10,7 кг, калію – 22 кг, кальцію – 3,4 кг, магнію – 4,4 кг [6].

Багато науковців зазначають, що найбільша потреба ячменю в азоті відмічається в період від початку кушіння та виходу рослин в трубку. При нестачі його в цей період ріст рослин гальмується, що порушується процес формування генеративних органів, що призводить до зниження врожаю, а надмірна кількість азоту призводить до переростання і вилягання рослин. Потреба рослин у фосфорі відмічається протягом всієї вегетації. Особливо важливо забезпечити ячмінь фосфором в ранній період вегетації шляхом внесення при сівбі в рядки P_{10-20} , що сприяє інтенсивному розвитку кореневої системи. Найбільша потреба ячменю в калії – в перший період його росту і розвитку [7, 8, 9].

Дуже важливо забезпечити поживними речовинами рослини до кушіння, коли формуються колоски. Добрива внесені після кушіння, на кількість продуктивних стебел не впливають, а позначаються на величині колосу [10].

На більшості ґрунтів Півдня України для ячменю перш за все не вистачає азоту і тому найбільші прибавки врожаю забезпечують азотні добрива, які підвищують його врожайність на 0,5-1,0 т/га. Поряд з урожайністю, азотні добрива значно підвищують і якість зерна – збільшується вміст білка, що має велике значення при вирощуванні ячменю на фуражні цілі. Приріст урожаю від фосфорних добрив значно менший і зазвичай становить 0,15-0,3 т/га. Внесення калійних добрив ефективно лише

на легких ґрунтах де вміст калію низький. Нестача одного з цих елементів або неправильне співвідношення їх знижує продуктивність рослин [2; 11; 12]. Оптимальна доза добрив на чорноземах Центрального й Північного Степу $N_{45}P_{30}K_{30}$ на каштанових ґрунтах Північного Степу $N_{45}P_{45}$ [13], в АР Крим $N_{30-45}P_{20-30}$ [14].

На дерново-підзолистому легкосуглинистому ґрунті оптимальною під ярий ячмінь є доза добрив $N_{100}P_{60}K_{90}$, яка забезпечує приріст врожаю зерна 2,28 т/га з вмістом білка 11,3% і окупністю 1 кг NPK 9 кг зерна [6].

Інститутом рослинництва Чехії встановлено, що отримання високого врожаю ячменю (біля 6 т/га) можливе за умови внесення фосфорними і калійними добривами [15]. За даними вчених Ротамстедської дослідної станції (Англія) оптимальна доза добрив в різні роки різна – 96, 79, 110 27 кг/га д.р. [16]. У більшості держав Західної Європи (Польща, Чехія, Словаччина, Німеччина, Данія) оптимальна доза добрив під ярий ячмінь знаходиться в межах $N_{60-100}P_{60}K_{60}$ [15, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Досліди Селекційно-генетичного інституту НААНУ показують, що сорти потребують різних доз добрив. Система живлення сорту значною мірою залежить від висоти рослин і стійкості до вилягання. Низькорослі сорти стійкі до вилягання можуть використовувати більші норми добрив, а високорослі на цих фонах вилягають і знижують урожай.

З. Б. Борисонік і А. Г. Мусатов узагальнили результати досліджень наукових установ зони Степу і наводять орієнтовні норми добрив для сортів: Донецький 6 і Донецький 8 – $N_{30-60}P_{30-40}K_{30-40}$; Чорноморець – $N_{60}P_{60}K_{40-60}$; Дніпровський 425 – $N_{60}P_{60}K_{40}$; Нутанс 244 і Ельгіна – $N_{40-80}P_{40-60}K_{30-60}$; Зерноградський 73 – $N_{40-60}P_{60}K_{30-40}$; Одеський 82 – $N_{40-60}P_{40-60}K_{40-60}$ [2]. За узагальненим даними сортодільниць України виявлена досить близька реакція сортів ярого ячменю на добрива.

Ефективність добрив значно залежить також від погодних умов. Дози добрив знаходяться у відповідній залежності від водного режиму ґрунту. Високі дози при нестачі вологи не тільки не корисні, але часто шкідливі. В посушливих районах за підвищених дох добрив весною при достатній вологості ґрунту рослини добре розвиваються, а при настанні посухи гинуть швидше, ніж слабо удобрені або неудобрені. Пояснюється це тим, що сильно розвинені рослини швидко витрачають вологу внаслідок чого підвищується концентрація солей, що згубно діє на рослини.

Отже, аналіз результатів досліджень реакції різних сортів на добрива свідчить, що важливими напрямом оптимізації удобрення ярого ячменю є врахування особливостей мінерального живлення різних сортів. На важливість врахування специфіки живлення сорту звертають увагу багато дослідників [2]. В науковій літературі з цього питання зазначається, що по виносу основних елементів живлення можна судити про потребу сорту в елементах живлення. Чим більший біологічний винос у сорту, ти більша у нього потреба в добривах. Тому сорти вимагають різного їх удобрення.

Проте слід відмітити, що в рекомендаціях з вирощування ярого ячменю в степовій зоні України норми добрив для сортів не вказані. Зазначається лише, що для одержання врожайності зерна ярого ячменю 3,0-4,0 т/га на ґрунтах із середньою забезпеченістю рухомими формами NPK добрива потрібно внести в нормі $N_{40-60}P_{40-60}K_{30-40}$ [23].

Дози добрив, що рекомендуються в даний час, при вирощуванні ярого ячменю на Півдні України – це середні результати польових дослідів з добривами за ряд років. Вони досить обґрунтовані, але не враховують вміст поживних речовин у ґрунті. Натомість поля дуже різняться за вмістом елементів живлення і внесення середніх рекомендованих норм добрив, призводить до не ефективного їх використання. Багато вчених дійшли висновку, що дози добрив на запланований урожай сільськогосподарських культур краще визначати розрахунковими методами з урахуванням вмісту поживних речовин у ґрунті. Це дозволяє раціональніше використовувати добрива і досягати більшої віддачі від їх застосування [24, 25].

До аналогічних висновків дійшли й інші вчені. Так, у дослідях проведених в Інституті землеробства південного регіону при внесенні рекомендованої дози добрив N_{60-30} і розрахункової – $N_{68-79}P_0K_0$ отримали практично однакові рівні врожаїв ячменю ярого, проте окупність одиниці внесених добрив була вищою на фоні розрахункової норми [26, 27].

В науковій літературі описано багато розрахункових методів визначення доз добрив для одержання запланованого врожаю, але найбільшого поширення набув балансовий метод. Цей метод враховує винос урожаєм поживних речовин з ґрунту, наявність елементів живлення в ґрунті, та коефіцієнти їх використання з ґрунту і добрив [28].

Набуває поширення також метод створений

за принципом відшкодування (повернення в ґрунт) з добривами виносу елементів живлення запланованим урожаєм, залежно від рівня їх вмісту в ґрунті та інші удосконалені методи. На думку ряду авторів розрахунок норм добрив за принципом відшкодування більш перспективний порівняно з розрахунками балансовим методом.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Експериментальні дослідження проводилися протягом 2024-2025 років у стаціонарних умовах на базі Метеорологічного польового центру експериментальних досліджень Одеського національного університету імені І. І. Мечникова (с. Чорноморка, Одеська область). Ця територія характеризується ґрунтовим покривом, представленим переважно чорноземами південними малогумусними, а також їх комплексами з південними залишково-солонцюватими різновидами, що є типовим для агроландшафтів Південного Степу України.

Моніторинг та оцінка агрометеорологічних умов вегетаційного періоду ярого ячменю здійснювалися комплексно за ключовими параметрами: температурним режимом повітря, кількістю та розподілом атмосферних опадів, а також динамікою продуктивної вологи у ґрунті. Інформаційна база формувалася на основі даних регулярних спостережень місцевої метеостанції, доповнених безпосередніми польовими вимірюваннями на дослідних ділянках. Такий підхід дозволив деталізувати вплив лімітуючих погодних факторів на ріст і розвиток культури у контрастні за гідротермічним режимом роки досліджень.

Програма польового експерименту передбачала проведення систематичних спостережень за формуванням посівів ярого ячменю у динаміці. Комплексний аналіз включав наступні групи вимірювань: морфометричні – визначення лінійного росту рослин (висота, довжина стебла) у основні фази онтогенезу; фенологічні – фіксація дат настання та тривалості міжфазних періодів розвитку культури; біометричні – оцінка елементів структури врожаю, зокрема визначення біологічної врожайності зерна та його якісних показників (наприклад, маси 1000 зерен).

Увесь масив отриманих експериментальних даних слугував основою для встановлення кількісних зв'язків між агрометеорологічними умовами, рівнем біогенного навантаження та кінцевою продуктивністю ярого ячменю, що є

необхідною передумовою для наукового обґрунтування оптимізації структури посівних площ у регіоні.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для комплексної оцінки ефективності вирощування ярого ячменю в умовах Одеської області було здійснено всебічне узагальнення матеріалів польових спостережень і вимірювань, спрямованих на аналізі взаємодії агрокліматичних умов, рівня біогенного навантаження та фізіолого-морфологічних властивостей рослин. Отримані результати дали змогу охарактеризувати динаміку розвитку культури на різних етапах вегетації, визначити основні чинники, що впливають на формування врожайності, а також оцінити стійкість агроєкосистеми до антропогенних і кліматичних навантажень.

Аналітичний блок дослідження охоплював порівняння морфометричних, фенологічних і біометричних характеристик рослинного покриву у зв'язку зі зміною температурного режиму, кількості опадів, вологості ґрунту та інтенсивності мінерального живлення. Це дозволило виявити закономірності формування продуктивності ярого ячменю в умовах зростаючої кліматичної мінливості та змін біогенних потоків. Установлені тенденції є важливими для розроблення обґрунтованих науково-практичних підходів до оптимізації структури посівних площ і збереження родючості ґрунту. Застосований підхід забезпечив системне розуміння взаємозв'язків між агрометеорологічними параметрами, станом ґрунту та продукційними властивостями рослин, що є ключовим у формуванні адаптивних моделей землеробства в умовах Південного Степу України. Це створює підґрунтя для підвищення екологічної стійкості агроландшафтів і мінімізації процесів змін клімату. Польовий експеримент проводився протягом 2024–2025 рр. На етапі 2024 року було відпрацьовано методику визначення основних біометричних параметрів рослинного покриву, включаючи вимірювання висоти рослин, довжини стебла, площі листової поверхні, густоти стояння та маси надземних органів. Паралельно уточнювалася програма експерименту, яка передбачала систематичні фенологічні спостереження, фіксацію морфометричних показників та оцінку структурних елементів продуктивності.

У дослідженні використовувався ярий ячмінь сорту «Аватар», районований у степовій зоні України. Сорт характеризується середнім періодом вегетації, стійкістю до посухи та здатністю формувати стабільний урожай під впливом мінливих агрокліматичних умов. Його вибір дозволив забезпечити репрезентативність отриманих даних та достовірно оцінити реакцію культури на біогенне навантаження і погодні умови в період вегетації.

У 2025 році була закладена експериментальна схема, яка включала контрольні та дослідні ділянки з диференційованими нормами мінерального живлення та варіантами посіву (контроль – без внесення добрив, дослідний – з внесенням азотних добрив). Площа досліджуваної ділянки становила 0,5 га; перед сівбою внесено аміачну селітру в нормі 10 кг. Рекомендована норма внесення азотних добрив під ярий ячмінь у агрокліматичних умовах Півдня України становить 20 кг/га. При цьому важливою умовою є внесення 90% норми під посів, тобто на початку розвитку рослини. Для отримання високих урожаїв дуже важливо, щоб рослини ярого ячменю були забезпечені поживними речовинами з самого початку свого розвитку, адже компенсувати їхню нестачу в подальшому буде неможливо [29]. В польовому дослідженні норма була свідомо зменшена, з ціллю отримання більш екологічно чистої продукції. Спостереження проводилися з моменту появи сходів до настання повної стиглості зерна. Додатково здійснювався регулярний облік агрометеорологічних показників; температури повітря, кількості опадів та вологості ґрунту. Отримані результати дають нам добрі сподівання про достатню ефективність внесення азотних добрив під ярий ячмінь в умовах Південного Степу України.

Фенологічні фази ярого ячменю у 2025 році характеризувалися такими термінами: посів – 2 квітня, сходи – 12 квітня, колосіння – 4 червня, воскова стиглість – 26 червня. Тривалість вегетаційного періоду становила 86 днів, що відповідає типовим для регіону умовам за відносно підвищеного температурного фону та помірного дефіциту вологи.

Програма польових досліджень передбачала виконання стандартних метеорологічних та агрометеорологічних спостережень, а також реєстрацію спеціальних біометричних показників. Визначення сухої маси рослин здійснювалося щодавно, починаючи з появи сходів. У чотирьох точках ділянки викопували по 10 рослин, підраховували кількість стебел

після кушіння та виходу у трубку, визначали продуктивні та потенційно продуктивні стебла, а також обчислювали загальний і продуктивний коефіцієнт кущистості. Після цього проводилися відбір рослинних проб: відокремлювалися корені, відмерла маса та живі органи. Здійснювали зважування загальної, живої та відмерлої маси, а отримані величини перераховували на 1 м² з урахуванням густоти стояння. Додатково проводився детальний структурний аналіз проб із поділом на фітоелементи: листки, стебла, корені та колоски.

Визначення відсотка сухої речовини у кожному елементі виконували за результатами висушування проб масою не менше 20 г до абсолютно сухого стану: протягом першої години при температурі 100-105 °С, надалі – при 70-80 °С до стабілізації маси (зміна не більше ніж 0,1 г). Вміст сухої речовини визначався як відношення сухої маси до сирової, а суха маса на одиницю площі – шляхом множення сирової маси на відповідний відсоток сухої речовини.

Експериментальні дані отримані шляхом декадного вимірювання біометричних показників на дослідній ділянці з двома основними варіантами: Контроль (К) – без внесення мінеральних добрив, та Дослідний (Д) – із застосуванням аміачної селітри перед сівбою як єдиного мінерального добрива. Аналіз динаміки накопичення сухої біомаси окремих органів ярого ячменю демонструє значний вплив азотного живлення на продукційний процес культури в умовах Південного Степу України.

Рисунок 1 ілюструє динаміку акумуляції сухої маси листової поверхні (m_l) г/м² ярого ячменю за варіантами контроль і дослідний. Листова маса є ключовим індикатором потенціалу фотосинтезу.

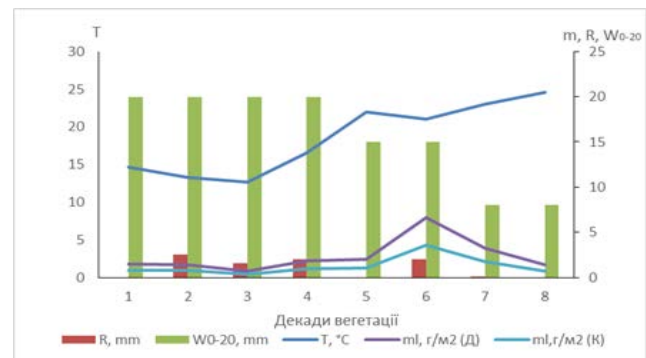


Рис. 1 – Динаміка накопичення сухої біомаси листя (ml)

Fig. 1 - Dynamics of dry biomass accumulation of leaves (ml)

Дослідний варіант продемонстрував значно

більш інтенсивне зростання листкової маси від фази сходів (12 квітня) до фази колосіння (4 червня) порівняно з контролем. Це є прямим наслідком стимулюючої дії азоту, внесеного з аміачною селітрою, на вегетативний розвиток. Пікове значення сухої маси листя у варіанті дослідний було істотно вищим і, як правило, досягалося пізніше або утримувалося довше, ніж у варіанта контроль, що вказує на більш тривалий період активної фотосинтетичної діяльності. У контрольному варіанті пік накопичення сухої маси листя був нижчим і наставав раніше, після чого спостерігалася швидка регресія біомаси. Це пояснюється швидким виснаженням ґрунтового азоту та прискореною сенесценцією (старінням) листя через дефіцит живлення.

Рисунок 2 відображає динаміку накопичення сухої біомаси стебел (m_s) г/м² за варіантами контроль і дослідний. Стебло виконує функцію механічної опори та резервуару поживних речовин.

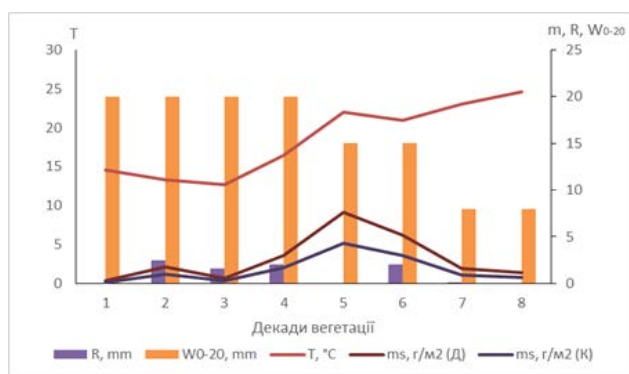


Рис. 2 - Динаміка накопичення сухої біомаси стебел (m_s)

Fig. 2 - Dynamics of dry biomass accumulation of stems (m_s)

У варіанті дослідний інтенсивність наростання сухої маси стебел була значно вищою у період виходу рослин у трубку (кінець травня – початок червня) порівняно з контрольним. Азот сприяє активному формуванню міжвузлів та росту стебел. Кінцева суха маса стебел у дослідному варіанті була переважно більшою до фази воскової стиглості (26 червня), що означає формування більшого резервуару пластичних речовин для подальшого наливу зерна. У контрольному варіанті накопичення стеблової маси було повільнішим та досягло нижчих абсолютних значень через обмежене азотне живлення, що призводило до меншої загальної біомаси рослини.

Рисунок 3 демонструє динамічні зміни сухої

біомаси кореневої системи (m_r) г/м² у двох варіантах. Коренева система критично важлива для поглинання вологи та живлення.

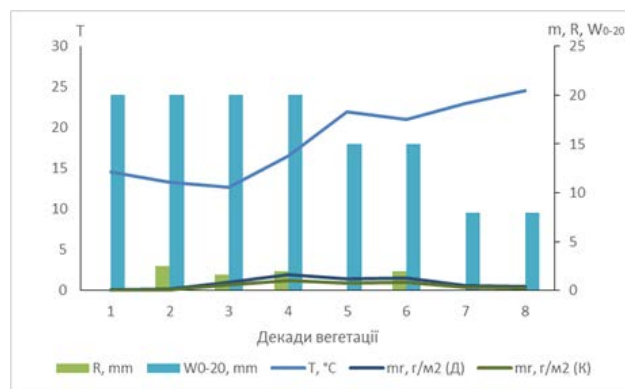


Рис. 3 - Динаміка накопичення сухої біомаси коренів (m_r)

Fig. 3 - Dynamics of dry biomass accumulation of roots (m_r)

Незважаючи на те, що азот переважно стимулює надземну частину, загальна абсолютна маса коренів у варіанті дослідний була вищою, оскільки для підтримки більшої вегетативної маси потрібна пропорційно більша коренева система. Проте, співвідношення корінь/пагін (Root/Shoot ratio) може бути вищим на ранніх фазах у контрольному варіанті, оскільки рослина, відсуваючи дефіцит поживних речовин, інвестує відносно більше ресурсів у розвиток коренів для їх пошуку. Найбільш інтенсивний приріст кореневої маси в обох варіантах припадає на ранні фази вегетації, але у варіанті дослідний цей приріст забезпечує краще водопоглинення в умовах Південного Степу України, що є перевагою для подальшої продуктивності.

Рисунок 4 ілюструє динаміку наростання сухої біомаси колоса (m_k) г/м², що безпосередньо відображає налив зерна і формування врожаю.

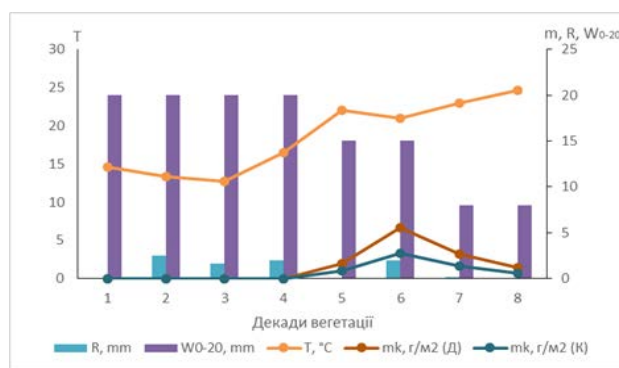


Рис. 4 - Динаміка накопичення сухої біомаси колоса (m_k)

Fig. 4 - Dynamics of dry biomass accumulation of the ear (m_k)

Накопичення сухої біомаси колоса починається після фази колосіння (4 червня) і продовжується до фази воскової стиглості (26 червня). Крива накопичення біомаси колоса у варіанті дослідному розташована значно вище та має крутіший нахил порівняно з контрольним.

Дослідний варіант забезпечив вищу кінцеву суху масу колоса (потенційну врожайність) та швидкість наливу зерна завдяки кращому азотному забезпеченню. Азот позитивно впливає на кількість зерен у колосі та їхню масу, а також на вміст білка.

У контрольному варіанті, через обмежену акумуляцію пластичних речовин у вегетативних органах (як видно з рис. 1 і 2), темп наливу зерна був нижчим, що призвело до значно меншої кінцевої маси колоса.

Таким чином, використання аміачної селітри (варіант дослідний) суттєво оптимізувало динаміку продукційного процесу ярого ячменю, забезпечивши значне збільшення накопичення біомаси всіх органів, особливо листя та колоса, порівняно з контролем.

4. ВИСНОВКИ

У дослідженні розглянуто актуальну проблему забезпечення стабільного виробництва ярого ячменю в умовах Південного Степу України, що ускладнюється посилення аридизації клімату та зростанням антропогенного навантаження на агроєкосистеми. Встановлено, що традиційні підходи до інтенсифікації землеробства через підвищення використання мінеральних добрив (зокрема азотних) в умовах дефіциту вологи часто не гарантують пропорційного приросту врожаю та призводять до негативних екологічних наслідків, створюючи надмірне біогенне навантаження на ґрунти.

Результати польового експерименту, проведеного протягом 2024-2025 років на чорноземах південних при вирощуванні сорту «Аватар», дозволили комплексно оцінити динаміку продукційного процесу культури за умов внесення азотного добрива. Аналіз морфометричних та біометричних показників засвідчив, що азотне живлення інтенсифікує накопичення вегетативної маси (листя та стебел) у першій половині вегетації.

Водночас дослідження виявило ризики однобічного азотного живлення. Встановлено, що за відсутності збалансованого внесення фосфору та калію можливе обмеження розвитку

кореневої системи, прискорення старіння листового апарату та лімітування кінцевої маси колоса, незважаючи на активний початковий ріст. Це підтверджує тезу про те, що існуючі системи удобрення часто не враховують синергетичний ефект кліматичних змін і біогенного тиску.

Отримані результати є науковим підґрунтям для переходу до адаптивних моделей управління агроєкосистемами. Вони доводять необхідність оптимізації норм добрив на основі розрахункових методів, що враховують реальний вміст поживних речовин у ґрунті, замість використання усереднених рекомендацій. Впровадження таких підходів дозволить підвищити еколого-економічну ефективність вирощування ярого ячменю, забезпечити раціональне використання ресурсів та збереження родючості ґрунтів Одеської області в умовах сучасних кліматичних змін.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Артем'єва К. С. Ефективність позакореневих підживлень рідкими органо- мінеральними добривами посівів ячменю ярого. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 83. С. 110–113.
2. Використання мікроелементного препарату «Аватар» за вирощування ячменю ярого в польовій сівозміні / М. В. Тищенко та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 3. С. 32–38.
3. Климишена Р. І., Гораш О. С. Агробіологічні особливості процесу вирощування ячменю ярого за диференційованих строків сівби на основі аналізу параметрів маси зернівки. *Аграрні інновації*. 2025. № 30. С. 94–98.
4. Кубрак Т. М., Мельник А. В. Роль добрив та регуляторів росту рослин за сучасної технології вирощування ячменю ярого в умовах лівобережного лісостепу України. *Bulletin of Sumy national agrarian university. the series: agronomy and biology*. 2023. Т. 53, № 3. С. 31–42.
5. Наукові підходи щодо екологізації технології вирощування ячменю ярого в умовах лівобережного лісостепу / М. В. Горобець та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 4. С. 142–149.
6. Павлова Я. С. Об'ємна маса ґрунту залежно від попередників та його обробітку за вирощування ячменю ярого в Правобережному Лісостепу України. *Аграрні інновації*. 2025. № 30. С. 122–127.
7. Паламарчук В. Д., Колісник О. М. Вплив підживлення азотними добривами на елементи структури урожаю та продуктивність ячменю ярого. *Аграрні інновації*. 2023. № 20. С. 56–61.
8. Рожков А. О., Чернобай С. В. Вплив норм висіву та позакореневих підживлень на ефективність вирощування ячменю ярого сорту Докучаєвський 15. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2015. № 3. С. 44–49.
9. Семенова І. Г. Моделювання врожайності ярого ячменю в Україні з використанням супутникових вегетаційних індексів. *Наукові праці Українського науково-*

- дослідного гідрометеорологічного інституту. 2015. Вип. 267. С. 96–101.
10. Скидан В. О., Скидан М. С. Особливості реакції ячменю ярого сорту Водограй на агротехнічні прийоми вирощування в умовах південного степу України. *Plant breeding and seed production*. 2015. № 103. С. 224–230.
 11. Шляхи вдосконалення адаптивної технології вирощування ячменю ярого в посушливих умовах північного степу України / О. Вінюков та ін. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*. 2025. С. 103–107.
 12. Gamayunova V., Kasatkina T. Perspective is that the particularity of the barley is vivid on the countryside. *Scientific horizons*. 2018. Vol. 70, no. 7-8. P. 131–138.
 13. Kamins'ka V., Buslaieva N. Productivity of spring barley depending on the weather conditions and the level of intensification of growing technology. *Visnyk agrarnoi nauky*. 2021. Vol. 99, no. 5. P. 30–37.
 14. Skrylnyk I., Artemyeva K. Energy evaluation of the effectiveness of liquid organic-mineral fertilizers in growing spring barley. *Visnik L'vivskogo nacional'nogo agrarnogo universitetu. agronomiia*. 2018. Vol. 22, no. 2. P. 127–130.
 15. The use of vermicompost and the biological preparation «Nanoverm» obtained from it for growing spring barley / V. Ivanov et al. *Visnyk agrarnoi nauky*. 2024. Vol. 102, no. 11. P. 11–17.
 16. Ефективність мінімізації обробітку ґрунту і застосування побічної продукції під ячмінь ярий в умовах західного лісостепу / В. М. Польовий та ін. *Bulletin national university of water and environmental engineering*. 2024. T. 1, № 101. С. 223–234.
 17. Вплив регуляторів росту рослин на онтогенез сортів ячменю ярого / М. В. Горобець та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 1. С. 106–115.
 18. Зміна клімату та аридизація південного степу України / Р. А. Вожегова та ін. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 16–20.
 19. Короткова І. В., Горобець М. В., Чайка Т. О. Вплив стимуляторів росту на продуктивність сортів ячменю ярого. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 20–30.
 20. Вплив різних видів мінерального живлення на ріст і розвиток ячменю ярого в зоні степу України / С. В. Маслійов та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 4. С. 28–35.
 21. Іщенко В. А., Козелець Г. М., Губарев О. Д. Формування біометричних показників рослин та врожайності ячменю ярого залежно від позакореневих підживлень в умовах Північного Степу України. *Аграрні інновації*. 2024. № 21. С. 29–34.
 22. Чугрій Г. А. Визначення ефективності різних інтенсивних агротехнологій для сталого зерновиробництва ячменю ярого в умовах степу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 3. С. 18–26.
 23. Шляхи вдосконалення адаптивної технології вирощування ячменю ярого в посушливих умовах північного степу України / О. Вінюков та ін. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*. 2025. С. 103–107.
 24. Гладкіх Є. Ю. Агроекологічні аспекти застосування мінеральних добрив у сільськогосподарському виробництві. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 83. С. 36–41.
 25. Господаренко Г. М., Любич В. В., Мартинюк А. Т. Агрохімічні властивості ґрунту за тривалого застосування мінеральних добрив. *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 34–38.
 26. Ефективність застосування водорозчинних добрив під основні сільськогосподарські культури за умов зміни клімату / Л. Д. Глушенко та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 3. С. 89–92.
 27. Застосування добрив на органічній основі для вирощування екологічно чистих продуктів: thesis / А. О. Ільченко та ін. 2015. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/40062> (дата звернення: 09.12.2025).
 28. Заєць С. О., Онуфран Л. І. Ячмінь ярий на півдні України: монографія. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, Стереотип. вид., 2025. 164 с.
 29. Елементи удобрення ячменю ярого. URL: <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-dobryva/elementy-udobrennya-yachmenyu-yaroho> (дата звернення: 03.12.2025).

REFERENCES

1. Artemieva, K.S. (2015). Efektyvnist pozakorenevnykh pidzhyvlen ridkymy orhano-mineralnymy dobyvamy posiviv yachmeniu yaroho [Effectiveness of foliar feeding of spring barley crops with liquid organic-mineral fertilizers]. *Ahrokhimiia i hruntoznavstvo*, 83, pp. 110–113. (in Ukr.)
2. Tyshchenko, M.V. et al. (2018). Vykorystannia mikroelementnoho preparatu «Avatar» za vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v polioyii sizozmini [The use of the trace element preparation "Avatar" in growing spring barley in a field crop rotation]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, pp. 32–38. (in Ukr.)
3. Klymyshena, R.I., Horash, O.S. (2025). Ahrobiolohichni osoblyvosti protsesu vyroshchuvannia yachmeniu yaroho za dyferentsiiiovanykh strokiv sivby na osnovi analizu parametriv masy zemivky [Agrobiological features of the process of growing spring barley at differentiated sowing dates based on the analysis of grain weight parameters]. *Ahrarni innovatsii*, 30, pp. 94–98. (in Ukr.)
4. Kubrak, T.M., Melnyk, A.V. (2023). Rol dobyv ta rehulatoriv rostu roslyn za suchasnoi tekhnolohii vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v umovakh livoberezhnoho lisostepu Ukrainy [The role of fertilizers and plant growth regulators in modern technology of growing spring barley in the conditions of the left-bank forest-steppe of Ukraine]. *Bulletin of Sumy national agrarian university. the series: agronomy and biology*, 53 (3), pp. 31–42. (in Ukr.)
5. Horobets, M.V. et al. (2020). Naukovi pidkhody shchodo ekolohizatsii tekhnolohii vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v umovakh livoberezhnoho lisostepu [Scientific approaches to the greening of spring barley cultivation technology in the conditions of the left-bank forest-steppe]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 4, pp. 142–149. (in Ukr.)
6. Pavlova, Ya.S. (2025). Obiemna masa hruntu zalezno vid poperednykiv ta yoho obrobтку za vyroshchuvannia yachmeniu yaroho v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Bulk density of the soil depending on precursors and its tillage when growing spring barley in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 30, pp. 122–127. (in Ukr.)
7. Palamarchuk, V.D., Kolisnyk, O.M. (2023). Vplyv pidzhyvlenia azotnymy dobyvamy na elementy struktury

- urozhaiu ta produktyvnist yachmeniu yaroho [The effect of nitrogen fertilization on the elements of crop structure and productivity of spring barley]. *Ahrarni innovatsii*, 20, pp. 56–61. (in Ukr.)
8. Rozhkov, A.O., Chernobai, S.V. (2015). Vplyv norm vysivu ta pozakorenykh pidzhyvlen na efektyvnist vyroshchuvannya yachmeniu yaroho sortu Dokuchaievskiyi 15 [The influence of seeding rates and foliar feeding on the effectiveness of growing spring barley variety Dokuchaievskiyi 15]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, pp. 44–49. (in Ukr.)
9. Semenova, I.H. (2015). Modeliuvannya vrozhaivosti yaroho yachmeniu v Ukraini z vykorystanniam sputnykovykh vehetatsiinykh indeksiv [Modeling the yield of spring barley in Ukraine using satellite vegetation indices]. *Naukovi pratsi Ukrainського naukovo-doslidnogo hidrometeorologichnogo instytutu*, 267, pp. 96–101. (in Ukr.)
10. Skydan, V.O., Skydan, M.S. (2015). Osoblyvosti reaktsii yachmeniu yaroho sortu Vodohrai na ahrotekhnichni pryomy vyroshchuvannya v umovakh pivdennoho stepu Ukrainy [Peculiarities of the reaction of spring barley variety Vodohrai to agrotechnical methods of cultivation in the conditions of the southern steppe of Ukraine]. *Plant breeding and seed production*, 103, pp. 224–230. (in Ukr.)
11. Viniukov, O. et al. (2025). Shliakhy vdoskonalennia adaptivnoi tekhnologii vyroshchuvannya yachmeniu yaroho v posushlyvykh umovakh pivnichnoho stepu Ukrainy [Ways to improve the adaptive technology of growing spring barley in the arid conditions of the northern steppe of Ukraine]. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*. pp. 103–107. (in Ukr.)
12. Gamayunova, V., Kasatkina, T. (2018). Perspective is that the particularity of the barley is vivid on the countryside. *Scientific horizons*, 70 (7-8), pp. 131–138.
13. Kamins'ka, V., Buslaieva, N. (2021). Productivity of spring barley depending on the weather conditions and the level of intensification of growing technology. *Visnyk agrarnoi nauky*, 99 (5), pp. 30–37.
14. Skrylnyk, I., Artemyeva, K. (2018). Energy evaluation of the effectiveness of liquid organic-mineral fertilizers in growing spring barley. *Visnik L'viv's'kogo natsional'nogo agrarnogo universitetu. Agronomiâ*, 22 (2), pp. 127–130.
15. Ivanov, V. et al. (2024). The use of vermicompost and the biological preparation «Nanoverm» obtained from it for growing spring barley. *Visnyk agrarnoi nauky*, 102 (11), pp. 11–17.
16. Poliovyi, V.M. et al. (2024). Efektyvnist minimizatsii obrobitku igrunt i zastosuvannya pobichnoi produktsii pid yachmin yarui v umovakh zakhidnoho lisostepu [Effectiveness of minimizing soil tillage and using by-products for spring barley in the conditions of the western forest-steppe]. *Bulletin national university of water and environmental engineering*, 1 (101), pp. 223–234. (in Ukr.)
17. Horobets, M.V. et al. (2021). Vplyv rehulatoriv rostu roslin na ontogenez sortiv yachmeniu yaroho [The influence of plant growth regulators on the ontogenesis of spring barley varieties]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 1, pp. 106–115. (in Ukr.)
18. Vozhehova, R.A. et al. (2021). Zmina klimatu ta arydyzatsiia pivdennoho stepu Ukrainy [Climate change and aridization of the southern steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 7, pp. 16–20. (in Ukr.)
19. Korotkova, I.V., Horobets, M.V., Chaika, T.O. (2021). Vplyv stymulatoriv rostu na produktyvnist sortiv yachmeniu yaroho [The influence of growth stimulants on the productivity of spring barley varieties]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 2, pp. 20–30. (in Ukr.)
20. Masliiov, S.V. et al. (2019). Vplyv riznykh vydiv mineralnogo zhyvlennia na rist i rozvytok yachmeniu yaroho v zoni stepu Ukrainy [The influence of various types of mineral nutrition on the growth and development of spring barley in the steppe zone of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 4, pp. 28–35. (in Ukr.)
21. Ishchenko, V.A., Kozelets, H.M., Hubariiev, O.D. (2024). Formuvannya biometrychnykh pokaznykiv roslin ta vrozhaivosti yachmeniu yaroho zalezho vid pozakorenykh pidzhyvlen v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Formation of biometric indices of plants and yield of spring barley depending on foliar feeding in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 21, pp. 29–34. (in Ukr.)
22. Chuhrii, H.A. (2021). Vyznachennia efektyvnosti riznykh intensyvnykh ahrotekhnologii dlia staloho zemovyrobnystva yachmeniu yaroho v umovakh stepu Ukrainy [Determining the effectiveness of various intensive agrotechnologies for sustainable grain production of spring barley in the steppe conditions of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, pp. 18–26. (in Ukr.)
23. Viniukov, O. et al. (2025). Shliakhy vdoskonalennia adaptivnoi tekhnologii vyroshchuvannya yachmeniu yaroho v posushlyvykh umovakh pivnichnoho stepu Ukrainy [Ways to improve the adaptive technology of growing spring barley in the arid conditions of the northern steppe of Ukraine]. *Theoretical and empirical scientific research: concept and trends*. P. 103–107. (in Ukr.)
24. Hladkikh, Ye.Yu. (2015). Ahroekologichni aspekty zastosuvannya mineralnykh dobryv u silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Agroecological aspects of mineral fertilizer application in agricultural production]. *Ahrohimii i hruntознаvstvo*, 83, pp. 36–41. (in Ukr.)
25. Hospodarenko, H.M., Liubych, V.V., Martyniuk, A.T. (2023). Ahrokhimichni vlastyvoli igruntu za tryvaloho zastosuvannya mineralnykh dobryv [Agrochemical properties of soil under long-term application of mineral fertilizers]. *Ahrarni innovatsii*, 19, pp. 34–38. (in Ukr.)
26. Hlushchenko, L.D. et al. (2013). Efektyvnist zastosuvannya vodorozchynnykh dobryv pid osnovni silskohospodarski kultury za umov zminy klimatu [Effectiveness of water-soluble fertilizers application for main agricultural crops under climate change conditions]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, pp. 89–92. (in Ukr.)
27. Ilchenko, A.O. et al. (2015). Zastosuvannya dobryv na orhanichnii osnovi dlia vyroshchuvannya ekologichno chystykh produktiv [The use of organic-based fertilizers for growing environmentally friendly products]: thesis. Available at: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/40062> (Accessed 09 December 2025). (in Ukr.)
28. Zaiets, S.O., Onufrin, L.I. (2025). *Yachmin yaryi na pivdni Ukrainy [Spring barley in the south of Ukraine]: monograph*. Kherson: OLDI-PLIUS, Stereotyp. vyd. 164 p. (in Ukr.)
29. *Elementy udobrennia yaroho yachmeniu*. [Fertilizer elements for spring barley]. Available at: URL: <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-dobryva/elementy-udobrennya-yachmeniu-yaroho> (Accessed 03 December 2025). (in Ukr.)

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF CURRENT CONDITIONS FOR SPRING BARLEY CULTIVATION TAKING INTO ACCOUNT BIOGENIC LOAD AND CLIMATE CHANGE IN THE ODESA REGION

P. S. Nikitin, V. G. Ilin

*Odesa I. I. Mechnikov National University,
2, Vsevoloda Zmiiienka St., 65016 Odesa, Ukraine, agroecology87@gmail.com.
<https://orcid.org/0009-0004-5755-4116>, <https://orcid.org/0000-0001-5781-701X>*

The yield of spring barley, the condition of the soil cover, and the stability of agricultural production are directly dependent on the combination of climatic conditions and the level of biogenic load. This article investigates the main methodological principles for the analysis and assessment of agroclimatic factors that determine the optimal conditions for growing spring barley in the Odesa region under conditions of intensified climate change.

The deterioration of agrometeorological indicators, the unevenness of precipitation, and the high variability of the temperature regime reflect the increasing anthropogenic impact on the soil-plant complex, driven by intensive land use, the application of mineral fertilizers, land transformation, and other types of economic activity. The study presents key indicators used to assess the biogenic load, the dynamics of the production process, and the adaptive properties of spring barley.

Prior to the intensification of climate change, the agricultural landscapes of the Odesa region were subjected to one of the highest levels of anthropogenic load within the Southern Steppe of Ukraine. Forecast indicators of the biogenic load on the soil and plant cover for the coming years indicate a stable trend of its growth for most agroecological characteristics of the region. Regarding the northern districts of Odesa region, the increase in load is expected primarily for the nitrogen and water regimes, while for the coastal territories, it is expected for the humus status and structural properties of the soils. The article examines the main groups of factors that reduce the productivity of spring barley and limit the possibilities for optimizing crop areas under the influence of climate change. As a result of the increased biogenic load, the possibilities for the stable use of soil resources are significantly reduced. The deterioration of agroclimatic conditions and the moisture deficit considerably reduce the productive potential of agroecosystems.

The primary task is to determine the actual needs of agricultural production regarding a rational cropping structure, the collection and generalization of data on the state of soil-plant systems, the harmonization of methods for assessing the biogenic load, and conducting such an assessment within the region. It is necessary to identify ways to transition to adaptive management models for the agroecosystems of the Southern Steppe of Ukraine, considering the decrease in productivity resulting from both climate change and excessive biogenic load on soil resources.

Key words: spring barley; biogenic load; climate change; optimization; agroecosystem; soil fertility; Southern Steppe of Ukraine.

*Подання до редакції : 01. 12. 2025
Надходження остаточної версії : 20. 12. 2025
Публікація статті : 23. 12. 2025*

УДК 556.51:556.114(477.43)

ОБГРУНТУВАННЯ ГРАНИЧНИХ МОДУЛІВ СХИЛОВОГО ПРИПЛИВУ ПІДЧАС ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ НА РІЧКАХ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ В СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

В. А. Овчарук, Л. В. Кущенко, О. С. Тимко, В. В. Роїк

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна
valeriya.ovcharuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5654-3731> ;

У статті представлено комплексне гідрологічне дослідження характеристик максимального стоку під час весняного водопілля на річках Вінницької області в сучасних кліматичних умовах. Актуальність роботи зумовлена зростаючою мінливістю клімату, трансформацією снігового режиму та зміною генезису весняних водопіль, що безпосередньо впливає на величину максимального стоку та пов'язаний із ним паводковий ризик.

Метою дослідження є визначення граничних значень максимальних модулів схилового припливу та аналіз сучасних умов формування весняного водопілля з використанням багаторічних рядів спостережень на 11 гідрологічних постах Вінниччини. У роботі застосовано методи статистичної обробки часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку (метод моментів, метод найбільшої правдоподібності, гамма-розподіл Крицького–Менкеля), а також операторну модель формування стоку на основі теорії руслових ізохрон. Окремо виконано визначення характеристик схилового припливу — його тривалості та коефіцієнта нерівномірності — із використанням чисельних методів.

Аналіз кліматичних показників засвідчив сучасне (1991–2020 рр.) підвищення середньорічної температури повітря на 1,5–2,0 °C у порівнянні з періодом 1961–1990 рр., зменшення висоти снігового покриву та різке скорочення кількості днів зі снігом, що призводить до зниження водності весняних водопіль або трансформації їх у тало-дощовий тип. Статистичне опрацювання рядів весняного стоку показало, що середній шар стоку за водопілля змінюється в межах від 17 до 36 мм, а коефіцієнти варіації та асиметрії суттєво відрізняються залежно від морфологічних особливостей водозборів.

У процесі чисельних розрахунків визначено тривалість схилового припливу (136–404 год) та середнє значення коефіцієнта його нерівномірності. Розраховані граничні модулі схилового припливу 1-% забезпеченості ($q'_{1\%}$) становлять від 0,79 до 2,79 м³/с·км². Виявлено, що головним фактором просторової мінливості $q'_{1\%}$ є висота водозбору, тоді як вплив широти та залісеності проявляється слабше. Просторовий розподіл граничних модулів показує максимальні значення у північній частині області (басейн Дніпра) та у верхів'ях Південного Бугу, найменші величини притаманні річкам басейну Дніпра в межах Вінницької області.

Отримані результати можуть бути використані під час водогосподарських та інженерних розрахунків, у тому числі для визначення максимальних витрат рідкісної забезпеченості, проєктування гідротехнічних споруд, оцінки паводкових ризиків та розроблення планів управління річковими басейнами Вінницької області.

Автори підкреслюють, що зміна клімату та тенденції до зменшення водопілля потребують врахування у майбутньому управлінні водними ресурсами регіону.

Ключові слова: максимальний стік, весняне водопілля, схиловий приплив, Вінницька область, гідрологічний аналіз, кліматичні зміни, раціональне водокористування.

1. ВСТУП

В останні роки науковці усього світу досліджують зміни клімату та потенційні наслідки цих змін на різні природні явища та процеси. Практично не визиває дискусії висновок щодо збільшення ймовірності виникнення

екстремальних природних явищ. За даними Європейського агентства з довкілля [1], у період з 1980 по 2020 роки погодні та пов'язані з кліматом екстремальні явища становили близько 80% від загальних економічних збитків, спричинених природними небезпеками в країнах-

членах ЄАОС. Загальна сума збитків досягла 487 млрд євро, що еквівалентно 11,9 млрд євро на рік. Найпоширенішими серед гідрологічних небезпечних явищ є повені різного походження, які спричинили 43% економічних збитків за останні 30 років.

Зміна клімату комплексно впливає на водний цикл. Існують занепокоєння, що тепліший клімат може змінити режими паводків, збільшивши потенційні збитки від них та/або знизивши економічну ефективність заходів з управління паводковим ризиком.

Для оцінки змін паводкових ризиків необхідно розуміти процеси та причини будь-яких змін — як у минулому, так і в майбутньому.

В гідрологічному циклі до таких явищ відносяться паводки різного генетичного походження, зокрема весняне водопілля, яке є основною фазою водного режиму річок Вінниччини.

Розрахункові характеристики максимального стоку є важливим інструментом для раціонального використання водних ресурсів. Вони можуть використовуватися при виконанні водогосподарських розрахунків, таких як визначення граничних обсягів забору води для зрошення сільськогосподарських угідь, що має критичне значення для розвитку аграрного сектору регіону.

Крім того, ці характеристики є незамінними при проектуванні гідроелектростанцій, забезпечуючи точні дані для оцінки їхньої потужності та безпеки експлуатації. Також вони знаходять застосування у будівництві гідротехнічних споруд широкого призначення, таких як дамби, канали чи водосховища, які забезпечують потреби в побутовому водопостачанні та сприяють вирішенню питань водозабезпечення у Вінницькій області

Результати, викладені у статті, підготовлено за результатами магістерської кваліфікаційної роботи Роїка В.В. [2] та в рамках науково-дослідної роботи кафедри гідрології суші факультету гідрометеорології і екології Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова: «Гідрологічний і гідрохімічний режими річок України в сучасних умовах водокористування і зміни клімату» (номер держреєстрації: 0123U101578)

Мета роботи полягає дослідженні сучасних умов формування максимального стоку

весняного водопілля на річках Вінницької області та визначенні граничних максимумів стоку з використанням даних спостережень останніх років.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Сучасні дослідження європейських гідрологів під керівництвом проф. Гюнтера Блошля продемонстрували, що кліматичні зміни по-різному впливають на паводки у різних частинах Європи: збільшення опадів восени та взимку посилює повені на північному заході, натомість зменшення опадів і зростання випаровування зменшують їх на півдні; зниження снігового покриву через потепління призводить до спаду паводків у східній частині континенту [3], [4]. Ці тенденції узгоджуються з прогнозами моделей за сценарієм RCP4.5, що підтверджує вже відчутні наслідки зміни клімату та необхідність враховувати їх у плануванні протипаводкових заходів [3], [4]. Водночас дослідження для США показують, що кількість екстремальних опадів і повеней зростає, особливо у центральних штатах [5]-[7]; при цьому недостатньо вивчені зміни величини самих паводків [8]. Повені 2019 року на Міссісіпі, Міссурі та Арканзасі стали прикладом складної кліматичної події, коли комбінація сильних опадів та швидкого танення снігу завдала 20,3 млрд доларів збитків, в основному сільському господарству та інфраструктурі [9], [10].

Економічні втрати та людські жертви від екстремальних явищ спонукають до подальших досліджень, систематизації даних і моделювання, що дозволить розробляти ймовірнісні й оперативні прогнози стоку [11]-[21].

Серед актуальних робіт варто відзначити аналіз шляхів зменшення ризику повеней у Європі [22], оцінку впливу зміни клімату на паводки та посухи у Польщі [23], дослідження ефектів кліматичних змін на басейн Дунаю [24], аналогічні проєкти в Алжирі [25], Канадських преріях [26] та Латинській Америці [27]. В Україні питання впливу кліматичних змін на водний режим річок вивчають фахівці Київського національного університету ім. Тараса Шевченка та Потсдамського інституту [28], Українського гідрометеорологічного інституту [29], Одеського державного екологічного університету, з 2024р. –

Одеського національного університету імені І.І. Мечникова [31]–[32].

3. ОПИС МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

На території Вінницької області гідрологічний моніторинг здійснюється на 11 гідрологічних постах, з яких 7 розташовані в басейні Південного Бугу, 2 – в басейні Дністра, та 2 – в басейні Дніпра. В дослідженні використані дані спостережень від їх початку до 2020 р., включно. Найдовший часовий ряд спостережень має пост 81393 на річці Рів у с. Демидівка (басейн Південного Бугу). Записи там ведуться фрагментарно з 1916 р. (1916–1918, 1922–1941 та 1945–2020), що сумарно дає близько 99 років даних. Найкоротший ряд спостережень, серед постів із зазначеним періодом, — 81348 на Південному Бузі біля с. Селище: безперервна серія спостережень 2002–2020 рр. охоплює лише 19 років.

Якщо розглядати площу водозбору, то найменший водозбір має пост 81261 на річці Мурафа (70 км²), а найбільший — 81361 на Південному Бузі (с. Тростяничик) із водозбором 17 400 км². Таким чином, діапазон площ водозборів гідрологічних постів становить від 70 до 17 400 км². Розташування пунктів спостереження за гідрологічним режимом річок в межах Вінницької області показано на рис.1, а список пунктів представлений в табл. 1.



Рис. 1 – Карта-схема гідрологічного моніторингу в межах Вінницької області

Fig. 1 – Map-scheme of hydrological monitoring within the Vinnytsia region

Таблиця 1 – Список пунктів гідрологічних спостереження в межах Вінницької області

Table 1 – List of Hydrological Observation Stations within Vinnytsia Region

№ п/п	Код поста	Річка - пост	Площа водозбору, км ²	Період спостережень, роки
Басейн Південного Бугу				
1	81346	р.Південний Буг – с.Пирогівці	827	1964–2020
2	81348	р.Південний Буг – с.Лелітка	4000	1926–2020
3	81353	р.Південний Буг – с.Селище	9100	2002–2020
4	81361	р.Південний Буг – с.Тростяничик	17400	1930–1941, 1946–2020
5	81386	р. Згар – смт Літин	692	1931–2020
6	81393	р. Рів – с. Демидівка	1130	1916–1918, 1922–1941, 1945–2020
7	81396	р. Соб – с. Зозів	92,5	1945–2020
Басейн Дністра				
8	81257	р. Лядова – с. Жеребилівка	652	1964–2020
9	81261	р. Мурафа – с. Кудіївці	70,0	1963–2020
Басейн Дніпра				
10	80084	р. Гуйва – с. Городківка	312	1940, 1941, 1944, 1946–2020
11	80292	р. Рось – с. Круподеринці	618	1950–2020

Розрахувати граничні значення максимального стоку водопілля дозволяє операторна модель, в основу якої покладена теорія руслових ізохрон. За цією схемою формування максимального стоку розглядається у вигляді двооператорної моделі трансформації опадів в русловій стік [12]–[14]. Перший оператор (схильний стік) описується характеристиками підстильної поверхні схилів, а другий – трансформацією схилового припливу річковою мережею (через час руслового добігання, русло-заплавне регулювання і під впливом озер,

водосховищ і ставків проточного типу). Блок-схема трансформації опадів в русловий стік показана на рис. 2.

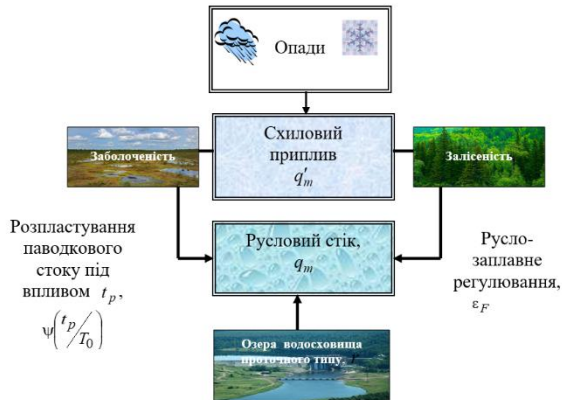


Рис. 2 – Блок-схема трансформації опадів у русловий стік [12]

Fig. 2 – Flowchart of precipitation transformation into channel runoff [12]

В чисельних роботах проф. Гопченка Є.Д. з учнями [12]-[15] показано, що розрахункове рівняння для визначення максимального стоку в цьому випадку має вигляд:

$$q_m = q'_m \psi(t_p/T_0) \epsilon_F r \lambda_p, \quad (1)$$

де r – коефіцієнт регулювання максимального стоку озерами, водосховищами і ставками; λ_p – коефіцієнт забезпеченості; ϵ_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання; q'_m – максимальний модуль схилового припливу ($\text{м}^3/\text{с км}^2$), який відображає взаємозв'язок між собою характеристик гідрографів схилового припливу, описується рівнянням вигляду:

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (2)$$

де Y_m – загальний шар припливу, мм; T_0 – тривалість схилового припливу, год; $(n+1)/n$ – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу; $\psi(t_p/T_0)$ – трансформаційна функція

а) при $t_p < T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n, \quad (3)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p}\right)^m \right], \quad (4)$$

де m і n – показники міри в рівняннях кривих припливу та ізохрон, відповідно. З (1) і з врахуванням (3-4) коефіцієнт ϵ_F дорівнює:

$$\epsilon_F = \frac{q_m}{q'_m} / \psi(t_p/T_0). \quad (5)$$

Отже задача визначення граничних модулів схилового припливу може бути вирішена за умови розрахунку складових рівняння (2).

4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Згідно кліматичного районування Вінницька область відноситься до Північної атлантико-континентальної кліматичної області для якій є характерним середньорічна кількість опадів на 600 мм, середня температура січня 6°C , липня 19°C , а кількість днів зі сніговим покривом становить 85 діб за рік [32]-[33]. Середньорічна температура повітря, згідно з кліматичним кадастром за 1961-1990 рр., в басейні становить $6,7^\circ\text{C}$ (м. Вінниця). На даний час вже є можливість порівняння даних з новими кліматичними нормами за період 1991-2020 рр [34]. Аналіз кліматичних показників за різні періоди показало, що за останні 30 років по всій території Вінницької області спостерігається підвищення середньорічної температури повітря на $1,5-2,0^\circ\text{C}$ (рис. 3).

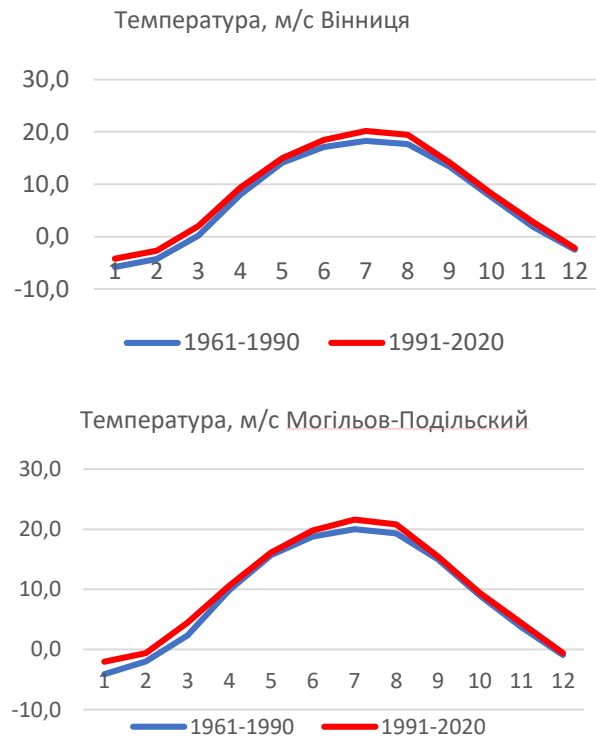


Рис. 3 – Порівняння річного ходу температури повітря за різні кліматичні періоди для метеостанцій Вінницької області

Fig. 3 – Comparison of the annual air temperature cycle for different climatic periods at meteorological stations of Vinnytsia Region

На рис. 4 представлено порівняння річного ходу опадів за різні розрахункові періоди. На відміну від температури повітря тут тенденції різні – у січні відмічене їх зменшення, а у березні зростання.

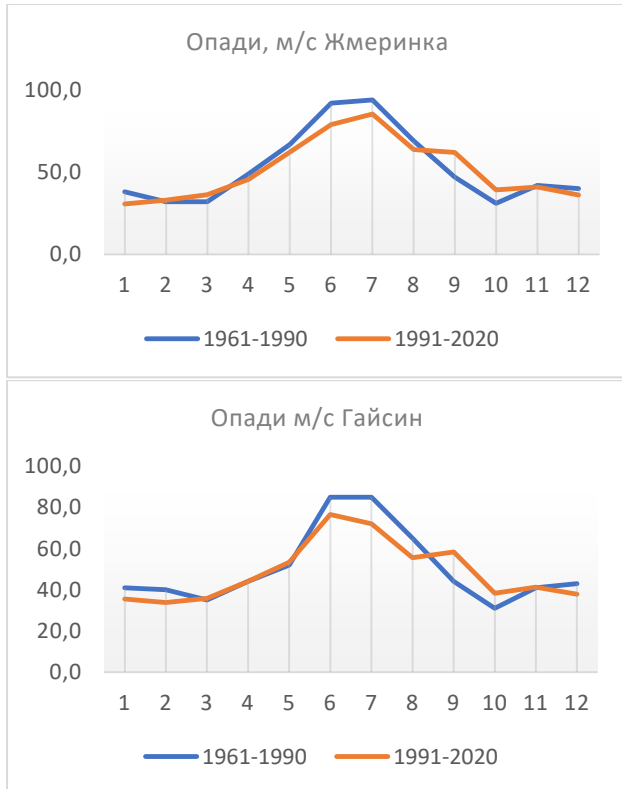


Рис. 4 – Порівняння річного ходу опадів за різні кліматичні періоди для метеостанцій Вінницької області

Fig. 4 – Comparison of the precipitation cycle for different climatic periods at meteorological stations of Vinnytsia Region

Окремо розглянемо зміни характеристик снігового покриву, які є визначальними для формування весняного водопілля. Його розподіл по території Вінницької області є нерівномірним. Сніговий покрив зазвичай з'являється в третій декаді листопада, а його стійке утворення відбувається в середині грудня. Кількість днів зі сніговим покривом змінюється залежно від місця: на півночі басейну вона становить 90-100 днів за зиму, тоді як на півдні зменшується до 60-70 днів. Середня висота снігового покриву за зиму на півночі становить 20-40 см, а на півдні – 10-30 см. Максимальні значення сягають 50-60 см на півночі та 30 см на півдні [32]. Руйнування стійкого снігового покриву зазвичай розпочинається на початку березня. За сучасних

кліматичних умов, наприклад за 2019-2020 гідрологічний рік, на більшості станцій найбільша висота снігового покриву була найменшою за період спостережень і становила лише 1-5 см [34]. Суттєво знизилось число днів зі сніговим покривом – з 120-130 до 20-30. Запас води у сніговому покриві при таких умовах в останні роки становив 0-12 мм [34]. Тем не менш, виключати можливість формування високих водопіль на території області не можна, хоча їх характер буде змінюватись з традиційно снігових на тало-дощові.

4.1 Розрахунок складових граничних максимумів припливу води

Розглянемо кожен складову рівняння (2) окремо. Визначення шару стоку за період повені не представляє труднощів, оскільки відомості про величини публікуються в спеціальній і довідковій літературі. Для річок Вінницької області зібрані матеріали по стоку (найбільші строкові витрати, та шари стоку за водопілля) за даними 11 водозборів; проведена стандартна статистична обробка рядів, після чого досліджувався можливий вплив місцевих чинників на отримані величини.

Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води проводилась за методами моментів та найбільшої вірогідності, які рекомендовані в нормативній гідрологічній літературі [16]. Визначені середні значення найбільших строкових витрат води, коефіцієнти варіації C_v і асиметрії C_s , а також коефіцієнт автокореляції $r(1)$. Максимальне значення витрат води відмічене в пункті 2 (р.Південний Буг – с.Лелітка) і складає $102 \text{ м}^3/\text{с}$.

Найменша строкова витрата весняного водопілля $4,20 \text{ м}^3/\text{с}$ – на посту 9 (р.Мурафа – с.Кудіївці). Визначені за методом моментів значення коефіцієнтів варіації C_v змінюються від 0,76 (р.Південний Буг – с.Селище) до 1,49 (р.Соб – с.Зозів), середнє значення при цьому становить 1,12. Водночас коефіцієнти асиметрії змінюються від 1,31 (р.Південний Буг – с.Тростяничик) до 3,66 (р.Соб – с.Зозів) при їх середньому значенні 2,24.

При використанні методу найбільшої правдоподібності чисельні значення коефіцієнтів варіації C_v змінюються від 0,87 (р.Рів – с.Демидівка) до 1,54 (р.Соб – с.Зозів), середнє значення становить 1,15. Ступінь асиметрії C_s

змінюються від 1,21 (р. Рів – с. Демидівка) до 4,44 (р. Південний Буг – с. Лелітка) зі середнім значенням 2,87. Відношення C_s/C_v в середньому дорівнює 2,5. *Статистична обробка часових рядів сумарного шару стоку за водопілля* виконана аналогічно з максимальними витратами води.

Аналізуючи результати розрахунків по шарах стоку за водопілля, можна сказати, що найбільше середнє значення шару стоку за повинь спостерігається в пункті 2 (р. Південний Буг – с. Лелітка) і становить 36 мм. Найменший шар стоку за період весняного водопілля 17 мм – на посту 8 (р. Лядова – с. Жеребилівка).

Розраховані за формулами методу моментів коефіцієнти варіації C_v варіюють від 0,54 (р.Південний Буг – с.Селище) до 1,12 (р.Мурафа – с.Кудіївці), медіанне значення знаходиться на рівні 0,76. Коефіцієнти асиметрії змінюються в діапазоні від 0,90 (р. Гуйва – с. Городківка) до 2,45 (р. Мурафа – с. Кудіївці), середнє значення при цьому дорівнює 1,37.

При розрахунках за методом найбільшої правдоподібності визначені коефіцієнти варіації C_v коливаються практично в тому же що й для методу моментів діапазоні при середньому значенні 0,77. Коефіцієнти асиметрії C_s змінюються від 0,94 (р.Гуйва – с. Городківка) до 3,21 (р.Мурафа – с.Кудіївці) зі середнім значенням 1,59. Середнє співвідношення C_s/C_v дорівнює 2,0.

Цікаво порівняти коефіцієнти автокореляції для часових рядів максимальних витрат та шарів стоку, як це показано на рис.5. Представлений графік добре ілюструє, що за абсолютними величинами коефіцієнти $r(1)$ в цілому вище для шарів стоку та змінюються в більшому діапазоні.

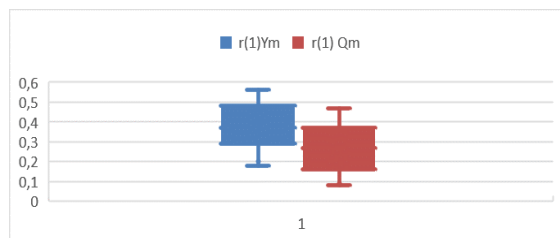


Рис. 5 – Порівняння коефіцієнтів автокореляції для рядів найбільших строкових витрат та шарів стоку водопілля річок в межах Вінницької області

Fig. 5 – Comparison of autocorrelation coefficients for the series of annual maximum discharges and spring flood runoff depths of rivers within Vinnytsia Oblast

Коефіцієнти варіації, розраховані різними методами, як показано на рис.6, мало відрізняються, але мінливість витрат води весняного водопілля вище ніж шарів стоку.

Надалі за наявних значеннях статистичних параметрів Q_m , Y_m , C_v і C_s величини заданої забезпеченості 1,3,5 та 10 % розраховані з використання трипараметричного гамма-розподілу С.М.Крицького та М.Ф. Менкеля [35].

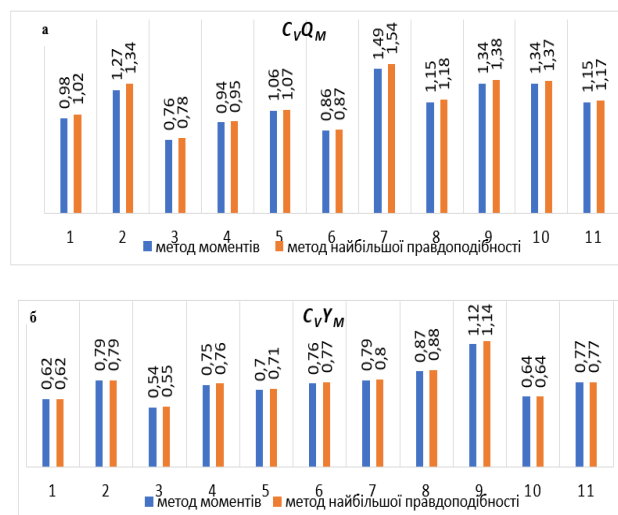


Рис. 6 – Порівняння коефіцієнтів варіації, визначених різними методами для рядів найбільших строкових витрат (а) та шарів стоку водопілля (б) річок в межах Вінницької області

Fig. 6 – Comparison of variation coefficients determined by different methods for the series of annual maximum discharges (a) and spring flood runoff depths (b) of rivers within Vinnytsia Oblast.

Визначення характеристик схилового припливу. Безпосередньо до характеристик схилового припливу відносяться *тривалість припливу* води зі схилів в руслову мережу T_0 і *коефіцієнта нерівномірності схилового припливу* $\frac{(n+1)}{n}$. Як показано в роботах [12-13] проблема полягає в тому, що безпосередній вимір схилової водовіддачі на сучасному етапі досліджень практично не проводиться.

Проте, можливе рішення зворотної задачі шляхом ретрансформації руслового гідрографу або в результаті чисельного визначення невідомих параметрів. У даному дослідженні використаний метод, який запропонований у роботі [36] для визначення $\frac{(n+1)}{n}$ через елементи руслового гідрографу, зокрема, через коефіцієнт

нерівномірності руслового стоку $\frac{(m_1+1)}{m_1}$, верхнє граничне значення якого при $F \Rightarrow 0$ представляє собою шуканий параметр нерівномірності схилового гідрографу $\frac{(n+1)}{n}$.

Для річок Вінницької області коефіцієнти $\frac{(m_1+1)}{m_1}$ змінюються в достатньо широкому діапазоні – від 1,74 до 7. За отриманими даними побудована залежність, яка дозволяє досить просто екстраполювати її на вісь ординат з метою встановлення $\frac{(n+1)}{n}$ (рис.7). Для річок Вінницької області можна прийняти $\frac{(n+1)}{n} = 12,94$, звідки $n = 0,084$.

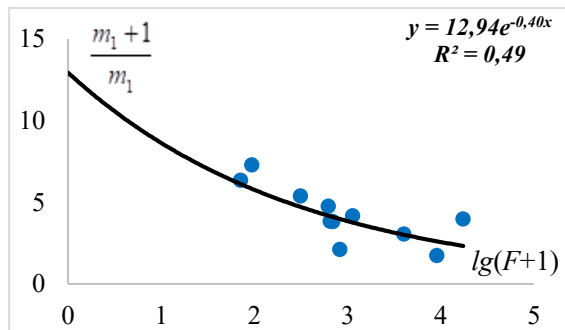


Рис. 7 – Залежність коефіцієнтів часової нерівномірності весняного водопілля від площі водозборів річок Вінницької області

Fig. 7 – Dependence of spring flood temporal irregularity coefficients on the catchment area of rivers in Vinnytsia Oblast.

Остання характеристика схилового припливу – його тривалість T_0 . При побудові формул максимального стоку найбільші труднощі пов'язані з визначенням саме цього параметра. Фізичний зміст T_0 визначений досить чітко – це основа гідрографів схилів. Проте, через практичну відсутність мережі воднобалансових станцій і високу варіацію T_0 за територією використання такого прийомом не розповсюджено.

Тому заслуговує на увагу спосіб чисельного визначення тривалості в рамках формули А.М. Бефані, запропонований Є.Д. Гопченко [12]. Базові рівняння для розрахунку T_0 мають вигляд:

а) при $t_p < T_0$

$$T_0 = \left(\frac{\varepsilon_F Y_m}{n q_m} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left[(n+1)T_0 - \frac{m+1}{n+m+1} t_p^n \right]^{\frac{1}{n+1}}, \quad (6)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$T_0 = \left[\left(\frac{m+n+1}{n+1} - \frac{q_m}{Y_m \varepsilon_F} t_p \right) \frac{m(n+m+1)}{n+1} t_p^m \right]^{\frac{1}{m}}, \quad (7)$$

де q_m – максимальний модуль стоку за водопілля, $\text{м}^3/\text{с км}^2$; t_p – час руслового добігання, год; ε_F – коефіцієнт русло-заплавного водообміну та регулювання; m – показник степені в рівнянні кривої ізохрон.

Для розрахунку T_0 чисельним методом на кафедрі гідрології суші ОДЕКУ/ОНУ розроблена комп'ютерна програма, за допомогою якої розрахункові значення шуканої величини T_0 отримано для 10 водозборів за двома наближеннями.

На першому етапі значення T_0 визначались при заданому коефіцієнті русло-заплавного регулювання та водообміну $\varepsilon_F = 1,0$.

Надалі за допомогою рис.8, обирається середнє по району значення тривалості припливу, в нашому випадку це 219 год. За відомого осередненого значення

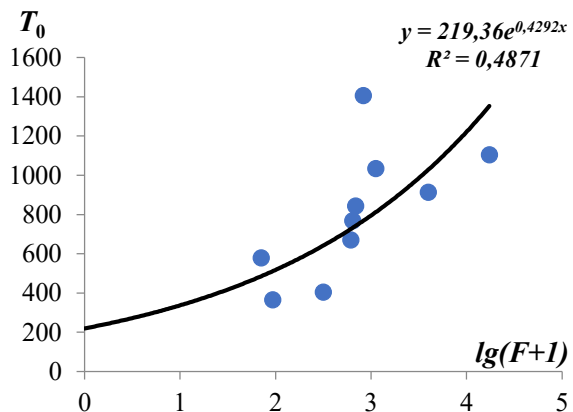


Рис. 8 – Залежність тривалості схилового припливу у першому наближенні від площі водозборів річок Вінницької області

Fig. 8 – Dependence of the slope inflow duration in the first approximation on the catchment area of rivers in Vinnytsia Oblast.

розраховують значення ε_F та узагальнюються в залежності від площі водозборів (рис.9).

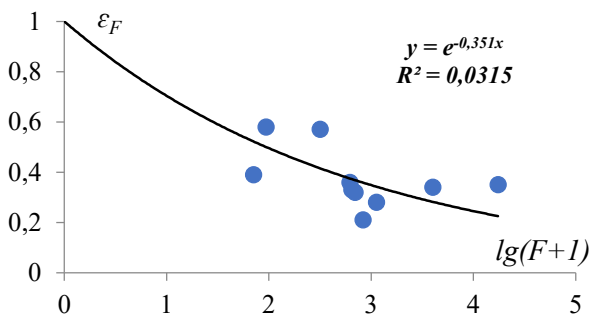


Рис. 9 – Залежність коефіцієнта русло-заплавного водообміну від площі водозборів річок Вінницької області
Fig. 9 – Dependence of the channel-floodplain water-exchange coefficient on the catchment area of rivers in Vinnytsia Oblast.

Таким чином, в процесі розрахунку T_0 ми отримали розрахункове рівняння для визначення коефіцієнтів русло-заплавного водообміну та регулювання ε_F :

$$\varepsilon_F = e^{-0,351 \lg(F+1)}, (r = 0,52). \quad (8)$$

Наступним етапом є визначення T_0 при розрахункових значеннях ε_F , отримані значення є остаточними. Для річок Вінницької області значення T_0 змінюються від 136 до 404 год. Визначені чисельним методом величини T_0 будуть надалі використані при визначенні граничних модулів схилового припливу.

4.2 Граничні модулі схилового припливу на річках Вінницької області

Як показано у попередніх пунктах, визначені всі складові вихідного виразу (2) за якими можна отримати розрахункові значення максимальних модулів схилового припливу. Результати розрахунків показали, що для річок Вінницької області $q'_{1\%}$ коливаються в широких межах – від $0,79 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$ (р.Південний Буг – с.Пирогівці) до $2,79 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$ (р.Південний Буг – с.Лелітка). Отримані розрахункові величини $q'_{1\%}$ були перевірені на факторну обумовленість, зокрема побудовані залежності цієї величини від широти та висоти водозборів, а також від залісеності.

В результаті значуща залежність спостерігається лише від висоти водозборів. З метою подальшого узагальнення, значення $q'_{1\%}$ приведені до умовної висоти 300 м, після чого знову побудована залежність від широти центрів тяжіння водозборів.

Після виключення впливу висоти водозборів залежність від широти центрів тяжіння прослідковується краще і характеризується значущим коефіцієнтом кореляції ($r=0,42$), що може буди підставою для картування цієї величини.

Просторовий розподіл граничних модулів схилового припливу в межах Вінницької області представлений на рис.10. Аналізуючи побудовану карту, можна відмітити найбільші значення $q'_{1\%300}$ спостерігаються на півночі досліджуваної території на річках басейну Дніпра, а також у верхів'ях Південного Бугу, найменші величини відмічаються в межах басейну Дністра.

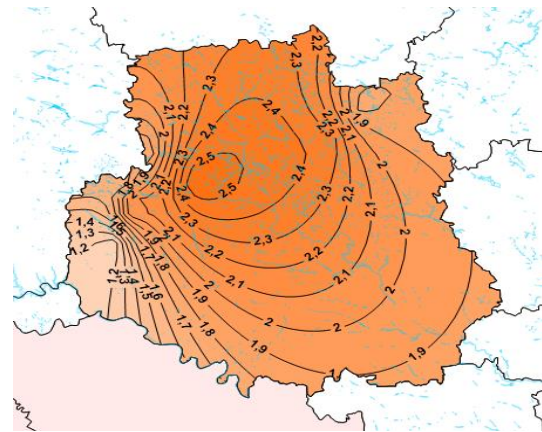


Рис. 10 – Карта-схема розподілу $q'_{1\%300}$ на водозборах річок Вінницької області

Fig. 10 – Map-scheme of the spatial distribution $q'_{1\%300}$ of across the catchments of rivers in Vinnytsia Oblast.

Таким чином, щоб визначити значення граничних максимумів схилового припливу 1% ймовірності перевищення необхідно за координатами центру тяжіння водозбору зняти значення з карти, представленої на рис.11, та перерахувати використовуючи рівняння:

$$q'_{1\%} = q'_{1\%300} k_H \quad (9)$$

де $k_H = 1 + 0.0033(H_{ср} - 300)$, $H_{ср}$ – середня висота водозбору, м.

Перспективою подальших досліджень є розробка регіональної методики для визначення максимальних витрат води з використанням отриманих граничних максимумів схилового припливу для невивчених в гідрологічному відношенні річок в межах Вінницької області в умовах зміни клімату.

5. ВИСНОВКИ

1. В представленому дослідженні для території Вінницької області вперше визначені і узагальнені за територією граничні модулі схилового припливу з використанням операторної моделі формування стоку.

2. Особливістю досліджуваної території є те, що річки Вінниччини протікають по території трьох районів річкових басейнів – Південного Бугу, Дністра і Дніпра й отже фактори формування весняного водопілля відрізняються по басейнах. Тем не менш, водний режим річок Вінницької області характеризується добре вираженим весняним водопіллям, яке в окремі роки може досягати небезпечних відміток рівня та витрат води.

3. Порівняння кліматичних показників за різні періоди показало, що за останні 30 років по всій території Вінницької області спостерігається підвищення середньорічної температури повітря на 1,5-2,0 °C. Що стосується опадів, то тут тенденції різні – у січні відмічене їх зменшення, а у березні зростання.

4. Аналіз зміни характеристик снігового покриву, які є визначальними для формування весняного водопілля, показав, що, за останні роки на більшості станцій найбільша висота снігового покриву була найменшою за період спостережень і становили лише 1-5 см. Суттєво знизилось число днів зі сніговим покривом до 20-30, а запас води у сніговому покриві за таких умов становив 0-12 мм. Таким чином, можна сказати, що кліматичні умови, які склалися за останні 30 років не сприяють накопиченню снігового покриву і запасів води у ньому, що в свою чергу призводить до формування невисоких водопіль, або взагалі його формування може не спостерігатися у недалекому майбутньому. З іншого боку, збільшенні кількості опадів у березні і одночасне підвищення температури повітря ймовірно призведе до формування тало-дощових паводків, які можуть бути достатньо високими.

5. З метою визначення граничних максимумів схилового припливу, у представлену дослідженні виконана статистична обробка вхідної інформації. В результаті визначені стокові величини рідкої ймовірності перевищення.

6. З використанням чисельних методів та програмного забезпечення кафедри гідрології суші ОДЕКУ-ОНУ визначені всі характеристики

схилового припливу. Для річок Вінницької області коефіцієнт нерівномірності схилового припливу осереднений на рівні 12,94, а значення тривалості схилового припливу змінюються від 136 до 404 год.

7. Визначення характеристик схилового припливу дало змогу обґрунтувати граничні величини схилового припливу 1%-ої ймовірності перевищення для річок Вінницької області. Значення $q'_{1\%}$ коливаються в широких межах – від 0,79 м³/с·км² (р. Південний Буг – с. Пирогівці) до 2,79 м³/с·км² (р. Південний Буг – с. Лелітка). Отримані розрахункові величини $q'_{1\%}$ перевірені на факторну обумовленість, виявлено значущий вплив висоти водозборів та отримано рівняння для коефіцієнту впливу k_H .

8. Просторовий розподіл граничних модулів схилового припливу, приведених до умовної висоти 300м, на річках в межах Вінницької області підчас весняного водопілля виконаний з використанням програмного забезпечення MapInfo показує, що найбільші значення $q'_{1\%300}$ спостерігаються на півночі досліджуваної території на річках басейну Дніпра, а також у верхів'ях Південного Бугу, найменші величини відмічаються в межах басейну Дністра.

9. Представлені граничні модулі можуть бути використані при оцінці ризиків та розробки планів управління річковими басейнами, а також при обґрунтуванні регіональної методики визначення максимальних витрат води весняного водопілля рідкісної ймовірності перевищення для невивчених у гідрологічному відношенні річок Вінницької області.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. European Environment Agency. (2023). *Economic losses and fatalities from weather- and climate-related events in Europe*. EEA Report. <https://surli.cc/lymdav>
2. Роїк, В. В. Граничні максимуми схилового припливу в період весняного водопілля на річках Вінницької області: кваліфікаційна робота магістра / В. В. Роїк. – Одеса, 2024. – 76 с. URI <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/41487>
3. Blöschl G. et al. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. 2017. Vol. 357, No. 6351. P. 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
4. Blöschl G. et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*. 2019. Vol. 573. P. 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
5. Mallakpour, G. Villarini. The changing nature of flooding across the central United States. *J. Nat. Clim. Change*.

2015. Vol. 5. P. 250-254. <https://doi.org/10.1038/nclimate2516>
6. Neri A. et al. On the decadal predictability of the frequency of flood events across the US Midwest. *Int. J. Climatol.*, 2019. Vol. 39. P. 1796-1804. <https://doi.org/10.1002/joc.5915>
7. Slater L.J., Villarini G. Recent trends in US flood risk. *Geophys. Res. Lett.*, 2016. Vol. 43 (12). Pp. 12,428-12,436. <https://doi.org/10.1002/2016GL071199>
8. Agha Kouchak A. et al. Climate extremes and compound hazards in a warming world. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2020. Vol. 48. P. 519-548. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055228>
9. NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI) Billion- Dollar Weather and Climate Disasters: Table of Events URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/events/US/2019> (Accessed: 20.06.2021)
10. Zscheischler J. and et al. A typology of compound weather and climate events. *Nature reviews earth & environment.* 2020. Vol. 1. P. 33-347. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0060-z>
11. Шакирзанова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України: монографія. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
12. Ovcharuk V.A., Hopchenko Ye.D. The modern method of maximum spring flood runoff characteristics valuation for the plain rivers of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal.* 2018. №2. P. 26-33. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026>
13. Овчарук В.А. Максимальний стік весняного водопілля рівнинних річок України: монографія. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 300 с.
14. Extreme hydrological phenomena in the forest steppe and steppe zones of Ukraine under the climate change / Valeriya Ovcharuk et al. *Published by Copernicus Publications on behalf of the International Association of Hydrological Sciences.* 2020. Vol. 383. P. 229-235. <https://doi.org/10.5194/piabs-383-229-2020>
15. Ovcharuk, V. et al. Calculating the characteristics of flash flood on small rivers in the mountainous Crimea. *Geofizika*, 2020. Vol. 37(1). P. 27-43. <https://doi.org/10.15233/gfz.2020.37.3>
16. Шакирзанова Ж.Р., Докус А.О. Довгострокове прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг: монографія. Одеса: ФОП Бондаренко М. О., 2021. 244 с. ISBN 978-617-8005-42-9.
17. Горбачова Л. О., Приходькіна В. С., Христюк Б. Ф., Заболотня Т. О., Розлач В. О. Статистичний аналіз максимального стоку води річки Південний Буг за методом «Indicators of Hydrologic Alteration». *Український гідрометеорологічний журнал.* 2021. № 27. С. 42-54. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.05>
18. Ovcharuk V., Gopchenko E. Engineering substantiation of maximum river runoff characteristics... In: *Ecological Significance of River Ecosystems.* Elsevier, 2022. P. 351–382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>
19. Zhannetta Shakirzanova, Anhelina Dokus, Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers. Editor(s): Sugghosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh, *Ecological Significance of River Ecosystems*, Elsevier, 2022, Chapter17. Pages 325-350. ISBN 9780323850452
20. Екстремальні гідрологічні явища на річках Півдня України: розрахунки і прогнози : монографія / за ред. Овчарук В. А., Шакирзанової Ж. Р. Одеса : ОДЕКУ, 2024. 674 с. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/13144/>
21. Snizhko, S., Bertola, M., Ovcharuk, V., Shevchenko, O., Didovets, I. & Blöschl, G. (2023). Climate impact on flood changes – an Austrian-Ukrainian comparison. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 71(3), 2023. 271-282. <https://doi.org/10.2478/johh-2023-0017>
22. Migliorini M. et al. Data interoperability for disaster risk reduction in Europe. *Disaster Prevention and Management.* 2019. Vol. 28. No. 6. P. 804-816. <https://doi.org/10.1108/DPM-09-2019-0291>
23. Romanowicz, Renata Julita et al. “Climate Change Impact on Hydrological Extremes: Preliminary Results from the Polish-Norwegian Project.” *Acta Geophysica.* 2016. Vol. 64. P. 477-509.
24. Bisselink B. et al. Impact of a changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube river basin. *Publications Office of the European Union*, 2018. P. 3-70. <https://doi.org/10.2760/89828>
25. Kouidri Sofiane et al. Long-term seasonal characterization and evolution of extreme drought and flooding variability in northwest Algeria. *Meteorology, Hydrology and Water Management.* 2019. Vol. 7. Issue 2. P. 63-71. <https://doi.org/10.26491/mhwm/106101>
26. Akhter A. and Azam S. Flood-Drought Hazard Assessment for a Flat Clayey Deposit in the Canadian Prairies. *Journal of Environmental Informatics Letters.* 2019. Vol. 1(1). P. 8-19. <https://doi.org/10.3808/jeil.201900002>
27. RIOCCADAPT Report. Floods and Droughts. In: *Adaptation to Climate Change Risks in Ibero-American Countries / Edited by: Camilloni, I., V. Barros, S. Moreiras et al.* Madrid, Spain. 2020. P. 371-396.
28. Didovets I. et al. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies.* 2020. Vol. 32. 100761. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100761>
29. Б. Ф. Христюк, Л. О. Горбачова. (2025). Моделювання дощових паводків річки Стрий за допомогою штучної нейронної мережі. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*, 1(7), 71-78. <https://doi.org/10.15407/meteorology2025.07.071>
30. Лобода Н. С., Козлов М. О. Оцінка водних ресурсів річок України за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 на 2021–2050 роки. *Український гідрометеорологічний журнал.* 2020. № 25. С. 93–104. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
31. Loboda, N. S., Tuchkovenko, Y. S., Kozlov M. O., & Katynska, I. V. (2021). Assessment of River Water Inflow into the Sasyk Estuary-Reservoir According to RCP4.5 and RCP8.5 Climate Change Scenarios for 2021–2050. *Journal of Geology, Geography and Geocology*, 30(2), 315-325. <https://doi.org/10.15421/112128>
32. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Раєвського, 2003. 343 с.
33. Кліматичний Кадастр України (електронна версія)

- Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ, Центральна Геофізична Обсерваторія. Київ. 2006.
34. Кліматичний Кадастр України (електронна версія) Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ, Центральна Геофізична Обсерваторія. Київ, 2022.
35. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: Підручник. – Одеса: ТЕС, 2014. – 484 с.
36. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Романчук М.С., Траскова А.В. Науково-методична база для визначення тривалості схилового припливу під час дощових паводків і весняних водопіль. Український гідрометеорологічний журнал. 2014. № 14. С. 205-212.
- ## REFERENCES
1. European Environment Agency. (2023). *Economic losses and fatalities from weather- and climate-related events in Europe*. EEA Report. <https://www.eea.europa.eu/publications/economic-losses-and-fatalities-from>
 2. Roik, V. V. (2024). *Hranychni maksymy skhylovoho pryplyvu v period vesnianoho vodopillia na richkakh Vinnytskoi oblasti [Maximum Limits of Slope Runoff During Spring Flooding on the Rivers of Vinnytsia Region]*. Odesa: URI <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/41487>
 3. Blöschl G. et al. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. Vol. 357, No. 6351. P. 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
 4. Blöschl G. et al. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*. Vol. 573. P. 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
 5. Mallakpour, G. Villarini. (2015). The changing nature of flooding across the central United States. *J. Nat. Clim. Change*. Vol. 5. P. 250-254. <https://doi.org/10.1038/nclimate2516>
 6. Neri A. et al. (2019). On the decadal predictability of the frequency of flood events across the US Midwest. *Int. J. Climatol.* Vol. 39. P. 1796-1804. <https://doi.org/10.1002/joc.5915>
 7. Slater L.J., Villarini G. (2016). Recent trends in US flood risk. *Geophys. Res. Lett.* Vol. 43 (12). Pp. 12,428-12,436. <https://doi.org/10.1002/2016GL071199>
 8. Agha Kouchak A. et al. (2020). Climate extremes and compound hazards in a warming world. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* Vol. 48. P. 519-548. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055228>
 9. NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI) Billion- Dollar Weather and Climate Disasters: Table of Events URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/events/US/2019> (Accessed: 20.06.2021)
 10. Zscheischler J. and et al. (2020). A typology of compound weather and climate events. *Nature reviews earth & environment*. Vol. 1. P. 33-347. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0060-z>
 11. Shakirzanova, Zh.R. (2015). *Dovhostrokovye prohnouzuvannia kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia rivnyynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy [Long-term forecasting of maximum spring flood characteristics of lowland rivers and estuaries in Ukraine]*. Odesa: FOP Bondarenko M.O. (in Ukr.)
 12. Ovcharuk V.A., Hopchenko Ye.D. (2018). The modern method of maximum spring flood runoff characteristics valuation for the plain rivers of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. №2. P. 26-33. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026>
 13. Ovcharuk, V. A. (2020). *Maksymal'nyi stik vesnianoho vodopillia rivnyynykh richok Ukrainy: monohrafiia [Maximum Spring Flood Runoff from Lowland Rivers in Ukraine]*. Odesa: Helvetica Publishing House. (in Ukr.)
 14. Extreme hydrological phenomena in the forest steppe and steppe zones of Ukraine under the climate change / Valeriya Ovcharuk et al. *Published by Copernicus Publications on behalf of the International Association of Hydrological Sciences*. 2020. Vol. 383. P. 229-235. <https://doi.org/10.5194/piahs-383-229-2020>
 15. Ovcharuk, V. et al. (2020). Calculating the characteristics of flash flood on small rivers in the mountainous Crimea. *Geofizika*. Vol. 37(1). P. 27-43. <https://doi.org/10.15233/gfz.2020.37.3>
 16. Shakirzanova, Zh. R., & Dokus, A. O. (2021). *Dovhostrokovye prohnouzuvannia kharakterystyk vesnianoho vodopillia v baseini r. Pivdennyi Buh. [Long-Term Forecasting of Spring Flood Characteristics in the Southern Bug River Basin]*. Odesa: FOP Bondarenko M.O. ISBN 978-617-8005-42-9. (in Ukr.)
 17. Horbachova, L. O., Prykhodkina, V. S., Khrystiuk, B. F., Zabolotnia, T. O., Rozlach, V. O. (2021). *Statystychniy analiz maksimalnogo stoku vody richky Pivdennyi Buh za metodom "Indicators of Hydrologic Alteration" [Statistical Analysis of the Maximum Water Discharge of the Southern Bug River Using the "Indicators of Hydrologic Alteration" Method]*. Ukrainian Hydrometeorological Journal, (27), pp. 42–54. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.05>
 18. Ovcharuk V., Gopchenko E. (2022). Engineering substantiation of maximum river runoff characteristics... In: *Ecological Significance of River Ecosystems*. Elsevier. P. 351–382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>.
 19. Zhannetta Shakirzanova, Anhelina Dokus, (2022). Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers. Editor(s): Sughosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh, *Ecological Significance of River Ecosystems*, Elsevier, Chapter17. Pages 325-350. ISBN 9780323850452
 20. Ovcharuk V. A., Shakirzanovoi Zh. R. (2024). *Ekstremalni hidrolohichni yavyshecha na richkakh Pivdnia Ukrainy: rozrakhunky i prohnozy [Extreme Hydrological Events on Rivers of Southern Ukraine: Assessment and Forecasting]*. Odesa: ODEKU. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/13144/> (in Ukr.)
 21. Snizhko, S., Bertola, M., Ovcharuk, V., Shevchenko, O., Didovets, I. & Blöschl, G. (2023). Climate impact on flood changes – an Austrian-Ukrainian comparison. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 71(3). 271-282. <https://doi.org/10.2478/johh-2023-0017>
 22. Migliorini M. et al. (2019). Data interoperability for disaster risk reduction in Europe. *Disaster Prevention and Management*. Vol. 28. No. 6. P. 804-816. <https://doi.org/10.1108/DPM-09-2019-0291>
 23. Romanowicz, Renata Julita et al. (2016). "Climate Change

- Impact on Hydrological Extremes: Preliminary Results from the Polish-Norwegian Project.* Acta Geophysica. Vol. 64. P. 477-509
24. Bisselink B. et al. (2018). Impact of a changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube river basin. *Publications Office of the European Union*. P. 3-70. <https://doi.org/10.2760/89828>
 25. Kouidri Sofiane et al. (2019). Long-term seasonal characterization and evolution of extreme drought and flooding variability in northwest Algeria. *Meteorology, Hydrology and Water Management*. Vol. 7. Issue 2. P. 63-71. <https://doi.org/10.26491/mhwm/106101>
 26. Akhter A. and Azam S. (2019). Flood-Drought Hazard Assessment for a Flat Clayey Deposit in the Canadian Prairies. *Journal of Environmental Informatics Letters*. Vol. 1(1). P. 8-19. <https://doi.org/10.3808/jeil.201900002>.
 27. RIOCCADAPT Report. Floods and Droughts. In: Adaptation to Climate Change Risks in Ibero-American Countries / Edited by: Camilloni, I., V. Barros, S. Moreiras et al. Madrid, Spain. 2020. P. 371-396.
 28. Didovets I. et al. (2020). Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Vol. 32. 100761. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100761>
 29. Khrystiuk, B. F., & Horbachova, L. O. (2025). Modeliuvannia doshchovykh pavodkiv richky Stryi za dopomohoiu shuchnoi neironnoi merezhi [Rainfall flood simulation for the Stryi River using an artificial neural network]. *Meteorology. Hydrology. Environmental Monitoring*, 1(7), pp. 71–78. <https://doi.org/10.15407/meteorology2025.07.071>
 30. Loboda, N. S., & Kozlov, M. O. (2020). Otsinka vodnykh resursiv richok Ukrainy za tsenariiamy RCP4.5 ta RCP8.5 na 2021–2050 roky [Assessment of Water Resources of Ukrainian Rivers under RCP4.5 and RCP8.5 Scenarios for 2021–2050]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, UDC 556.51:556.114(477.43) (25), pp. 93–104. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
 31. Loboda, N. S., Tuchkovenko, Y. S., Kozlov M. O., & Katynska, I. V. (2021). Assessment of River Water Inflow into the Sasyk Estuary-Reservoir According to RCP4.5 and RCP8.5 Climate Change Scenarios for 2021–2050. *Journal of Geology, Geography and Geocology*, 30(2), 315-325. <https://doi.org/10.15421/112128>
 32. Lypynskyi, V. M., Diachuk, V. A., & Babichenko, V. M. (Eds.). (2003). *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]*. Kyiv: Rayevskoho. (in Ukr.)
 33. *Klimatychnyi Kadastr Ukrainy (elektronna versii) Derzhavna hidrometeorologichna sluzhba UkrNDHMI, Tsentralna Heofizychna Observatoriia [Climatic Cadastre of Ukraine (electronic version). State Hydrometeorological Service of Ukraine, Ukrainian Hydrometeorological Institute (UkrNDHMI), Central Geophysical Observatory]*. Kyiv. 2006.
 34. *Klimatychnyi Kadastr Ukrainy (elektronna versii) Derzhavna hidrometeorologichna sluzhba UkrNDHMI, Tsentralna Heofizychna Observatoriia [Climatic Cadastre of Ukraine (electronic version). State Hydrometeorological Service of Ukraine, Ukrainian Hydrometeorological Institute (UkrNDHMI), Central Geophysical Observatory]*. Kyiv. 2022.
 35. Hopchenko, Ye. D., Loboda, N. S., & Ovcharuk, V. A. (2014). Hidrolozhichni rozrakhunky [Hydrological calculations]. Odesa: TES, 484 p. (in Ukr.)
 36. Hopchenko, Ye. D., Ovcharuk, V. A., Romanchuk, M. Ye., & Traskova, A. V. (2014). Naukovo-metodychna baza dlia vyznachennia tryvalosti skhylovoho pryplyvu pid chas doshchovykh pavodkiv i vesnianykh vodopil [Scientific-methodological framework for estimating the duration of hillslope inflow during rainfall floods and spring floods]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (14), pp. 205-212.

JUSTIFICATION OF THE LIMITING MODULES OF SLOPE INFLOW DURING THE SPRING FLOOD ON THE RIVERS OF VINNYTSIA REGION UNDER CURRENT CLIMATE CONDITIONS

V. A. Ovcharuk, L. V. Kushchenko, O. S. Tymko, V. V. Roik

Odesa I. I. Mechnikov National University
2 V. Zmiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine
valeriya.ovcharuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5654-3731>

The relevance of this study is driven by the need to address a key scientific and applied problem—understanding the dynamics of maximum runoff formation during spring floods in the context of increasing climate variability. In Vinnytsia Region, the transformation of snow cover, altered flood genesis, and rising temperatures significantly influence maximum runoff values and associated flood risks. Therefore, identifying limiting characteristics of slope inflow under current climatic conditions is essential for sustainable water management and hydraulic engineering.

Numerous studies have highlighted climate-induced changes in the hydrological regime of Ukrainian rivers; however, the dynamics of slope inflow formation and the spatial variability of maximum runoff modules for the rivers of the Vinnytsia Region remain insufficiently studied.

Existing gaps relate primarily to the lack of quantitative assessments of extreme slope inflow modules and their dependence on watershed characteristics under contemporary climate trends.

This article aims to determine the limiting values of maximum slope inflow modules and to assess the current hydrological conditions of spring flood formation using long-term observational data from hydrological stations across Vinnytsia Region.

The study employs classical statistical techniques (method of moments, maximum likelihood estimation, and Kritzky–Menkel gamma distribution), as well as numerical methods for determining slope inflow duration and unevenness, and an operator-based runoff formation model grounded in channel isochrone theory.

Presentation of the main research material. Based on multi-year observational data from 11 hydrological stations, the study demonstrates that current climatic conditions are characterized by a 1.5–2.0 °C rise in mean annual air temperature relative to 1961–1990, a marked decrease in snow cover depth, and a shortened snow-cover duration. These changes reduce the water yield of spring floods or transform them into mixed rain–snowmelt events. The mean spring flood runoff depth varies from 17 to 36 mm, with high spatial variability depending on basin morphology. Numerical calculations show that slope inflow duration ranges from 136 to 404 hours, while the limiting 1% slope inflow modules vary from 0.79 to 2.79 m³/s·km². Watershed elevation was identified as the dominant factor controlling spatial differences, whereas the influence of latitude and forest cover is less pronounced. The spatial distribution of the limiting modules shows the highest values in the northern part of the region (Dnieper basin) and in the upper reaches of the Southern Bug, while the lowest values are characteristic of the rivers of the Dnieper basin within Vinnytsia Region.

The obtained results form an important scientific basis for assessing spring flood hazards, estimating rare-probability maximum discharges, designing hydraulic structures, and developing river basin management plans for the Vinnytsia Region. The study demonstrates that the observed reduction in spring flood water yield under climate change must be integrated into future regional water management and adaptation strategies. Further research will involve expanding the analysis to additional watersheds within the region using broader empirical datasets.

Keywords: maximum runoff, spring flood, slope inflow, Vinnytsia Region, hydrological analysis, climate change, rational water use.

Подання до редакції : 24. 11. 2025

Надходження остаточної версії : 14. 12. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ МІСТА ОДЕСА

Д. В. Шелінговський, Т. А. Сафранов

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна,
safranov@ukr.net, d.v.shelinhovskiy@ukr.net

Серед речовин, що забруднюють довкілля урбанізованих територій, зокрема, ґрунтовий покрив, особливе місце займають важкі метали, до яких, зазвичай, належать метали з масою понад 50 атомних одиниць та густиною більше ніж 5 г/см^3 . Залежно від джерел надходження до ґрунтового покриву і властивостей ґрунтів розрізняють важкі метали, що пов'язані з особливостями материнських порід та важкі метали, що надходять до ґрунтового покриву внаслідок антропогенної діяльності. Забруднення важкими металами сприяє зменшенню пористості ґрунтів та негативно впливає на процеси циркуляції повітря, води та поживних речовин. На відміну від більш динамічного повітряного басейну та поверхневих природних вод, де відбуваються активні процеси самоочищення, ґрунтовий покрив практично не має такої здатності, процеси очищення від важких металів відбуваються дуже повільно, лише під час вилуговування, поглинання рослинами й у процесі водної ерозії, що зумовлює екологічну небезпеку на урбанізованих територіях впродовж тривалого часу. Тому метою цієї роботи є аналіз особливостей забруднення важкими металами ґрунтового покриву міста, територія якого характеризується досить різноманітними ґрунтово-геохімічними умовами. В процесі інтенсивної урбанізації ґрунтовий покрив зазнав вплив численних антропогенних факторів, у результаті якого відбувалася зміна його фізико-хімічних властивостей та підвищення концентрацій важких металів. Аналіз результатів раніше проведених досліджень показує, що найбільш забрудненими окремими важкими металами (Pb, Zn, Cu, Co) є ґрунти промислової зони та ділянок, прилеглих до автотранспортних магістралей з інтенсивним рухом. Серед цих техногенно-напружених ділянок урбанізованої території особливе місце займають ділянки парків і скверів, де зафіксовано перевищення значення фонових концентрацій свинцю та цинку, в той час, як вміст міді на всіх ділянках зафіксований нижче фонові концентрації. Але діапазон розрахованих значень індексів геоаккумуляції для цих важких металів відповідає рівню забруднення ґрунтів від слабкого до середнього, залежно від відстані ділянок від джерел техногенного забруднення. За результатами експериментального біосенсорного біолоюмінесцентного аналізу зазначених ґрунтів окремих парків та скверів міста Одеса не зафіксовано вираженого інгібування рівня люмінесценції мікробних клітин, які слугують основою сенсорних елементів. Це свідчить про відсутність речовин, токсичних для ґрунтових мікроорганізмів. У процесі аналізу зафіксовано незначний рівень стимуляції люмінесценції мікробних клітин, що може бути пов'язано з впливом підвищеного вмісту органічної компоненти у зразках ґрунту; проаналізовані проби ґрунтів віднесено до низького рівня екологічної токсичності, що відповідає їхньому рівню забруднення за значенням індексу геоаккумуляції. Найбільші розрахункові значення загального екологічного ризику (RI) характерні для промислової (27,19) та транспортної (10,19) функціональних зон м. Одеса, причому ці показники відповідають незначній характеристиці величини ризику.

Ключові слова: важкі метали, забруднення, ґрунтовий покрив, екологічний ризик.

1. ВСТУП

До числа розповсюджених забруднюючих речовин (ЗР), що впливають на стан та якість ґрунтового покриву належать важкі метали (ВМ), які характеризуються токсичністю та здатністю до біоаккумуляції. Наявність цих хімічних елементів та їхніх сполук у ґрунтах зумовлена низкою природних та антропогенних чинників. В умовах інтенсивного

антропогенного впливу на природні компоненти довкілля дедалі більшої актуальності набуває проблема забруднення ґрунтового покриву, зокрема важкими металами. Як відомо, ВМ характеризуються високою токсичною дією, стійкістю, здатністю до накопичення та міграції ланцюгами живлення, що безпосередньо впливає на стан ґрунту, його родючість, якість

сільськогосподарської продукції та здоров'я населення [1]. Варто нагадати, деякі ВМ є не лише токсичними речовинами, але й природними мікроелементами ґрунтів, необхідними для нормального функціонування культурних рослин, оптимальні концентрації яких залежать від фізико-хімічних особливостей материнських порід та процесів ґрунтоутворення, а також від антропогенних чинників.

Сам процес очищення ґрунтового покриву урбанізованих територій від ВМ відбувається досить повільно, переважно шляхом вилугування, поглинання рослинами, а також у процесі водної та вітрової ерозії.

Визначення вмісту та форм ВМ у ґрунтовому покриві є коштовним та складним завданням. Найбільш поширеними у використанні є атомно-абсорбційний спектрометричний та рентгено-флуоресцентний методи визначення ВМ, також застосовують метод індуктивно-зв'язаної плазмової спектрометрії та біоіндикаторні методи. При цьому, насамперед, необхідно враховувати рівень чутливості методів, а також форму, у якій визнаються ВМ (валова або рухома).

Варто зазначити, питання просторово-часового розподілу ВМ у ґрунтах південних регіонів України, залишається недостатньо вивченим. Розподіл та ступінь токсичності ВМ у ґрунтовому покриві обумовлені природними умовами місцевості та залежать від особливостей конкретної речовини. Наприклад, деякі ВМ (Hg, Pb, Cd) накопичуються у верхніх шарах ґрунту, але їхня міграція по ґрунтовому профілю та винесення за його межі незначні. Моніторинг стану ґрунтів, зокрема на вміст ВМ, набуває важливого значення, особливо у зв'язку з постійним зростанням антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище.

На урбанізованих територіях природні ґрунти перебувають під постійним впливом різних антропогенних факторів і практично втратили здатність до самоочищення. На відміну від динамічного повітряного басейну і поверхневих природних вод, де відбуваються активні процеси самоочищення від ВМ та інших політантів, ґрунтовий покрив практично не має такої здатності. У забруднених ґрунтах урбанізованих територій зменшується кількість органічної речовини, порушується природна рівновага рН поверхневого шару ґрунту, а також місткість катіонного обміну, що зумовлює зниження буферної здатності ґрунтів. Звичайно, у ґрунтах техногенно-забруднених територій кількість сполук міді, цинку, кобальту, нікелю

та свинцю у рухомих формах (водорозчинних, легко-обмінних іонів, розчинних у слабко-кислому середовищі) зростає у порівнянні з фоновими значеннями, а також порівняно із ґрунтами рекреаційних зон. Оскільки склад ґрунтів неоднорідний, навіть у межах однієї земельної ділянки їхні фізико-хімічні властивості можуть бути різними, що, у свою чергу, зумовлює зміни концентрацій важких металів.

Також ВМ впливають на кількість, різноманітність та активність ґрунтової біоти, адже здатні уповільнювати швидкість росту та розмноження ґрунтових мікроорганізмів.

Контроль за станом ґрунтів вкрай важливий з огляду на антропогенні навантаження, які з кожним роком зростають. В умовах динамічної урбанізації практично неможливо нівелювати антропогенну складову забруднення ґрунтів, але з урахуванням екологічної небезпеки забруднення ґрунтового покриву урбанізованих територій важкими металами дослідження особливостей їхнього вмісту та закономірностей розподілу вважається актуальною проблемою.

Метою роботи є оцінка екологічного ризику та аналіз особливостей забруднення ВМ ґрунтового покриву міста Одеса.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Робота ґрунтується на опублікованих даних вітчизняних і зарубіжних науковців, а також на матеріалах власних досліджень. Авторами були проведені дослідження рівня забруднення ВМ ґрунтів окремих ділянок міста Одеса. Зразки ґрунтів відбирали за допомогою бура методом «конверта»: ширина – 100 м, довжина – 300 м, глибина відбору проб – 0-25 см (у межах гумусового шару). Цей метод дозволяє отримати репрезентативну середню пробу з ділянки, де ґрунт відносно однорідний за рельєфом та рослинністю. З п'яти точкових проб по кожному парку було сформовано загальні проби (парк Перемоги – 3 загальні проби, парк Шевченка – 2 загальні проби). Аналіз вмісту водорозчинних (рухомих) форм ВМ у ґрунтах методом водної витяжки (екстракції) з ґрунту проводився у лабораторії моніторингу вод Південного регіону Відокремленого підрозділу Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю «Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів». Також у процесі дослідження, для визначення екотоксичності, було використано результати експериментального біосенсорного біolumінесцентного методу аналізу зразків ґрунту, проведеного в Інституті біоколоїдної

хімії імені Ф.Д. Овчаренка Національної академії наук України.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для оцінки рівня забруднення ґрунтів використовують значну кількість показників: коефіцієнт концентрації, індекс забруднення, показник потенційного екологічного ризику, зокрема застосовують розрахунок значення індексу геоаккумуляції (Igeo). Цей показник є одним із найпоширеніших індикаторів у геоекологічних дослідженнях, адже дозволяє кількісно оцінити рівень забруднення ґрунтів відносно природного вмісту елементів, визначається за формулою:

$$I_{geo} = \log_2 (C_i / 1,5 GB), \quad (1)$$

де C_i – вміст ВМ у гумусовому горизонті; GB – фоновий вміст ВМ для ґрунтів степової зони України [2]; 1,5 – коефіцієнт, що враховує природну геохімічну варіабельність.

Залежно від значення індексу геоаккумуляції виокремлюють такі рівні забруднення ґрунтового покриття [3]:

- 1) чисті ґрунти (< 0);
- 2) ґрунти від слабкого до середнього рівня забруднення (0–1);
- 3) ґрунти середнього рівня забруднення (1–2);
- 4) ґрунти від середнього до сильного рівня забруднення (2–3);
- 5) ґрунти сильного рівня забруднення (3–4);
- 6) ґрунти дуже сильного рівня забруднення (4–5).

За даними [4] щодо вмісту ВМ у ґрунтах окремих парків та скверів міста Одеса було проведено розрахунок індексу геоаккумуляції (табл. 1).

Крім того, також було розраховано значення індексу геоаккумуляції для основних функціональних зон міста Одеса. Дані розрахунків для різних зон урбанізованої території [5, 6] наведено у табл. 2.

Таблиця 1 – Вміст важких металів та значення індексу геоаккумуляції (Igeo) для ґрунтів окремих парків і скверів міста Одеса

Table 1 – Heavy metal content and geoaccumulation index (Igeo) values for soils of individual parks and squares of the city of Odesa

№ ділянки	Вміст важкого металу, мг/кг ґрунту / значення Igeo			Рівень забруднення ґрунтів за значенням Igeo
	Pb/Igeo	Zn/Igeo	Cu/Igeo	
1	4,54/-2,10	241,60/1,38	0,18/-7,81	чисті (Pb, Zn), середній (Zn)
2	6,89/-1,50	13,22/-2,81	0,92/-5,46	чисті (Pb, Zn, Cu)
3	6,14/-1,67	15,02/-2,63	1,07/-5,24	чисті (Pb, Zn, Cu)
4	50,27/1,37	37,90/-1,30	1,32/-4,94	середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
5	37,79/0,95	18,38/-2,34	0,93/-5,44	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
6	2,66/-2,87	0,89/-6,71	1,36/-4,90	чисті (Pb, Zn, Cu)
7	4,53/-2,11	35,58/-1,39	0,49/-6,37	чисті (Pb, Zn, Cu)
8	9,74/-1,00	87,54/-0,09	1,33/-4,93	чисті (Pb, Zn, Cu)
9	48,32/1,31	25,10/-1,89	1,37/-4,89	середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
10	38,90/1,00	38,29/-1,28	1,58/-4,68	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)

Примітка: 1 – схили поблизу санаторію імені Чкалова; 2 – сквер біля Одеської обласної ради (під деревами); 3 – сквер біля Одеської обласної ради (трав'яниста рослинність, газон); 4 – «Дюківський сад» (Розкидайлівська, 69); 5 – парк «Дюківський сад»; 6 – меморіал 411 берегової батареї; 7 – парк «Аеропортівський»; 8 – парк Перемоги; 9 – парк Марка Твена; 10 – парк Шевченка.

Таблиця 2 – Вміст важких металів та значення індексу геоаккумуляції (Igeo) для ґрунтів різних функціональних зон м. Одеса

Table 2 – Heavy metal content and geoaccumulation index (Igeo) value for soils of different functional zones of Odesa city

Назва функціональної зони міста	Вміст важкого металу, мг/кг ґрунту / значення Igeo			Рівень забруднення ґрунтів за значенням Igeo
	Pb/Igeo	Zn/Igeo	Cu/Igeo	
Транспортна	20,16/0,05	24,60/-1,92	11,02/-1,88	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
Рекреаційна	18,19/-0,10	23,07/-2,01	8,02/-2,34	чисті (Pb, Zn, Cu)
Промислова	61,16/1,65	82,66/-0,17	12,58/-1,69	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
Селітебна	20,50/0,07	58,00/-0,68	1,16/-5,13	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)

Вищенаведені дані щодо вмісту ВМ у ґрунтах окремих парків та скверів міста Одеса

доповнено результатами власних досліджень, які було виконано методом екстракції (водної

витяжки з ґрунту) та представлено у табл. 3. Дослідження виконувалися з метою визначення вмісту водорозчинних (рухомих) форм важких металів, які становлять значну екологічну

небезпеку, оскільки характеризуються високою мобільністю у ґрунтовому покриві, здатністю до міграції і, відповідно, до біоаккумуляції в живих організмах.

Таблиця 3 – Результати аналізу водних витяжок (екстракції) із ґрунтів окремих парків Одеси
Table 3 – Results of analysis of water extracts from soils of certain parks in Odesa

Місце відбору проби	Наважка проби ґрунту	Одинці вимірювання	<i>Cu</i>	<i>Cd</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Hg</i>
Парк Шевченка	40 г	мг/дм ³	0,020	0,001	0,000	0,000	0,020	0,000
		мг/кг	0,100	0,005	0,000	0,000	0,100	0,000
Парк Перемоги	40 г	мг/дм ³	0,015	0,004	0,000	0,000	0,012	0,000
		мг/кг	0,075	0,002	0,000	0,000	0,060	0,000

Різницю у результатах аналізу ВМ у ґрунтах окремих парків Одеси, отриманих методами атомно-абсорбційної спектрофотометрії (див. табл. 1, 2) та водної витяжки (див. табл. 3), зумовлено відмінностями у принципах цих методів. Аналіз методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії передбачає повне розчинення ґрунтового зразка за допомогою кислот, а тому визначає усі рухомі форми важких металів. Метод водної витяжки – це один з найпростіших та найпоширеніших способів оцінки мобільної (водорозчинної) форми ВМ у ґрунті. Він широко застосовується в екологічному моніторингу, оскільки дозволяє оцінити ступінь екологічної небезпеки ґрунтового забруднення та біодоступність металів для рослин, мікроорганізмів і людей, але, варто зазначити, що цей метод не дає повної інформації щодо загального забруднення, хоча є цінним для екотоксикологічної оцінки та оцінки екологічного ризику. Тобто цей метод передбачає визначення лише тієї фракції ВМ, яка є мобільною та потенційно доступною для поглинання рослинами (водорозчинні, рухомі форми).

За результатами оцінки рівня екологічної токсичності досліджених проб ґрунтів окремих парків Одеси з використанням експериментального біосенсорного біolumінесцентного аналізу (табл. 4) їх віднесено до низького рівня екологічної токсичності.

Аналіз ґрунтується на реєстрації змін інтенсивності біolumінесценції бактеріальних штамів — компонентів сенсорного елемента — під впливом токсичних речовин, що містяться у водному екстракті зразка ґрунту, який аналізується, у порівнянні з контролем, за допомогою біolumінометра Hidex (Фінляндія).

1) низький – від 0,6-0,9 до 1,1-1,5; **2)** середній – від 0,4-0,6 до 1,5-1,7; **3)** високий – від 0,2-0,4 до 1,7- 2,0.

Як контрольний зразок (еталон на вміст небезпечних речовин) використовувався природний дерново-підзолистий ґрунт (Пуща-Водиця, Україна).

Під час аналізу проб ґрунтів, з огляду на характер їхньої чутливості до вмісту ВМ, було використано такі біосенсорні елементи:

- 1) CE1 – біосенсорний елемент на основі штаму *Vibrio fischeri* (природна люмінесценція);
- 2) CE2 – біосенсорний елемент на основі штаму *Vibrio harveyi* (природна люмінесценція);
- 3) CE3 – біосенсорний елемент на основі штаму *Photobacterium phosphoreum* (природна люмінесценція).

Використані штами характеризуються здатністю до гасіння природної люмінесценції у присутності окремого ВМ. Біolumінесцентні бактерії містять фермент люциферазу, який здійснює ефективну трансформацію енергії хімічних зв'язків життєво-необхідних метаболітів у світловий сигнал на рівні, придатному для вимірювань. Параметр екот оксичності і (E) визначається за формулою (2) і відображає рівень інтегральної забрудненості об'єкта, зокрема, ВМ, і виражається як відношення інтенсивності біolumінесценції бактерій при контакті дослідної проби (I_n) до інтенсивності біolumінесценції бактерій при контакті з еталонною (контрольною) пробою (еталонні ґрунти/вода) (I_e):

$$E = \frac{I_n}{I_e}. \quad (2)$$

Діапазони ризику залежно від значення параметра екологічної токсичності (E) такі:

За результатами оцінки рівня екологічної токсичності досліджених проб ґрунтів окремих парків міста Одеса з використанням експериментального біосенсорного

біолюмінесцентного аналізу (табл. 4) їх класифіковано як ґрунти з низьким рівнем екологічної токсичності.

Таблиця 4 – Оцінка рівня екологічної токсичності проб ґрунтів окремих парків Одеси за результатами експериментального біосенсорного біолюмінесцентного аналізу
Table 4 – Assessment of the level of ecological toxicity of soil samples from certain parks in Odessa based on the results of experimental biosensor bioluminescent analyses

Ресстр зразків		Значення біосенсорних елементів (Е, відн.од.)			
№ проби	Місце відбору	CE1	CE2	CE3	Рівень екологічної токсичності
1	Парк Шевченка	1,24	1,34	1,27	низький
2	Парк Перемоги (точка 1)	1,52	1,33	1,42	низький
3	Парк Перемоги (точка 2)	1,40	1,45	1,47	низький

Порівняльний аналіз рівня екотоксичності зразків ґрунту окремих паркових зон міста Одеса з еталонною пробою

за результатами експериментального біосенсорного біолюмінесцентного аналізу наведено на рис. 1.

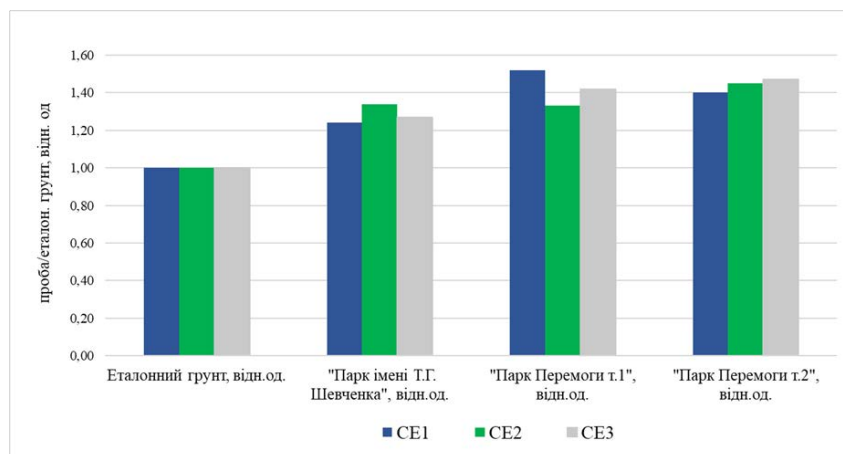


Рисунок 1 – Порівняльний аналіз рівня екотоксичності зразків ґрунту паркових територій м. Одеса за результатами експериментального біосенсорного біолюмінесцентного аналізу

Fig 1 – Comparative analysis of the level of ecotoxicity of soil samples from park areas of Odessa based on the results of experimental biosensor bioluminescent analysis

Оцінка потенційного екологічного ризику забруднення ґрунту важкими металами є однією з найбільш важливих складових ефективного управління екологічною безпекою територій, адже дає змогу виявити важливі шляхи надходження цих токсикантів до організму людини, визначити небезпеку забруднення ґрунтів з огляду впливу на здоров'я населення та класифікувати території за необхідністю природоохоронних заходів [7]. Наразі через недосконалість системи моніторингу досить складно сповна оцінити ситуацію щодо забруднення ґрунтів важкими металами.

Для оцінки екологічного ризику забруднення ґрунтового покриву важкими металами доречно використовувати індекс потенційного екологічного ризику Хакансона [8]. Як відомо, цей методичний підхід є одним із найпопулярніших методів, що застосовуються для оцінки екологічного ризику [9-11], адже індекс Хакансона враховує не лише вміст ВМ, але й їхні екологічні та токсикологічні особливості. Розрахунок цього індексу виконується за формулою (3):

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n (T_r^i \times C_f^i) = \sum_{i=1}^n \left(T_r^i \times \frac{C_i}{C_n^i} \right), \quad (3)$$

де C_f^i – індекс забруднення певним важким металом; C_i – концентрація важкого металу у ґрунтовому покриві; C_n^i – фонове значення

важкого металу в ґрунті; E_r^i – індивідуальний фактор екологічного ризику для окремого

важкого металу; T_r^i – коефіцієнт токсичності важкого металу; RI – загальний індекс потенційного екологічного ризику.

Розрахунок індексу потенційного екологічного ризику Хакансона складається з кількох важливих обчислювальних етапів, тому його необхідно виконувати у такій послідовності:

1) Розраховується індекс забруднення (C_f^i):

$$C_f^i = C_i / C_n. \quad (4)$$

2) Обчислюється індивідуальний фактор екологічного ризику для окремого важкого металу:

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i. \quad (5)$$

3) Виконується розрахунок загального індексу потенційного екологічного ризику (RI):

$$RI = \sum_{i=1}^n (T_r^i \times C_f^i). \quad (6)$$

Значення коефіцієнтів токсичності (T_r^i) для окремих важких металів наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів токсичності для окремих важких металів [11-12]

Table 5 – Values of toxicity coefficients for specific heavy metals [11-12]

ВМ	Zn	Mn	Cu	Ni	Pb	As	Cd	Hg
Коефіцієнт токсичності	1	2	5	5	5	10	30	40

Показники індивідуальних факторів екологічного ризику для окремого важкого металу та загальний індекс потенційного екологічного ризику класифіковані відповідно до критеріїв оцінки, що наведені у табл. 6, це дозволяє диференціювати отримані значення за

ступенем потенційної небезпеки від незначного до надзвичайно сильного рівня ризику. Ці показники дають змогу оцінити, наскільки концентрації важких металів перевищують природний фоновий рівень і якою мірою вони можуть становити загрозу для живих організмів.

Таблиця 6 – Критерії оцінки екологічного ризику [13]

Table 6 – Environmental risk assessment criteria [13]

Характеристика величини ризику	Незначний	Середній	Сильний	Дуже сильний	Надзвичайно сильний
E_r^i	<40	40-80	80-160	160-320	≥ 320
RI	<150	150-300	300-600	600-1200	≥ 1200

Як зазначено вище, важливе значення має розрахунок індексу забруднення ґрунту, оскільки він забезпечує інтегральну кількісну характеристику стану ґрунтового середовища, а також є складовою для оцінки потенційних екологічних ризиків. Дані щодо обчислення індексу забруднення ґрунтового покриття різних функціональних зон, а також окремих парків і скверів м. Одеса наведено у табл. 7 та 8.

Крім того, у табл. 7 представлено результати розрахунку значень індивідуального фактору екологічного ризику (для кожного окремого важкого металу) та значення загального індексу потенційного екологічного ризику для функціональних зон міста Одеса.

Як видно з результатів, найвищі показники загального індексу екологічного ризику (RI) характерні для промислової (27,19) та транспортної (10,19) функціональних зон міста Одеса, але, варто зауважити, що ці розрахункові

значення за характеристикою величини ризику відповідають категорії «незначний» (див. табл. 6), що свідчить про відносно низький рівень ризику для ґрунтового покриття на досліджуваних територіях.

За даними [5, 6] було проведено розрахунки індивідуального фактору екологічного ризику (для кожного окремого важкого металу) та загального індексу потенційного екологічного ризику для ґрунтів окремих парків та скверів міста Одеса (табл. 8).

В табл. 8 наведені значення індексу забруднення ґрунту, індивідуального фактору екологічного ризику (для кожного окремого важкого металу) та загального індексу потенційного екологічного ризику для окремих парків та скверів міста, які характеризуються найменшими рівнями техногенного навантаження порівняно з промисловою та

Таблиця 7 – Значення індексу забруднення ґрунту, індивідуального фактору екологічного ризику для окремих важких металів та значення загального індексу потенційного екологічного ризику для функціональних зон міста Одеса

Table 7 – Values of the soil pollution index, individual ecological risk factor for specific heavy metals, and the overall potential ecological risk index for the functional zones of the city of Odesa

Назва функціональної зони міста	Показник індексу забруднення ґрунту (C_i^f) / значення E_r^i			Загальний індекс екологічного ризику, RI
	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	
Транспортна	0,40/0,40	0,41/2,04	1,55/7,75	10,19
Рекреаційна	0,37/0,37	0,30/1,49	1,40/7,00	8,85
Промислова	1,33/1,33	0,47/2,33	4,70/23,52	27,19
Селітебна	0,94/0,94	0,04/0,21	1,58/7,88	9,03

транспортною функціональними зонами Одеси, а тому й значення загального екологічного ризику (RI) перебувають у діапазоні від 1,29 до 19,24, що відповідає незначній величині ризику (див. табл. 6); причому вищі значення

характерні для ділянок парків та скверів, які прилягають до зон із підвищеним рівнем техногенного навантаження (промислових об'єктів та автомагістралей).

Таблиця 8 – Значення індексу забруднення ґрунту, індивідуального фактору екологічного ризику (для кожного окремого важкого металу) та загального індексу потенційного екологічного ризику для окремих парків та скверів міста Одеса**Table 8** – Values of the soil pollution index, individual ecological risk factor (for each specific heavy metal), and the overall potential ecological risk index for certain parks and squares of the city of Odesa

№ ділянки	Показник індексу забруднення ґрунту (C_i^f) / значення E_r^i			Загальний індекс екологічного ризику, RI
	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	
1	3,90/3,90	0,01/0,03	0,35/1,75	5,68
2	0,21/0,21	0,03/0,17	0,53/2,65	3,03
3	0,24/0,24	0,04/0,20	0,47/2,36	2,80
4	0,61/0,61	0,05/0,24	3,87/19,33	20,19
5	0,30/0,30	0,03/0,17	2,91/14,53	15,00
6	0,01/0,01	0,05/0,25	0,20/1,02	1,29
7	0,57/0,57	0,02/0,09	0,35/1,74	2,41
8	1,41/1,41	0,05/0,25	0,75/3,75	5,40
9	0,40/0,40	0,05/0,25	3,72/18,58	19,24
10	0,62/0,62	0,06/0,29	2,99/14,96	15,87

Примітка: 1 – схили біля санаторію імені Чкалова; 2 – сквер біля Одеської обласної ради (під деревами); 3 – сквер біля Одеської обласної ради (трав'яниста рослинність, газон); 4 – «Дюківський сад» (Розкидайлівська, 69); 5 – парк «Дюківський сад»; 6 – меморіал 411 берегової батареї; 7 – парк «Аеропортівський»; 8 – парк Перемоги; 9 – парк Марка Твена; 10 – парк Шевченка.

4. ВИСНОВКИ

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Підвищені концентрації окремих важких металів у ґрунтовому покриву Одеси зафіксовані на ділянках промислової зони та прилеглих до автомагістралей з інтенсивним рухом автотранспортних засобів. Для ґрунтів на цих територіях зафіксовано забруднення переважно від слабкого до середнього рівня за значеннями Igeo.

2. На фоні техногенно-напружених частин міста Одеса особливе місце займають паркові зони та сквери, але в їхньому ґрунтовому покриві також зафіксовані перевищення значень гранично допустимих концентрацій для окремих важких металів. Для ґрунтів на ділянках у межах окремих парків та скверів Одеси, прилеглих до техногенно-напружених зон, за значеннями Igeo також зафіксовано ґрунти від слабкого до середнього рівня забруднення, а на інших ділянках, розташованих за межами впливу техногенних джерел, – чисті ґрунти.

3. За результатами біосенсорного біоломінесцентного аналізу зразків ґрунту паркових зон міста Одеса можна зазначити: не зафіксовано вираженого інгібування рівня люмінесценції мікробних клітин – основи сенсорних елементів, що свідчить про відсутність важких металів, токсичних для ґрунтових мікроорганізмів. Зафіксовано незначний рівень стимуляції люмінесценції мікробних клітин – основи сенсорних елементів, що може бути пов'язано із впливом підвищеного вмісту органічних речовин у досліджуваних зразках ґрунту.

4. Проаналізовані проби ґрунтів окремих парків і скверів міста Одеса характеризуються низьким рівнем екологічної токсичності, що відповідає низькому рівню забруднення за значеннями індексу геокумуляції.

5. Значення загального індексу потенційного екологічного ризику (RI) забруднення ґрунтів для промислової (27,19) та транспортної (10,19) функціональних зон Одеси належать до категорії незначної величини ризику.

6. Значення загального індексу потенційного екологічного ризику забруднення ґрунтів для окремих парків та скверів міста Одеса перебувають у діапазоні від 1,29 до 19,24, що відповідає незначній величині ризику, причому більш високі значення спостерігаються на ділянках парків та скверів, які розташовані поблизу зон з підвищеним рівнем техногенного навантаження (промислових об'єктів та автомагістралей з активним рухом автотранспорту).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Gall J.E., Boyd R.S., Rajakaruna N. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. Vol. 187 (4):201.
- Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / За ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Пашченко. Харків, 2023. URL: <https://digieduhack.com/challengesimages/assets/89> (дата звернення: 11.11.2025).
- Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*. 1969. Vol. 2. Pp. 108–118.
- Хохрякова А.І., Михайлюк В.І. Ґрунти міста Одеси: монографія. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2021. 146 с.
- Домусчи С.В. Чинники і географія забруднення ґрунтів Одеської міської та приміської зон: дис. ... д-ра філософії: 106 «Географія». Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. Одеса, 2023. 225 с.
- Safranov T., Nikipelova O., Shelinhovskiy D. Assessment of heavy metal pollution levels in soils of specific areas of the Odessa industrial-urban agglomeration. *Journal Environmental Problems*. 2025. Vol. 10 (3), Pp. 269–275.
- Некос А. Н., Безсонний В. Л., Захарова М. А., Солдатенко М. А. Оцінка екологічного ризику, обумовленого забрудненням ґрунтів. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2024: зб. мат. XXVI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 17-18 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 96–98.
- Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 1980. Vol. 14 (8). Pp. 975–1001.
- Zuwei W., Zeng X. Health Risks of Heavy Metals Uptake by Crops Grown in a Sewage Irrigation Area in China. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2015. Vol. 24 (3). Pp. 1379–1386.
- Dai J.R., Pang X.G., Song J.H., Dong J., Hu X.P., Li X.P. A study of geochemical characteristics and ecological risk of elements in soil of urban and suburban areas of Zibo City, Shandong Province. *Geology in China*. 2018. Vol. 45 (3). Pp. 617–627.
- Zhang Y., Gui H., Huang Y., Yu H., Li J., Wang M. et al. Characteristics of Soil Heavy Metal Contents and its Source Analysis in Affected Areas of Luning Coal Mine in Huaibei Coalfield. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2021. Vol. 30 (2). Pp. 1465–1476.
- Li Z., Jiang Y., Zu Y., Mei X., Qin L., Li B. Effects of Lime Application on Activities of Related Enzymes and Protein Expression of Saponin Metabolism of *Panax notoginseng* under Cadmium Stress. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2020. Vol. 29 (6), Pp. 4199–4211.
- Sun Q., Sun Z., Xing W., Hao G., Li X., Du J., Li C., Tian H., Li X. Ecological Health Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil of Changchun New Area. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2021. Vol. 30 (6). Pp. 5775–5787.

REFERENCES

- Gall, J.E., Boyd, R.S. & Rajakaruna, N. (2015). Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 187(4), 201.
- Fateev, A.I. & Pashchenko, Ya. V. (eds.) (2003). Background content of microelements in soils of Ukraine. Kharkiv. URL: <https://digieduhack.com/challenges-images/assets/89> [in Ukrainian].
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*. Vol. 2, pp. 108–118.
- Khokhryakova, A.I. & Mykhailiuk, V.I. (2021). Soils of the city of Odessa: monograph. Odessa: Helvetica Publishing House, 127 p. [in Ukrainian].
- Domuschy, S.V. (2023). Factors and geography of soil pollution in Odessa urban and suburban areas. Dissertation ... doctor of philosophy 106 “Geography”. Odessa I.I. Mechnikov National University. Odessa. 225 p. [in Ukrainian].
- Safranov, T., Nikipelova, O. & Shelinhovskiy, D. (2025). Assessment of heavy metal pollution levels in soils of specific areas of the Odessa industrial-urban agglomeration. *Journal of Environmental Problems*. Vol. 10(3), pp. 269–275.
- Nekos, A.N., Bezsonnyi, V.L., Zakharova, M.A. & Soldatenko, M.A. (2024). Assessment of environmental risk caused by soil pollution. Ecology, environmental protection and balanced use of nature: education – science – production – 2024. Proceedings of the XXVI International scientific and practical conference (Kharkiv, 17–18 April 2024). V.N. Karazin KhNU. Kharkiv. Pp. 96–98. [in Ukrainian].
- Håkanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. Vol. 14(8), pp. 975–1001.
- Zuwei, W. & Zeng, X. (2015). Health risks of heavy metals uptake by crops grown in a sewage irrigation area in China. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 24(3), pp. 1379–1386.
- Dai, J.R., Pang, X.G., Song, J.H., Dong, J., Hu, X.P. & Li, X.P. (2018). A study of geochemical characteristics and ecological risk of elements in soil of urban and suburban areas of Zibo City, Shandong Province. *Geology in China*. Vol. 45(3), pp. 617–627.
- Zhang, Y., Gui, H., Huang, Y., Yu, H., Li, J. & Wang, M. et al. (2021). Characteristics of soil heavy metal contents and its source analysis in affected areas of Luning Coal Mine in Huaibei Coalfield. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 30(2), pp. 1465–1476.
- Li, Z., Jiang, Y., Zu, Y., Mei, X., Qin, L. & Li, B. (2020). Effects of lime application on activities of related enzymes and protein expression of saponin metabolism of *Panax notoginseng* under cadmium stress. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 29(6), pp. 4199–4211.
- Sun, Q., Sun, Z., Xing, W., Hao, G., Li, X., Du, J., Li, C., Tian, H. & Li, X. (2021). Ecological health risk assessment of heavy metals in farmland soil of Changchun New Area. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 30(6), pp. 5775–5787.

PECULIARITIES OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF THE SOIL COVER IN THE CITY OF ODESA

D. V. Shelinhovskiy, T. A. Safranov

*Odesa I. I. Mechnikov National University
2 V. Zmiiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine,
safraanov@ukr.net, d.v.shelinhovskiy@ukr.net*

Among the substances that pollute the environment of urbanized areas, particularly the soil cover, a special place is occupied by heavy metals, which are usually defined as metals with an atomic mass exceeding 50 atomic mass units and a density greater than 5 g/cm³. Depending on the sources of entry into the soil cover and the properties of soils, heavy metals associated with the characteristics of parent rocks are distinguished from those entering the soil cover as a result of anthropogenic activity. Pollution with heavy metals contributes to a decrease in soil porosity and adversely affects the processes of air, water, and nutrient circulation. Unlike the more dynamic atmospheric and surface water environments, where active self-purification processes take place, the soil cover practically lacks such an ability; the processes of purification from heavy metals occur very slowly, only through leaching, plant uptake, and water erosion, which determines the long-term ecological hazard in urbanized territories. Therefore, the aim of this study is to analyze the peculiarities of heavy metal contamination in the soil cover of a city whose territory is characterized by rather diverse soil-geochemical conditions. In the process of intensive urbanization, the soil cover has been exposed to numerous anthropogenic factors, resulting in changes in its physicochemical properties and increased concentrations of heavy metals. Analysis of previously conducted studies shows that the most contaminated soils with certain heavy metals (Pb, Zn, Cu, Co) are those of industrial zones and areas adjacent to highways with heavy traffic. Among these technogenically stressed areas of urban territory, a special place is occupied by park and square areas, where the recorded concentrations of lead and zinc exceed background levels, while copper content at all sites remains below the background concentration. However, the calculated range of geoaccumulation index values for these heavy metals corresponds to soil contamination levels ranging from low to moderate, depending on the distance of the sites from sources of technogenic pollution. According to the results of experimental biosensor bioluminescent analysis of the studied soils from certain parks and squares of the city of Odesa, no pronounced inhibition of luminescence levels in microbial cells, which constitute the basis of sensor elements, was detected. This indicates the absence of substances toxic to soil microorganisms. During the analysis, a slight stimulation of microbial cell luminescence was recorded, which may be associated with the influence of an increased content of organic components in the soil samples; the analyzed soil samples were classified as having a low level of ecological toxicity, corresponding to their contamination level as indicated by the geoaccumulation index. The highest calculated values of the total ecological risk index (RI) are characteristic of the industrial (27.19) and transport (10.19) functional zones of Odesa, and these indicators correspond to a minor risk magnitude.

Keywords: heavy metals, pollution, soil cover, ecological risk.

*Подання до редакції : 28. 11. 2025
Надходження остаточної версії : 09. 12. 2025
Публікація статті : 23. 12. 2025*

УДК 502/504+502.3/.7

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ПОВІТРЯНИЙ БАСЕЙН (НА ПРИКЛАДІ ОДЕСЬКОЇ ПРОМИСЛОВО-МІСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ)

А. В. Чугай, М. Ю. Донцов, Т. В. Лавров, М. О. Шапочка

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна
avchugai@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0002-8091-8430>

Одеська промислово-міська агломерація сформована навколо міста Одеса і включає частину прилеглих населених пунктів, які тісно пов'язані з обласним центром. Вказана територія – найбільший портово-промисловий комплекс в Україні, розташований на північно-західному узбережжі Чорного моря. Важливою проблемою для Одеської промислово-міської агломерації є питання забезпечення належної якості атмосферного повітря, оскільки дана територія також виконує рекреаційні функції. Метою дослідження є оцінка техногенного впливу на повітряний басейн Одеської промислово-міської агломерації із застосуванням різних методичних підходів. Визначено, що найбільші значення коефіцієнту екологічної шкоди $K_{ЕШ}$ відзначаються для міста Одеса. Рівень екологічної безпеки промисловості у містах Чорноморськ і Південне значно краще порівняно з Одесою. Найкращі умови екологічної безпеки відзначаються у містах Теплодар і Біляївка. За значенням інтегрального показника екологічного стану $Патм$ міста Одеса, Чорноморськ і Південне характеризуються приблизно порівняними значеннями. Значення $Патм$ для міст Теплодар і Біляївка на 2 порядки нижче. Тенденція зміни модуля техногенного навантаження на повітряний басейн $M_{ПБ}$ повністю відповідає тенденції зміни показника $Патм$ для окремих міст Одеської промислово-міської агломерації. Запропоновано бальну оцінку для визначення рівня техногенного навантаження на повітряний басейн. Отримано, що групу з максимальними бальними оцінками формують міста Одеса, Чорноморськ і Південне, групу з мінімальними – Теплодар і Біляївка. Сумарний техногенний вплив з урахуванням екологічної шкоди переважно формується за рахунок трьох міст – Одеса, Чорноморськ і Південне. Ці три міста також є основними при оцінці з урахуванням еколого-економічної складової території. За значенням $M_{ПБ}$ переважний сумарний вплив формується за рахунок чотирьох міст Одеської промислово-міської агломерації.

Ключові слова: промислово-міська агломерація, повітряний басейн, методика, техногенний вплив.

1. ВСТУП

Одеська промислово-міська агломерація (ПМА) – велика урбанізована територія, яка сформована навколо м. Одеса і включає прилеглі населені пункти, тісно пов'язані з ним економічно, соціально й транспортно. До складу Одеської ПМА входять міста Чорноморськ, Південне, Біляївка і Теплодар. В цілому розвиток агломерацій є одним з пріоритетних напрямів регіональної політики в Україні. Так, у документі [1] зазначено, що згідно «Державної стратегії регіонального розвитку (зі змінами від 13.08.2024) в рамках Стратегічної цілі «Формування згуртованої держави в соціальному, гуманітарному, економічному, кліматичному, екологічному, безпековому та просторовому вимірах», Оперативної цілі 1 «Забезпечення інтегрованого розвитку територій з урахуванням інтересів майбутніх поколінь» за

напрямом «Стимулювання розвитку територій» визначено завдання «Створення законодавчої основи функціонування та розвитку агломерацій, забезпечення збалансованого просторового розвитку територій, що входять до їх складу». Також зазначено, що «агломерації – територіальні скупчення населених пунктів (насамперед міст), що формують цілісні суспільно-територіальні утворення з чисельністю населення понад 500 тис. осіб. Агломерації є територіями концентрації населення, капіталу та бізнесу і мають інтенсивні господарські, трудові, культурно-побутові зв'язки з навколишніми територіями, характеризуються високим рівнем розвитку інфраструктури, економіки, надання послуг населенню» [1].

Важливою проблемою для Одеської ПМА є питання забезпечення належної якості атмосферного повітря, оскільки дана територія

також виконує рекреаційні функції. За останні більше ніж 10 років через анексію росією території Криму м. Одеса і Одеська область в цілому виконують функції одного з головних морських курортів на території України.

Питання сталого розвитку урбанізованих екосистем на прикладі Одеської ПМА розглянуто авторами роботи [2]. Було зазначено, що для покращення стану повітряного басейну необхідно застосувати ряд заходів, серед яких основними можна визначити такі:

- модернізація системи моніторингу атмосферного повітря;
- розміщення за межами території ПМА підприємств, які не можна перепрофілювати;
- оптимізація транспортних потоків;
- підвищення вимог щодо технічного стану транспортних засобів.

У квітні 2025 р. обговорювалось питання нового етапу розвитку Одеської ПМА. У документі [3] зазначено, що до складу агломерації можуть увійти 22 територіальні громади Одеського району, які включають 155 населених пунктів. Це дозволить ефективно об'єднати ресурси та спільно вирішувати нагальні питання в межах агломерації.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для оцінки рівня техногенного навантаження на повітряний басейн можна застосовувати різні методичні підходи.

Одним з показників інтегральний коефіцієнт екологічної шкоди $K_{ЕШ}$ – показник, який відображає умовну середню екологічну шкоду довкіллю від господарської діяльності підприємства:

$$K_{ЕШ} = \sqrt[n]{\frac{B_1}{ГДК_1} \cdot \frac{B_2}{ГДК_2} \cdot \dots \cdot \frac{B_n}{ГДК_n}}, \quad (1)$$

де $B_1, B_2, \dots, B_n$ – фактичні обсяги викидів i -ої забруднюючої речовини (ЗР) в атмосферне повітря та/або скидів у водні об'єкти, та/або розміщення відходів, та/або утворення радіоактивних відходів» [4].

Вважається, що чим нижче значення даного показника, тим вище рівень екологічної безпеки підприємства [4]. Нами виконана спроба визначити коефіцієнт для міста в цілому, а не для окремого підприємства.

Іншим показником є інтегральний бальний показник екологічного стану [5], який включає в тому числі інтегральний показник стану атмосферного повітря:

$$П_{атм} = 0,001 \cdot m \cdot I, \quad (2)$$

де $П_{атм}$ – визначається у тонах умовного навантаження (т.у.н.); m – фактична маса викиду шкідливих речовин за рік усіма джерелами на території досліджуваного регіону, тис. т; I – регіональний коефіцієнт, що враховує рівень впливу соціально-економічних і природно-кліматичних факторів, еколого-економічні наслідки техногенного навантаження по регіонах України [3].

Коефіцієнт I визначається згідно рекомендацій, наведених у [6].

Ще одним методичним підходом, який можна застосовувати для оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн, є розрахунок модуля техногенного навантаження на повітряний басейн ($M_{ПБ}$) за показниками обсягів викидів ЗР від стаціонарних і пересувних джерел. Модуль розраховується як відношення обсягу викидів ЗР за рік (тис. т) до площі території дослідження (км^2). Може розраховуватися як окремо за показниками викидів від різних груп джерел, так і за сумарними показниками викидів ЗР [7].

В якості вихідних даних були використані дані Регіональних доповідей про стан навколишнього середовища в Одеській області [8], а також надані офіційно матеріали Головного управління статистики в Одеській області. Розрахунок проводився по показникам викидів чотирьох ЗР (пил, діоксид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю), інформація по яких присутня в офіційних статистичних даних за 2012 – 2021 рр. Починаючи з 2022 р. у період військових дій така інформація була відсутня.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На основі наявних вихідних даних було проведено розрахунки окремих показників техногенного навантаження на міста Одеської ПМА.

Найбільші показники $K_{ЕШ}$ відзначаються для центра агломерації – м. Одеса. Максимум спостерігався у 2012 р. У 2013 – 2015 рр. відзначалось суттєве зменшення значень коефіцієнта. Станом на 2021 р. показник $K_{ЕШ}$ знаходився на рівні 2015 р. Тобто у місті відбулося значне покращення стану екологічної безпеки промисловості. Значення $K_{ЕШ}$ для міст Чорноморськ і Південне характеризуються приблизно однаковими показниками. Максимум

у м. Чорноморськ відзначено у 2013 р., що спричинено значними обсягами викидів діоксиду азоту, у м. Південне – у 2014 р. за рахунок збільшення обсягів викидів діоксиду сірки і оксиду вуглецю. Рівень екологічної безпеки промисловості у цих містах значно краще порівняно з м. Одеса. Найкращі умови екологічної безпеки відзначаються у містах Теплодар і Біляївка.

На нашу думку, загальне покращення стану екологічної безпеки промисловості у містах Одеської ПМА, в першу чергу у м. Одеса, може частково бути пов'язано з впровадженням природоохоронних заходів за останні 10 – 15 років. Але більшою мірою це може бути і наслідком спаду виробництва в країні за останні 10 років.

Дані розрахунку показника $K_{ЕШ}$ були розподілені на 2 періоди (2012 – 2016 і 2017 – 2021 рр.) і осереднені (рис. 1).

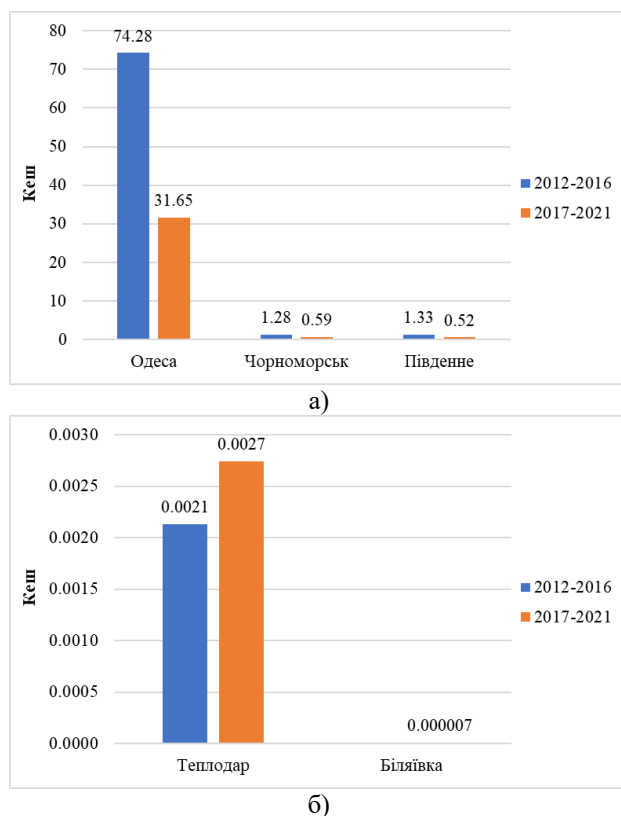


Рис. 1 – Осереднені значення $K_{ЕШ}$ для міст Одеської ПМА
Fig. 1 – Average values of CED for cities in the Odesa industrial-urban agglomeration

Отримано, що у містах Одеса, Чорноморськ і Південне рівень екологічної безпеки промисловості у 2017 – 2021 рр. збільшився в середньому в 2 рази. При цьому у м. Теплодар, де показники екологічної безпеки значно високі, відзначалось погіршення стану у цей же період.

Для м. Біляївка розрахунковий період складає лише 2017 – 2022 рр., і значення $K_{ЕШ}$ тут мінімальні серед усіх міст Одеської ПМА. Це є закономірним, оскільки територія Біляївської громади – частково територія природно-заповідного фонду.

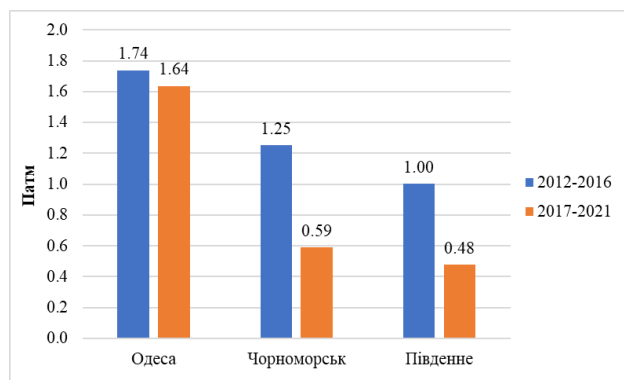
Окремі результати щодо оцінки стану повітряного басейну в Одеській ПМА за показником $K_{ЕШ}$ наведені у роботі [9].

За значенням $Патм$ міста Одеса, Чорноморськ і Південне характеризуються приблизно порівняними величинами. У м. Одеса мінімум відзначено у 2015 р. Проте за період дослідження суттєвих змін не відбувалось. У м. Чорноморськ відзначено максимум у 2013 р. з подальшим різким зменшенням показника. Місто Південне також характеризується максимумом у 2013 р. Починаючи з 2014 р. відбувалось поступове зменшення показника до мінімальних значень у 2017 – 2018 рр. Значення $Патм$ для міст Теплодар і Біляївка на 2 порядки нижчі, ніж для вище вказаних міст Одеської ПМА. В обох містах відзначено загальну тенденцію до зменшення показника за період дослідження.

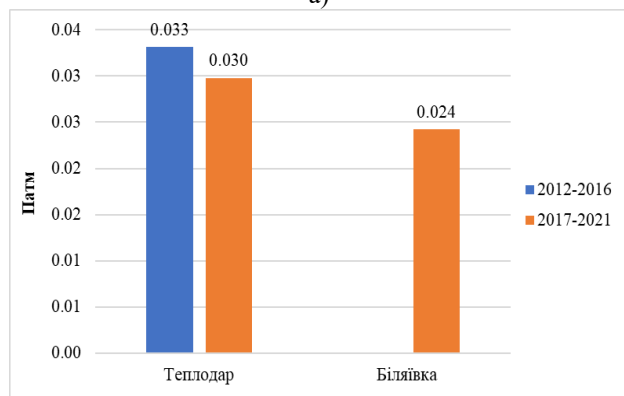
Осереднені значення $Патм$ для міст Одеської ПМА (рис. 2) свідчать, що для м. Одеса значення $Патм$ фактично не змінилось. Для міст Чорноморськ і Південне відзначається зменшення техногенного навантаження в середньому в 2 рази. Не змінився рівень техногенного впливу на атмосферне повітря і у м. Теплодар за період дослідження. Мінімальні показники техногенного впливу за значенням $Патм$ відзначаються для м. Біляївка, максимальні – для м. Одеса.

Отримані результати розрахунку $М_{ПБ}$ показали, що тенденція зміни даного показника повністю відповідає тенденції зміни показника $Патм$. Такий результат свідчить про те, що при оцінці рівня техногенного навантаження на повітряний басейн можна використовувати один з цих двох показників.

Більш цікавим при оцінці за значенням $М_{ПБ}$ є порівняння обсягів викидів ЗР і отриманих результатів оцінки техногенного навантаження (рис. 3). Як видно, серед найбільш техногенно напружених міст агломерації (Одеса, Чорноморськ, Південне) відзначається зворотна



а)



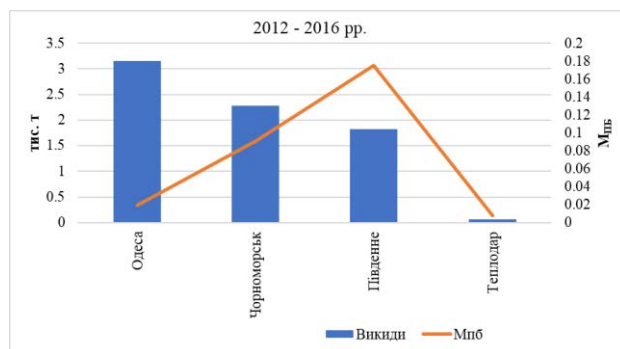
б)

Рис. 2 – Осереднені значення $Patm$ для міст Одеської ПМА
Fig. 2 – Average values of $Patm$ for cities in the Odessa industrial-urban agglomeration

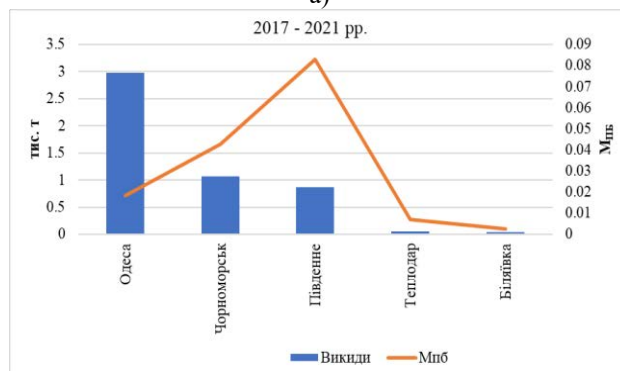
залежність. При показниках викидів, які є максимальними для м. Одеса, мінімальні значення $M_{ПБ}$ відзначаються також для м. Одеса. І навпаки, при мінімальних обсягах викидів у м. Південне тут відзначено максимальні показники навантаження за значенням $M_{ПБ}$. Ця ситуація відзначається для обох періодів осереднення (2012 – 2016 рр., 2017 – 2021 рр.). Результати, отримані для міст Теплодар і Біляївка, є в цілому закономірними.

Зазначимо, що розрахунок $M_{ПБ}$ саме спрямований на порівняльний аналіз рівня техногенного навантаження на повітряний басейн. Тобто в даному випадку важливим показником є не лише обсяги викидів ЗР, а й площа території, для якої виконується оцінка.

Узагальнення результатів оцінки за значеннями $M_{ПБ}$ (рис. 4) показало, що при загальній тенденції відповідності значень показника $M_{ПБ}$ показнику $Patm$ є й деякі особливості. Так, на відміну від значення $Patm$ для м. Біляївка за показником $M_{ПБ}$ відзначається більш високе значення порівняно з м. Теплодар, яке знаходилось у групі з меншими показниками техногенного навантаження. Якщо за значенням $Patm$ показники навантаження суттєво не



а)



б)

Рис. 3 – Обсяги викидів ЗР і значення $M_{ПБ}$ для міст Одеської ПМА

Fig. 3 – Pollutant emission volumes and MAB values for cities in the Odessa industrial-urban agglomeration

відрізнялись, то за значенням $M_{ПБ}$ рівень навантаження у м. Біляївка нижче більше, ніж в два рази порівняно з м. Теплодар.

Всі параметри, які були нами застосовані для оцінки, дещо різняться. Хоча основним показником, який використовується для оцінки, є обсяг викидів ЗР. З метою уніфікації отриманих результатів нами було проведено нормування розрахункових значень трьох параметрів оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн. З цією метою був застосований принцип лінійного нормування для отримання бальної оцінки. Всі отримані розрахункові значення параметрів були нормовані із застосуванням формули:

$$p = 10 \frac{p_i - p_{min}}{p_{max} - p_{min}}, \quad (3)$$

де p – нормоване значення параметра; p_i – значення i -го параметру; p_{min} і p_{max} – відповідно мінімальне і максимальне значення в ряду.

Отримані результати є досить різномірними. Зрозуміло, що при формуванні бальної оцінки вихідна інформація щодо обсягів викидів ЗР суттєво різнилась для окремих міст Одеської ПМА. Групу з максимальними бальними

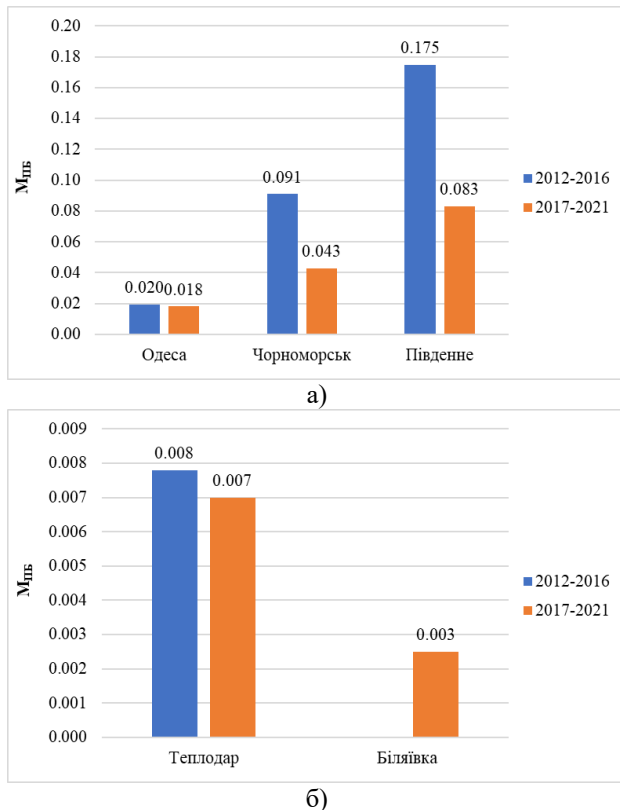


Рис. 4 – Осереднені значення M_{AB} для міст Одеської ПМА
Fig. 4 – Average values of M_{AB} for cities in the Odessa industrial-urban agglomeration

оцінками формують міста Одеса, Чорноморськ і Південне, групу з мінімальними – Теплодар і Біляївка. Серед окремих показників максимум відзначено для м. Одеса у 2012 р. за значенням $K_{ЕШ}$, для м. Чорноморськ – у 2013 р. за значеннями $Патм$ та $M_{ПБ}$, мінімальні – для м. Біляївка за всіма показниками (2018 і 2020 рр.).

З урахуванням отриманих результатів і аналізу літературних джерел нами було запропоновано оціночну шкалу для визначення рівня техногенного впливу на повітряний басейн (табл. 1). Було виділено 4 рівня навантаження: низький, середній, підвищений і високий.

Таблиця 1 – Бальна оцінка визначення рівня техногенного навантаження на повітряний басейн

Table 1 – Point assessment of determining the level of technogenic load on the air basin

Бал	Рівень навантаження
0 – 1	низький
> 1 – 3	середній
> 3 – 6	підвищений
> 6 – 10	високий

Всі отримані розрахункові бальні значення показників були також об'єднані у два періоди, і визначено рівень техногенного навантаження за кожним розрахованим показником (табл. 2).

Таблиця 2 – Техногенне навантаження на повітряний басейн міст Одеської ПМА на основі бальної оцінки

Table 2 – Technogenic load on the air basin of cities in the Odessa industrial-urban agglomeration based on a point assessment

Місто	Рік	$K_{ЕШ}$	$Патм$	$M_{ПБ}$
Одеса	2012 – 2016	підвищений	підвищений	низький
	2017 – 2022	середній	підвищений	низький
Чорноморськ	2012 – 2016	низький	підвищений	підвищений
	2017 – 2022	низький	середній	середній
Південне	2012 – 2016	низький	середній	високий
	2017 – 2022	низький	середній	підвищений
Теплодар	2012 – 2016	низький	низький	низький
	2017 – 2022	низький	низький	низький
Біляївка	2017 – 2022	низький	низький	низький

Так, для більшості міст Одеської ПМА за значенням показника $K_{ЕШ}$ відзначається низький рівень техногенного впливу. Лише для м. Одеса рівень відповідає категоріям «підвищений» і «середній». За значенням показника $Патм$ для міст з більшим промисловим потенціалом (Одеса, Чорноморськ і Південне) відзначається підвищений і середній рівень техногенного впливу, для двох інших міст – низький. Стосовно показника $M_{ПБ}$, то ситуація дещо різниться. Так, до групи з низьким рівнем техногенного впливу увійшли міста Одеса, Теплодар і Біляївка. Місто Чорноморськ

характеризувалось двома категоріями навантаження – підвищений і середній рівень, а м. Південне – категоріями високого і підвищеного рівня техногенного навантаження.

Порівняльний аналіз сумарного техногенного впливу на повітряний басейн Одеської ПМА наведено на рис. 5. Отримано, що показники впливу з урахуванням екологічної шкоди переважно формуються за рахунок трьох міст – Одеса, Чорноморськ і Південне. При цьому «лідером» є м. Одеса. Ці три міста також є основними при формуванні техногенного навантаження з урахуванням еколого-

економічної складової території (Патм). Більше 40 % впливу також формується у м. Одеса. Стосовно показника $M_{ПБ}$, то переважний сумарний вплив формується за рахунок чотирьох міст Одеської ПМА з урахуванням м. Теплодар. При цьому «лідером» у формуванні загального впливу є м. Південне.

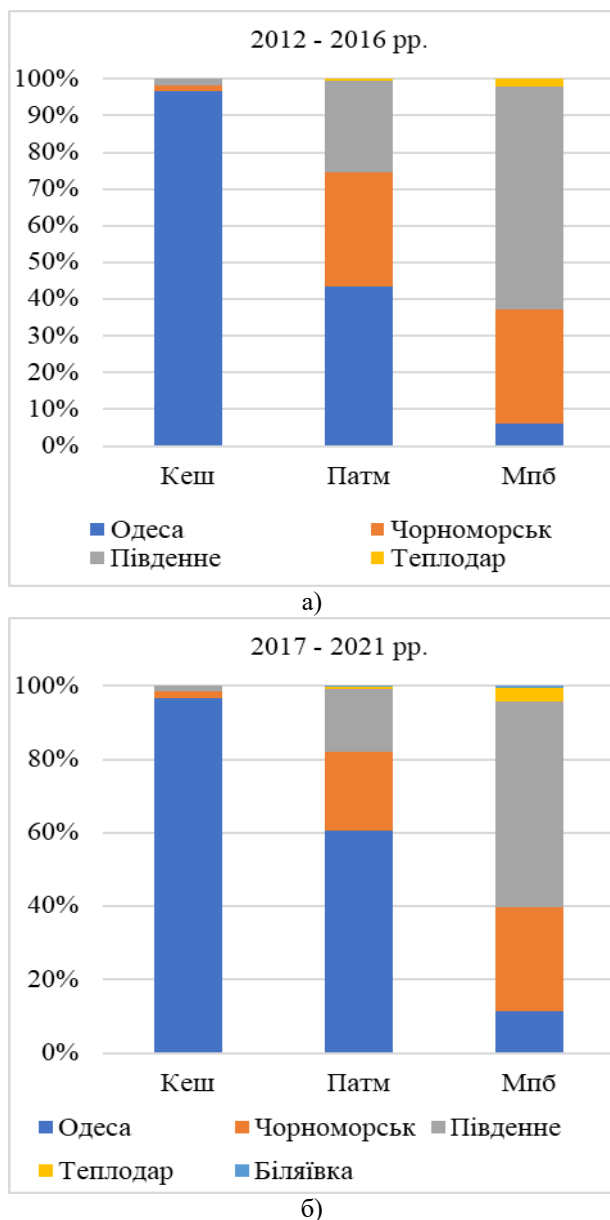


Рис. 5 – Сумарний техногенний вплив на повітряний басейн Одеської ПМА

Fig. 5 – Total technogenic impact on the air basin of the Odesa industrial-urban agglomeration

4. ВИСНОВКИ

Отримані результати свідчать, що використання будь-якого показника надає можливість отримати оцінку саме з урахуванням фізичної сутності показника. Ця залежність дуже добре прослідковується при порівнянні

показників $M_{Патм}$ і $M_{ПБ}$. Динаміка їх зміни, як було зазначено вище, майже ідентична. Складовою, яка змінюється при визначенні $M_{Патм}$, є лише обсяг викидів ЗР. А при визначенні $M_{ПБ}$ також враховується площа населеного пункту, що й сформувало отримані результати.

Виконане дослідження є також спробою порівняльного аналізу різних методик, які можуть сьогодні використовуватися для оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Звіт про дослідження перспектив формування Одеської агломерації. URL: <https://rm.coe.int/zvit-pro-doslidzhennia-formuvannia-odeskoi-aglomeratsii/1680b314a2> (дата звернення: 10.12.2024 р.).
2. Safranov T., Chugai A., Kolisnyk A., Lavrov T., Mozgovyy A. The Environmental Component of Sustainable Development Potential in the Odesa Industrial-Urban Agglomeration. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25, Issue 9. P. 116 – 129.
3. Створення агломерації Одеського району: нові можливості для розвитку. URL: <https://omr.gov.ua/ua/news/241215/> (дата звернення: 10.04.2025 р.).
4. Радевич Т.В., Ночовна Ю.О., Самбурська Н.І. Моделювання інтегрального показника загального рівня екологічної безпеки підприємства. *Економічний аналіз*. 2017. Т. 27. № 2. С. 182 – 191.
5. Хлобистов Є.В., Жарова Л.В., Кобзар О.М. Екологічна безпека стратегічного потенціалу динаміки розвитку продуктивних сил регіонів України. *Механізм регулювання економіки*. 2008. № 3. Т. 2. С. 206 – 214.
6. Теліженко О.М., Древаль О.Ю., Павленко О.О., Хлобистов Є.В., Жарова Л.В. Визначення інтегральних показників якості атмосферного повітря на основі розрахунку приведенного навантаження на комплекс реципієнтів для окремих квадратів сітки ЕМЕР. *Вісник СумДУ. Серія: Економіка*. 2008. № 1. С. 58 – 67.
7. Чугай А.В., Сафранов Т.А. Методи оцінки техногенного впливу на довкілля. Навчальний посібник. Одеса: Букаєв Вадим Вікторович, 2021. 118 с.
8. Департамент екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації. URL: <https://ecology.od.gov.ua/zvity/> (дата звернення: 10.04.2025).
9. Чугай А.В., Донцов М.Ю., Кошелев В.Д. Оцінка екологічної безпеки міст Одеської промислово-міської агломерації. *Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Трансформаційні підходи до сталого розвитку: екологічна освіта, наука та природоохоронні практики для відбудови України»*. Житомир: Житомирська політехніка, 2025. С. 15 – 16.

REFERENCES

1. Zvit pro doslidzhennia perspektiv formuvannia Odeskoi ahlomeratsii [Report on prospects of forming the Odesa agglomeration]. Retrieved from: <https://rm.coe.int/zvit-pro-doslidzhennia-formuvannia-odeskoi-aglomeratsii/1680b314a2> (in Ukr.).

2. Safranov, T., Chugai, A., Kolisnyk, A., Lavrov, T., & Mozgovyy, A. (2024). The environmental component of sustainable development potential in the Odesa industrial-urban agglomeration. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(9), pp. 116–129.
3. Stvorennia ahlomeratsii Odeskoho raionu: novi mozhlyvosti dlia rozvytku [Creation of Odesa district agglomeration: New development opportunities]. Retrieved from: <https://omr.gov.ua/ua/news/241215/> (in Ukr.).
4. Radevych, T. V., Nochovna, Yu. O., & Samburska, N. I. (2017). Modeliuvannya intehrlnoho pokaznyka zahalnoho rinvnia ekolohichnoi bezpeky pidpriemstva [Modeling the integral indicator of the general level of ecological safety of an enterprise]. *Ekonomichniy analiz*, 27(2), pp. 182–191. (in Ukr.).
5. Khlobystov, Ye. V., Zharova, L. V., & Kobzar, O. M. (2008). Ekolohichna bezpeka stratehichnoho potentsialu dynamiky rozvytku produktyvnykh syl rehioniv Ukrainy [Environmental safety of the strategic potential of the dynamics of development of productive forces of Ukrainian regions]. *Mekhanizm rehuliuвання ekonomiky*, 3(2), pp. 206–214. (in Ukr.).
6. Telizhenko, O. M., Dreval, O. Yu., Pavlenko, O. O., Khlibystov, Ye. V., & Zharova, L. V. (2008). Vyznachennia intehrlnykh pokaznykiv yakosti atmosferneho povitria na osnovi rozrakhunku pryvedenoho navantazhennia na kompleks retsyipyentiv dlia okremykh kvadrativ sitky EMER [Determination of air quality integral indicators based on the calculation of the reduced load on the complex of recipients for individual EMER grid squares]. *Visnyk SumDU. Seriya: Ekonomika*, 1, pp. 58–67. (in Ukr.).
7. Chugai, A. V., & Safranov, T. A. (2021). *Metody otsinky tekhnogennoho vplyvu na dovkillia [Methods for assessing technogenic impact on the environment]*. Odesa: Bukayev Vadym Viktorovych. (in Ukr.).
8. Department of Ecology and Natural Resources of Odesa Regional State Administration. *Zvity [Reports]*. Retrieved from: <https://ecology.od.gov.ua/zvity/>. (in Ukr.).
9. Chugai, A. V., Dontsov, M. Yu., & Koshelev, V. D. (2025). Otsinka ekolohichnoi bezpeky mist Odeskoi promyslovomiskoi ahlomeratsii [Assessment of environmental safety of cities of the Odesa industrial-urban agglomeration]. In *Transformatsiini pidkhody do staloho rozvytku: ekolohichna osvita, nauka ta pryrodookhoronni praktyky dlia vidbudovy Ukrainy*. Zhytomyr: Zhytomyrska Politehnika, pp. 15–16. (in Ukr.).

METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSING THE TECHNOGENIC IMPACT ON THE AIR BASIN (ON THE EXAMPLE OF THE ODESA INDUSTRIAL-URBAN AGGLOMERATION)

A. Chugai, M. Dontsov, T. Lavron, M. Shapochka

Odesa I. I. Mechnikov National University
2 V. Zmiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine
avchugai@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0002-8091-8430>

The Odesa industrial and urban agglomeration is formed around the city of Odesa and includes part of the surrounding settlements that are closely connected with the regional center. This territory is the largest port and industrial complex in Ukraine, located on the North Western coast of the Black Sea. An important issue for the Odesa industrial and urban agglomeration is ensuring adequate air quality, as this territory also serves recreational purposes. The purpose of the study is to assess the technogenic impact on the air basin of the Odesa industrial-urban agglomeration using various methodological approaches. It has been determined that the highest values of the environmental damage coefficient C_{ED} are observed for the city of Odesa. The level of environmental safety of industry in the cities of Chornomorsk and Pivdenne is significantly better than in Odesa. The best conditions for environmental safety are observed in the cities of Teplodar and Bilyayivka. In the value of the integral indicator of the environmental state $Patm$ the cities of Odesa, Chornomorsk, and Pivdenne are characterized by approximately comparable values. The $Patm$ values for the cities of Teplodar and Bilyayivka are two orders of magnitude lower. The trend in the change in the module of technogenic load on the air basin of the M_{AB} fully corresponds to the trend in the change in the $Patm$ indicator for individual cities of the Odesa industrial-urban agglomeration. A point rating is proposed to determine the level of technogenic load on the air basin. It was obtained that the group with the highest scores is formed by the cities of Odesa, Chornomorsk, and Pivdenne, while the group with the lowest scores is formed by Teplodar and Bilyayivka. The total technogenic impact, taking into account environmental damage, is mainly formed by three cities: Odesa, Chornomorsk, and Pivdenne. These three cities are also the main ones in the assessment, taking into account the ecological and economic components of the territory. In terms of M_{AB} values, the predominant total impact is formed by four cities of the Odesa industrial and urban agglomeration.

Key words: industrial-urban agglomeration, air basin, methodology, technogenic impact.

Подання до редакції : 28. 11. 2025
Надходження остаточної версії : 15. 12. 2025
Публікація статті : 23. 12. 2025

УДК504.06:339.9(477:4-672.7)

ВИКОНАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ УГОДИ ПРО АСОЦІАЦІЮ УКРАЇНА–ЄС: СТАН ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

О. Г. Владимірова, О. Ю. Сапко

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна,
veg2008@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5114-6550>

У статті здійснено комплексне дослідження процесу реалізації екологічної складової Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, яка є ключовим елементом у системі євроінтеграційних реформ держави. З 1 вересня 2017 р., після набуття Угодою чинності в повному обсязі, Україна отримала чіткі зобов'язання щодо гармонізації національного законодавства з правом ЄС, зокрема у сфері охорони довкілля. У роботі проаналізовано нормативно-правові засади імплементації 26 директив і 3 регламентів Європейського Союзу, що стосуються якості повітря, води, управління відходами, збереження біорізноманіття, протидії зміні клімату та запобігання промислового забрудненню.

Особливу увагу приділено реалізації положень Директиви 2010/75/ЄС «Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення)» та впровадженню системи інтегрованого дозволу, що є основним інструментом контролю промислових викидів в країнах ЄС. Розглянуто зміст і значення ухваленого 16 липня 2024 р. Закону України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення», який започаткував нову модель державного екологічного управління, орієнтовану на застосування найкращих доступних технологій і методів виробництва (НДТМ). Визначено основні етапи реалізації реформи, її переваги та ризики, зокрема у контексті воєнних дій, економічної нестабільності та потреби модернізації промислового сектору.

Окремий розділ присвячено аналізу імплементації Водної рамкової директиви 2000/60/ЄС, яка запроваджує басейновий принцип управління водними ресурсами. Висвітлено процес створення басейнових рад, розроблення планів управління річковими басейнами та впровадження системи державного моніторингу вод відповідно до стандартів ЄС. Також розглянуто адаптацію законодавства України до інших водних директив, а саме щодо очищення міських стічних вод, нітратного забруднення, управління ризиками затоплень та забезпечення якості питної води.

У висновках наголошено, що виконання екологічних зобов'язань є не лише вимогою Угоди про асоціацію, але й фундаментальною умовою для переходу України до сталої економіки та підвищення екологічної безпеки. Підкреслено необхідність посилення інституційної спроможності, фінансової підтримки екомодернізації підприємств і продовження нормативного зближення з правом Європейського Союзу.

Ключові слова: Угода про асоціацію, євроінтеграція, екологічна політика, директиви ЄС, промислове забруднення, водні ресурси, НДТМ, сталий розвиток.

1. ВСТУП

У контексті сучасних глобальних екологічних викликів питання гармонізації національного природоохоронного законодавства з європейськими стандартами набуває особливої актуальності для України. Після підписання та набуття чинності Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом (ЄС) 1 вересня 2017 р. держава офіційно розпочала системну трансформацію у сфері екологічного управління. Цей процес має на меті інтеграцію України у правовий, інституційний та політичний простір ЄС, що передбачає не лише формальне

наближення норм права, а й реальне реформування механізмів екологічного регулювання, моніторингу, звітності та контролю.

Екологічна складова Угоди про асоціацію визначає комплекс зобов'язань України щодо імплементації 26 директив і 3 регламентів Європейського Союзу, що охоплюють питання якості атмосферного повітря, управління водними ресурсами, поводження з відходами, охорони біорізноманіття, боротьби зі зміною клімату, а також запобігання промислового забрудненню. Відповідно до Глави 6

«Навколишнє природне середовище» Угоди, Україна має адаптувати власну систему екологічного законодавства до *acquis communautaire* ЄС у встановлені терміни [1].

Зміст і масштаб зобов'язань, що поставили перед Україною, обумовлюють необхідність поетапної та системної реалізації реформ у сфері охорони довкілля. Розпочатий у 2017 р. процес апроксимації законодавства охоплює вісім ключових секторів, серед яких окреме місце посідають контроль промислового забруднення та управління водними ресурсами. Саме ці напрями є визначальними з огляду на їхній інтегрований вплив на стан довкілля, здоров'я населення, сталий розвиток промисловості та енергетики.

Реформа системи екологічного регулювання в Україні ускладнюється низкою внутрішніх і зовнішніх факторів. Серед них – тривалий воєнний конфлікт, що спричинив масштабні руйнування промислових об'єктів та екосистем; зменшення фінансування природоохоронних програм; інституційна нестабільність, пов'язана зі змінами в структурі центральних органів виконавчої влади; а також недостатній рівень технічної та кадрової спроможності національних інституцій для впровадження європейських екологічних норм. Водночас, попри зазначені труднощі, Україна продемонструвала суттєвий прогрес у законодавчому забезпеченні реформ, а саме ухвалено базові закони щодо оцінки впливу на довкілля (ОВД), стратегічної екологічної оцінки (СЕО), управління відходами, охорони водних ресурсів та запобігання промисловим викидам.

Особливої уваги потребує реформа у сфері промислового забруднення, адже вона є однією з найбільш комплексних і ресурсомістких у структурі екологічного *acquis*. Її метою є запровадження системи інтегрованого екологічного дозволу відповідно до положень Директиви 2010/75/ЄС «Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення)». Прийняття у 2024 р. Закону України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» стало важливим етапом у реалізації зобов'язань перед ЄС та фактично започаткувало перехід до європейської моделі регулювання промислових впливів на довкілля.

Не менш значущим напрямом є імплементація Водної рамкової директиви 2000/60/ЄС, яка заклала засади інтегрованого управління водними ресурсами на основі басейнового підходу. Для України це означало перехід від

галузевої до екосистемної моделі водного менеджменту, що передбачає розробку планів управління річковими басейнами, створення басейнових рад, запровадження системи державного моніторингу вод та удосконалення механізмів оцінки їх екологічного стану.

Важливо підкреслити, що виконання екологічної частини Угоди про асоціацію є не лише міжнародним зобов'язанням, але й стратегічною необхідністю для формування засад сталого розвитку України. Впровадження європейських підходів до управління довкіллям сприятиме підвищенню енергоефективності, зниженню викидів парникових газів, покращенню якості життя населення, а також створенню умов для екологічної модернізації виробництва. Крім того, адаптація до вимог ЄС у сфері екології є важливим елементом передвступної підготовки України до членства в Європейському Союзі.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю глибокого аналізу стану імплементації екологічних директив ЄС у національне законодавство України, оцінки досягнутого прогресу та виявлення бар'єрів, які уповільнюють цей процес. Наукове значення роботи полягає у систематизації досвіду реформування екологічної політики України в умовах воєнного стану та визначенні напрямів подальшого удосконалення нормативно-правової бази для забезпечення повноцінної екологічної інтеграції у правовий простір ЄС.

Метою статті є узагальнення результатів імплементації екологічної складової Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, аналіз основних досягнень у сферах контролю промислового забруднення та управління водними ресурсами, а також формулювання пропозицій щодо підвищення ефективності екологічної політики України у відповідності до європейських стандартів.

Наукові джерела відзначають, що екологічна складова Угоди про асоціацію Україна-ЄС спрямована на гармонізацію законодавства з екостандартами ЄС, удосконалення державного контролю та розвиток екологічного моніторингу. Дослідники підкреслюють, що попри наявний прогрес імплементація залишається нерівномірною.

Основними проблемами в літературі називають слабку інституційну спроможність, фрагментарність нормативної бази та недостатньо ефективні механізми відповідальності. Перспективи реалізації вбачаються у посиленні моніторингу, прозорості

екополітики та зміцненні інституцій. Науковці наголошують, що виконання екологічних зобов'язань є ключовою умовою сталого розвитку й європейської інтеграції України. Дана робота є продовженням дослідження [2], в якому розглянуті питання щодо виконання вимог ЄС в галузі управління водними ресурсами та промислового забруднення.

2. МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основою дослідження є нормативно-правові акти Європейського Союзу та України, офіційні документи урядових структур, аналітичні звіти й статистичні дані щодо виконання екологічної складової Угоди про асоціацію між Україною та ЄС. Основну увагу приділено аналізу таких директив ЄС, як Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди, Директива 2000/60/ЄС про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики, Директива 91/676/ЄЕС щодо захисту вод від забруднення нітратами, а також низки актів, що регулюють очищення стічних вод і якість питної води [3-5].

У межах національного законодавства розглянуто Закони України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» (2024 р.), «Про оцінку впливу на довкілля» (2017 р.), «Про стратегічну екологічну оцінку» (2018 р.), «Про водовідведення та очищення стічних вод» (2023 р.), а також «Водну стратегію України до 2050 року» [6-10].

Джерельну базу доповнюють звіти Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Європейської комісії та Енергетичного співтовариства, які відображають стан гармонізації екологічної політики [11]. Для обробки матеріалів використано системний, порівняльно-правовий та аналітичний методи, що дозволило комплексно оцінити процес імплементації європейських екологічних стандартів у національне законодавство України.

3. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Імплементація екологічних директив Європейського Союзу є складним багаторівневим процесом, що охоплює не лише адаптацію національних нормативно-правових актів, але й інституційну перебудову системи управління навколишнім середовищем, реформування дозвільних процедур, підвищення екологічної відповідальності бізнесу та вдосконалення механізмів державного контролю.

Відповідно до розподілу зобов'язань, Україна зобов'язана імплементувати положення директив у межах восьми секторальних блоків:

- 1) якість атмосферного повітря;
- 2) управління водними ресурсами;
- 3) поводження з відходами;
- 4) промислове забруднення;
- 5) зміна клімату;
- 6) охорона природи та біорізноманіття;
- 7) хімічна безпека;
- 8) екологічне управління та доступ до інформації.

Серед ключових досягнень останнього десятиліття варто відзначити ухвалення Законів України «Про оцінку впливу на довкілля» (2017 р.), «Про стратегічну екологічну оцінку» (2018 р.), «Про управління відходами» (2022 р.), «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» (2024 р.), а також оновлення законодавства у сфері водних ресурсів та питного водопостачання.

Разом з тим, реалізація екологічної політики відбувається в умовах війни, що створює значні ризики деградації природних екосистем, втрати біорізноманіття та забруднення територій. Зменшення фінансування природоохоронних програм і скорочення кадрового потенціалу унеможливають повне та своєчасне виконання всіх положень Угоди.

Реформа з контролю промислового забруднення є центральною складовою екологічної євроінтеграції України. Її метою є перехід від фрагментованої системи екологічних дозволів до інтегрованого підходу, який передбачає отримання підприємством єдиного документу – інтегрованого довкілевого дозволу.

Цей дозвіл об'єднує всі чинні дозволи на викиди в атмосферне повітря, спеціальне водокористування, скиди у водні об'єкти та операції у сфері управління відходами. Інтегрований підхід ґрунтується на принципі найкращих доступних технологій і методів управління (НДТМ), які визначаються на основі технічних довідників ЄС (BREF) [6].

Україна розпочала підготовку до реформи ще у 2011 р. після приєднання до Енергетичного Співтовариства, узявши зобов'язання щодо імплементації Директиви 2001/80/ЄС. Однак через високу капіталомісткість заходів, обмежені можливості підприємств та недостатню державну підтримку реальні кроки відбувалися повільно.

Нове прискорення процесу відбулося у 2019 р. зі схваленням Концепції реалізації державної політики у сфері промислового забруднення, що передбачає триетапну реформу на період 2019–

2028 рр. [12]. Ключовим нормативним актом став Закон України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення», ухвалений 16 липня 2024 р. та чинний з 8 серпня 2025 р..

Цей закон транспонує положення Директиви 2010/75/ЄС та створює нормативну основу для впровадження інтегрованих дозволів і системи НДТМ. Згідно з його положеннями, перехід на європейські стандарти здійснюватиметься поступово протягом 12 років: чотири роки – для впровадження висновків НДТМ і сім – для повної модернізації виробничих потужностей.

Однак, ефективність реформи значною мірою залежатиме від темпів розробки підзаконних актів, перекладу та затвердження висновків НДТМ, створення електронного Реєстру інтегрованих дозволів та формування компетентного органу з оцінки заяв підприємств. Без цих складових впровадження інтегрованого дозволу залишиться декларативним.

Крім того, у воєнних умовах спостерігається дефіцит інвестицій у виробничу екологічну модернізацію. Більшість підприємств, особливо у важкій промисловості, не мають ресурсів для впровадження сучасних технологій очищення викидів, тому важливо створити державні та міжнародні фінансові механізми підтримки, в тому числі гранти, пільгові кредити, податкові стимули.

Імплементація Директиви 2000/60/ЄС («Водна рамкова директива») є ключовим елементом реформування водної політики України. Її головною метою є досягнення «доброго екологічного стану» всіх масивів поверхневих і підземних вод шляхом інтегрованого управління за басейновим принципом [4].

Україна поступово впроваджує вимоги цієї директиви з 2016 р., коли було ухвалено Закон № 1641-VIII «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом». Згідно з ним, територію держави поділено на дев'ять річкових басейнових округів, для кожного з яких створено басейнові ради – консультативно-дорадчі органи, що забезпечують участь усіх заінтересованих сторін у прийнятті рішень [13].

Важливим інструментом реалізації директиви є Плани управління річковими басейнами (ПУРБ), які визначають комплекс екологічних цілей і заходів для досягнення належного стану водних масивів. Станом на 2024 р. завершено розроблення проектів ПУРБ для всіх басейнів з урахуванням наслідків воєнних дій для водних ресурсів.

Починаючи з 2019 р., в Україні діє новий порядок державного моніторингу вод, який відповідає європейським вимогам щодо типології, частоти відбору проб та визначення пріоритетних і біологічних показників. Запроваджено також Методику віднесення масивів поверхневих вод до класів екологічного стану, що дозволяє здійснювати оцінку за уніфікованими критеріями, прийнятими в ЄС.

У 2022 р. урядом затверджено стратегічний документ «Водна стратегія України до 2050 року», який визначає п'ять основних цілей: охорону водних ресурсів, раціональне водокористування, розвиток інфраструктури, підвищення екологічної безпеки та зміцнення водного управління [10]. Ця стратегія стала важливим етапом у системній імплементації Водної рамкової директиви.

Окрім впровадження положень Водної рамкової директиви 2000/60/ЄС, процес євроінтеграції України у сфері управління водними ресурсами охоплює також низку інших важливих напрямів екологічної імплементації. Вони пов'язані з виконанням зобов'язань за низкою спеціалізованих директив ЄС, що формують комплексну систему водної безпеки та охорони довкілля.

Одним із ключових напрямів є приведення національної системи охорони вод від забруднення нітратами з сільськогосподарських джерел у відповідність до вимог Директиви Ради 91/676/ЄЕС (Нітратна директива). Метою цієї директиви є зниження рівня забруднення підземних і поверхневих вод сполуками азоту, що надходять із дифузних джерел, насамперед із сільськогосподарського виробництва [5].

В Україні у межах реалізації цього напряму розроблено Проект Закону «Про захист вод від забруднення, викликаного нітратами з сільськогосподарських джерел» (2024 р.), який визначає правові та організаційні засади регулювання агрохімічного навантаження на ґрунти та водні об'єкти. Передбачається встановлення зон, вразливих до накопичення нітратів, запровадження спеціальних вимог до використання добрив і ведення сільського господарства в цих регіонах [14].

Наразі виконання положень Директиви 91/676/ЄЕС залишається частково реалізованим. Основними проблемами є відсутність чіткої системи ідентифікації уразливих територій, обмеженість лабораторного моніторингу нітратного забруднення, а також нестача міжвідомчої координації між Міністерством

довкілля, Міністерством аграрної політики та місцевими адміністраціями.

Наступним напрямом є виконання вимог Директиви 91/271/ЄЕС про очищення міських стічних вод, спрямованої на зменшення забруднення водою біогенними та органічними речовинами. У 2023 р. Верховною Радою було прийнято Закон України «Про водовідведення та очищення стічних вод», яким вперше створено єдину нормативну основу для модернізації комунальних систем водовідведення [9].

Закон передбачає запровадження поетапної реконструкції очисних споруд, удосконалення систем збору та повторного використання очищених стоків, а також створення механізмів фінансування інфраструктурних проєктів через місцеві екологічні фонди. З метою гармонізації з європейськими стандартами планується встановлення гранично допустимих концентрацій для основних забруднюючих речовин та впровадження системи моніторингу ефективності очищення.

Важливим компонентом інтеграції є реалізація положень Директиви 2007/60/ЄС про оцінку та управління ризиками затоплення. Її імплементація передбачає розробку національної системи оцінки паводкових ризиків, створення карт загроз і ризиків затоплення, а також впровадження планів управління для найбільш уразливих річкових басейнів.

Україна вже розробила Методику попередньої оцінки ризиків затоплення, затверджену урядом, на основі якої визначаються території з потенційно значними ризиками [15]. У межах першого циклу реалізації директиви (2023–2028 рр.) проводиться оцінка стану басейнів Дніпра, Дністра, Дунаю та Вісли, з урахуванням впливу кліматичних змін і воєнних дій.

Ще одним важливим напрямом є імплементація Директиви 2008/56/ЄС про створення рамок діяльності у сфері морської політики (Морська стратегічна рамкова директива). З метою її реалізації Кабінет Міністрів України у 2021 р. схвалив Морську природоохоронну стратегію України до 2034 року, що визначає основні напрями охорони Чорного та Азовського морів, оцінки стану морських екосистем і запобігання морському забрудненню [16].

Основним завданням є досягнення «доброго екологічного стану» морського середовища відповідно до критеріїв ЄС. Однак у зв'язку з воєнними діями, окупацією частини прибережних територій та забрудненням акваторій, реалізація стратегії призупинена. Її

відновлення передбачається після завершення війни з урахуванням нових екологічних ризиків.

До додаткових напрямів належить реалізація Директиви 98/83/ЄС про якість води, призначеної для споживання людиною, що регулює показники безпечності питної води. В Україні її виконання забезпечується через оновлений ДСанПіН 2.2.4-171-10 та Закон України «Про питну воду та питне водопостачання» із змінами 2023 р. [17].

Важливу роль також відіграє продовження розвитку системи державного моніторингу вод, яка функціонує відповідно до нового європейського підходу, запровадженого з 2019 р. [18]. Програми моніторингу охоплюють як поверхневі, так і підземні води, а також прибережні морські масиви.

Таким чином, екологічна імплементація у водному секторі України має багатовекторний характер і охоплює низку взаємопов'язаних сфер – від запобігання агрохімічному забрудненню до управління ризиками затоплення та охорони морського середовища. Попри суттєвий прогрес у розробці нормативної бази, практична реалізація директив потребує посилення інституційної спроможності, міжвідомчої координації та фінансової підтримки з боку держави й міжнародних партнерів.

4. ВИСНОВКИ

Виконання екологічної складової Угоди про асоціацію між Україною та ЄС є одним із найбільш масштабних і системно складних напрямів державних реформ. Попри значні перешкоди, Україна демонструє поступовий прогрес у гармонізації законодавства, насамперед у сферах водної політики та промислового забруднення.

Прийняття Закону «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» стало переломним моментом для формування єдиної системи екологічного регулювання промислових викидів. Водночас ефективність його реалізації залежить від затвердження висновків НДТМ, підготовки кадрів, створення інституційної спроможності та фінансових механізмів підтримки підприємств.

Імплементація Водної рамкової директиви та пов'язаних нормативних актів ЄС дозволила Україні перейти до інтегрованого басейнового управління, удосконалити моніторинг якості вод і сформувати стратегічні орієнтири до 2050 р.

Надалі успішна реалізація екологічних реформ потребує:

- зміцнення інституційної координації між органами влади;
- удосконалення системи екологічного фінансування;
- підвищення рівня екологічної відповідальності бізнесу;
- розширення участі громадськості у процесах прийняття рішень.

Упровадження екологічних стандартів ЄС є не лише міжнародним зобов'язанням, але й важливою передумовою переходу України до моделі сталого, ресурсоефективного та екологічно безпечного розвитку, що відповідає принципам Європейського зеленого курсу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 10.10.2025)
2. Olha Sapko, Olena Vladimirova, Oleksii Burhaz. State of Implementation of European Legislation Regarding Water Resources Management, Industrial Pollution and Man-Made Hazards in Ukraine. *International Journal of Environmental Protection and Policy*. 2023; 11(1): 21-26 <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ijep> doi: 10.11648/j.ijep.20231101.13 ISSN: 2330-7528 (Print); ISSN: 2330-7536 (Online)
3. Про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю): Директива № 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_004-10#Text (дата звернення: 10.10.2025)
4. Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики: Директива № 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (дата звернення: 10.10.2025).
5. Щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел: Директива Ради № 91/676/ЄС від 12 грудня 1991 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text (дата звернення: 15.10.2025).
6. Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення: Закон України від 16 липня 2024 р. № 38559-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3855-20#Text> (дата звернення: 15.10.2025).
7. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23 травня 2017 р. № 2059-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 15.10.2025)
8. Про стратегічну екологічну оцінку: Закон України від 20 березня 2018 р. № 2354-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text> (дата звернення: 15.10.2025)
9. Про водовідведення та очищення стічних вод: Закон України від 12 січня 2023 р. № 2887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> (дата звернення: 20.10.2025).
10. Водна стратегія України на період до 2050 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 09 грудня 2022 р. № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (дата звернення: 12.10.2025).
11. Україна та Угода про асоціацію. Моніторинг виконання 2014-2022. URL: <https://www.kas.de/documents/270026/22934445/UA+2023+UCEP+Ukraine+and+the+Association+Agreement.+Implementation+Monitoring+2014-2022.pdf/6c8e5702-ab17-c8cf-a2da-c11dacb6b66b?version=1.0&t=1685631554159> (дата звернення: 20.10.2025)
12. Концепція реалізації державної політики у сфері промислового забруднення. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/402-2019-%D1%80#Text> (дата звернення: 20.10.2025)
13. Про внесення змін у деякі законодавчі акти України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом: Закон України від 4 жовтня 2016 р. № 1641-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1641-19/paran102#n102> (дата звернення: 10.10.2025).
14. Про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами із сільськогосподарських джерел: Проект Закону України від 16 серпня 2024 р. № 11486. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/J11494A> (дата звернення: 15.10.2025).
15. Методика попередньої оцінки ризиків затоплення: Наказ Міністерства Внутрішніх Справ України від 17 січня 2018 р. № 30. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0153-18#Text> (дата звернення: 15.10.2025).
16. Морська природоохоронна стратегія України: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11 жовтня 2021 р. № 1240-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1240-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.10.2025).
17. ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 20.10.2025).
18. Порядок здійснення державного моніторингу вод: Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 758. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення: 20.10.2025).

REFERENCES

1. *Uhoda pro asotsiatsiiu mizh Ukrainoiu, z odniiie storony, ta Yevropeiskym Soiuzom, Yevropeiskym spivtovarystvom z atomnoi enerhii i yikhnyu derzhavamy-chlenamy, z inshoi storony [Association Agreement between Ukraine, of the one part, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, of the other part]*. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (Accessed: 10.10.2025). (in Ukr.)
2. Olha Sapko, Olena Vladimirova, Oleksii Burhaz. State of Implementation of European Legislation Regarding Water Resources Management, Industrial Pollution and Man-Made Hazards in Ukraine. *International Journal of Environmental Protection and Policy*. 2023; 11(1): 21-26 <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ijep> doi: 10.11648/j.ijep.20231101.13 ISSN: 2330-7528 (Print); ISSN: 2330-7536 (Online)

3. *Pro promyslovi vykydy (intehrovanyi pidkhdid do zapobihannia zabrudnenniu ta yoho kontroliu)* (Dyrektyva № 2010/75/Yes vid 24 lystopada 2010 r.) [On Industrial Emissions (Integrated Pollution Prevention and Control) (Directive dated November, 24, 2010 no. 2010/75/EU)]. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_004-10#Text (Accessed: 10.10.2025). (in Ukr.)
4. *Pro vstanovlennia ramok diialnosti Spivtovarystva v haluzi vodnoi polityky* (Dyrektyva № 2000/60/Yes vid 23 zhovtnia 2000 r.) [Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy (Directive dated october, 23, 2000 no. 2000/60/EC)]. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (Accessed: 10.10.2025). (in Ukr.)
5. *Shchodo zakhystu vod vid zabrudnennia, sprychynenoho nitratamy z silskohospodarskykh dzherel* (Dyrektyva Rady № 91/676/Yes vid 12 hrudnia 1991 r.) [Concerning the Protection of Waters Against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources (Council Directive dated december, 12, 1991 no. 91/676/EEC)]. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text (Accessed: 15.10.2025). (in Ukr.)
6. *Pro intehrovane zapobihannia ta kontrol promyslovoho zabrudnennia* (Zakon Ukrainy vid 16 lypnia 2024 r. № 3855-IX) [On Integrated Prevention and Control of Industrial Pollution (Law of Ukraine dated july, 16, 2024 no. 3855-IX)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3855-20#Text> (Accessed: 15.10.2025). (in Ukr.)
7. *Pro otsinku vplyvu na dovkillia* (Zakon Ukrainy vid 23 travnia 2017 r. № 2059-VIII) [On Environmental Impact Assessment (Law of Ukraine dated may, 23, 2017 no. 2059-VIII)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (Accessed: 15.10.2025). (in Ukr.)
8. *Pro stratehichnu ekolohichnu otsinku* (Zakon Ukrainy vid 20 bereznia 2018 r. № 2354-VIII) [On Strategic Environmental Assessment (Law of Ukraine dated march, 20, 2018 no. 2354-VIII)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text> (Accessed: 15.10.2025). (in Ukr.)
9. *Pro vodovidvedennia ta ochyshchennia stichnykh vod* (Zakon Ukrainy vid 12 sichnia 2023 r. № 2887-IX) [On Wastewater Disposal and Treatment (Law of Ukraine dated january, 12, 2023 no. 2887-IX)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> (Accessed: 20.10.2025). (in Ukr.)
10. *Vodna stratehiia Ukrainy na period do 2050 roku* (Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 09 hrudnia 2022 r. № 1134-r) [Water Strategy of Ukraine until 2050 (Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated december, 9, 2022 no. 1134-r)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (Accessed: 12.10.2025). (in Ukr.)
11. *Ukraina ta Uhoda pro asotsiatsiiu. Monitorynh vykonannia 2014–2022* [Ukraine and the Association Agreement. Implementation Monitoring 2014–2022]. Available at: <https://www.kas.de/documents/270026/22934445/UA+2023+UCEP+Ukraine+and+the+Association+Agreement.+Implementation+Monitoring+2014-2022.pdf/6c8e5702-ab17-c8cf-a2da-c11dacb6b66b?version=1.0&t=1685631554159> (Accessed: 20.10.2025). (in Ukr.)
12. *Kontseptsia realizatsii derzhavnoi polityky u sferi promyslovoho zabrudnennia* [Concept for the Implementation of State Policy in the Field of Industrial Pollution]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/402-2019-%D1%80#Text> (Accessed: 20.10.2025). (in Ukr.)
13. *Pro vnesennia zmin u deiaki zakonodavchi akty Ukrainy shchodo vprovadzhennia intehrovanykh pidkhodiv v upravlinni vodnymi resursamy za basynovym pryntsyptom* (Zakon Ukrainy vid 4 zhovtnia 2016 r. № 1641-VIII) [On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine Regarding the Introduction of Integrated Approaches to Water Resources Management on a Basin Principle (Law of Ukraine dated october, 4, 2016 no. 1641-VIII)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1641-19/paran102#n102> (Accessed: 10.10.2025). (in Ukr.)
14. *Pro zakhyst vod vid zabrudnennia, sprychynenoho nitratamy iz silskohospodarskykh dzherel* (Proekt Zakonu Ukrainy vid 16 serpnia 2024 r. № 11486) [On the Protection of Waters Against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources (Draft Law of Ukraine dated august, 16, 2024 no. 11486)]. Available at: <https://ips.ligazakon.net/document/JI11494A> (Accessed: 15.10.2025). (in Ukr.)
15. *Metodyka poperednioi otsinky ryzykiv zatoplennia* (Nakaz Ministerstva Vnutrishnikh Sprav Ukrainy vid 17 sichnia 2018 r. № 30) [Methodology for Preliminary Flood Risk Assessment (Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated january, 17, 2018 no. 30)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0153-18#Text> (Accessed: 15.10.2025). (in Ukr.)
16. *Morska pryrodokhoronna stratehiia Ukrainy* (Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 11 zhovtnia 2021 r. № 1240-r) [Marine Environmental Protection Strategy of Ukraine (Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated october, 11, 2021 no. 1240-r)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1240-2021-%D1%80#Text> (Accessed: 15.10.2025). (in Ukr.)
17. Ministry of Justice of Ukraine. (2010). *DsanPIN 2.2.4-171-10: Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu* [State sanitary rules and regulations 2.2.4-171-10: Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. Kyiv. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (Accessed: 20.10.2025). (in Ukr.)
18. *Poriadok zdiisnennia derzhavnoho monitorynhu vod* (Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 19 veresnia 2018 r. № 758) [Procedure for Conducting State Water Monitoring (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated september, 19, 2018 no. 758)]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-p> (Accessed: 20.10.2025). (in Ukr.)

IMPLEMENTATION OF THE ENVIRONMENTAL COMPONENT OF THE UKRAINE–EU ASSOCIATION AGREEMENT: CURRENT STATUS, CHALLENGES, AND PROSPECTS

O. H. Volodymyrova, O. Yu. Sapko

Odesa I.I. Mechnikov National University, 2 V. Zmiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine
veg2008@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5114-6550>

The article presents a comprehensive study of the implementation process of the environmental component of the Association Agreement between Ukraine and the European Union, which constitutes a key element in the country's system of European integration reforms. Since September 1, 2017, after the Agreement entered into full force, Ukraine has assumed clear obligations to harmonize national legislation with EU law, particularly in the field of environmental protection. The study analyzes the legal and regulatory framework for the implementation of 26 EU directives and 3 regulations concerning air and water quality, waste management, biodiversity conservation, climate change mitigation, and industrial pollution prevention.

Special attention is paid to the implementation of Directive 2010/75/EU on Industrial Emissions (integrated pollution prevention and control) and the introduction of an integrated permitting system, which serves as the primary tool for controlling industrial emissions in EU countries. The content and significance of the Law of Ukraine "On Integrated Pollution Prevention and Control," adopted on July 16, 2024, are examined; this law established a new model of state environmental governance focused on the application of Best Available Techniques and Methods (BAT/BEP). The main stages of reform implementation, its advantages, and associated risks are identified, particularly in the context of military actions, economic instability, and the need for industrial sector modernization.

A separate section is devoted to analyzing the implementation of the EU Water Framework Directive 2000/60/EC, which introduces a river basin-based approach to water management. The creation of basin councils, development of river basin management plans, and implementation of a national water monitoring system in line with EU standards are highlighted. The adaptation of Ukrainian legislation to other water-related directives is also considered, including urban wastewater treatment, nitrate pollution, flood risk management, and the assurance of drinking water quality.

The conclusions emphasize that fulfilling environmental obligations is not only a requirement of the Association Agreement but also a fundamental condition for Ukraine's transition to a sustainable economy and for enhancing environmental security. The need to strengthen institutional capacity, provide financial support for eco-modernization of enterprises, and continue regulatory convergence with EU law is underscored.

Keywords: Association Agreement, European integration, environmental policy, EU directives, industrial pollution, water resources, BAT/BEP, sustainable development.

Подання до редакції : 24. 11. 2025

Надходження остаточної версії : 08. 12. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025

УДК: 502.3/7.712

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОГЕННОГО КОМПОНЕНТУ УРБОСИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ КІЛЬКІСНИХ ІНДИКАТОРІВ ОЗЕЛЕНЕННЯ МІСТА

В. Ю. Приходько, А. О. Ільїна

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
вул. Змієнка Всеволода, 2, 65082, Одеса, Україна, vks26@ua.fm

Особливості сучасної урбанізації зумовлюють зростання міських територій за рахунок природних об'єктів, перш за все, зелених насаджень. Зелені насадження відіграють фундаментальну роль у формуванні екологічної рівноваги міських систем, забезпеченні здоров'я населення та підвищенні стійкості урбанізованих територій до антропогенних навантажень. Дефіцит зелених зон у містах, зменшення їх площі та погіршення якісного стану насаджень становлять одну з найгостріших екологічних проблем. В даній статті розглядаються індикатори, визначення яких ґрунтується на кількісних характеристиках озеленення урбанізованої території. Метою дослідження є розробка підходу щодо кількісної оцінки стану фітогенного компонента на основі показників озеленення території та апробація алгоритму для певних урбанізованих територій на основі аналізу наявних статистичних даних. Серед індикаторів виділені загальні (рівень озеленення території, забезпеченість населення зеленими насадженнями) та специфічні (кількість або площа структурних елементів, рівень озеленення структурних елементів, рекреаційне навантаження) показники. Розрахунки забезпеченості зеленими насадженнями засвідчили значну просторову нерівномірність рівня озеленення міст. Природні умови м. Білгород-Дністровський характеризуються дефіцитом площі зелених насаджень парків та скверів, та достатнім (на одного мешканця) озелененням житлових районів та загальної території міста. Проведений аналіз свідчить, що жоден район Одеси не відповідає мінімальним вимогам національних стандартів та рекомендацій міжнародних організацій. Особливо критичним є становище Пересипського та Київського районів, де спостерігається дефіцит зелених територій на одного мешканця. Додатково оцінено якісний стан зелених насаджень. Найбільш збалансований за якістю зелених насаджень є Приморський район, тоді як Пересипський район вирізняється найгіршими показниками як якісного, так і кількісного забезпечення. Порівняння розрахованих показників із нормативами показує, що фактична забезпеченість зеленими зонами в Одесі становить у середньому лише 15–30 % від рекомендованих значень. Це вказує на системну екологічну нестійкість та високий рівень техногенного навантаження на урбанізовану територію.

Ключові слова: озеленення, забезпечення зеленими зонами, урбанізовані території, зелена інфраструктура, якість зелених насаджень, міська екосистема.

1. ВСТУП

Сучасний стрімкий розвиток урбанізації, масштабна забудова та супутній розвиток інфраструктури, зокрема транспортної, спричинила погіршення якості міського довкілля у багатьох містах світу. Станом на 2024 р., показник урбанізованості у світі склав 57,7 %. Інтенсивний ріст міських територій супроводжується заміщенням природних екосистем антропогенізованими ландшафтами [1]. Зростання і розвиток міст супроводжується зміною рослинного світу урбанізованих територій (фітогенного компонента міської системи) в результаті прямого і непрямого впливу людини. Прямий вплив полягає в

безпосередньому знищенні об'єктів рослинного покриву міських і приміських зон. Непрямий вплив позначається у зміні умов проживання, що проявляється в деградації ґрунтового покриву та забрудненні атмосферного повітря. Також суттєвим фактором є надмірне рекреаційне навантаження, яке значно посилюється в умовах недостатнього озеленення.

Сучасна урбанізація характеризується зростанням вже існуючих міських територій, особливо столиць. Вже сьогодні в окремих країнах (Вірменія, Монголія та ін.) в столиці мешкає більше половини населення країни. Упродовж найближчих років кількість міст-мільйонників наблизиться до 500, а число мегаполісів, де проживає понад 20 мільйонів

осіб, продовжить збільшуватися [1]. За таких темпів урбанізації перед урядами та органами містобудівного планування постає завдання гарантувати рівний доступ населення – незалежно від соціально-економічного становища – до екологічних, рекреаційних та соціальних переваг, які забезпечують міські зелені насадження.

Наслідки урбанізації спонукали науковців, архітекторів та міських управлінців до пошуку інноваційних підходів, які б забезпечували економічне та просторове зростання із мінімальним впливом на довкілля та раціональним використанням природних ресурсів. Витоки теоретичних засад зеленого урбанізму сягають початку ХХ століття, коли Ебенезер Говард у праці «Місто-сад завтрашнього дня» (1902) запропонував концепцію міста, тісно інтегрованого з природним середовищем. Подальший розвиток ідей екологічно орієнтованого містобудування відбувався у працях Рейнера Банхема, Льюїса Мамфорда, Джейна Джейкобса та інших дослідників, які обґрунтовували взаємозв'язок між технологіями, потребами людини та екологічними обмеженнями. Значний внесок у формування сучасних уявлень про стійке та «зелене» місто зробили ключові праці другої половини ХХ століття, серед яких «Дизайн з кліматом» (1963), «Дизайн з природою» (1969), «Зелена архітектура» (1991), «Статут сонячного міста» (1995/2007). За М.Ф. Реймерсом, однією з вимог до екополісів є безпосереднє озеленення структурних елементів забудови. Усі ці концепції спрямовані на переосмислення традиційної моделі розвитку міст та розроблення принципів зеленого урбанізму, адаптованих до умов швидкої урбанізації. Сучасні наукові підходи підкреслюють, що неконтрольоване розростання міст є екологічно небезпечним і що подальший розвиток має здійснюватися в межах існуючих урбанізованих територій, забезпечуючи компактність, поліцентричність та багатофункціональність міського середовища. Теорія сталого розвитку, активно розвинена у 1990-х роках, заклала фундамент для формування концепцій стійкого, зеленого, комфортного та компактного міста [2–5], які нині залишаються ключовими в обговоренні взаємозв'язку міської форми, ресурсів, кліматичних викликів та загальної екологічної стійкості. У відповідь на виклики дисперсної урбанізації сформувалася концепція «зеленого міста», спрямована на мінімізацію екологічних ризиків, підвищення якості життя та створення

міського середовища, що поєднує енергетичну ефективність, сталу інфраструктуру, збалансоване просторове планування, розвиток зелених зон та збереження компактності. Підвищений інтерес до цієї проблематики зумовив появу ґрунтовних оглядів, зокрема дослідження Інфраструктурної групи IHS (EUR) 2013 року, що систематизувало підходи та перспективи розвитку концепції зеленого міста в сучасних урбаністичних умовах [1].

Кількісні зміни у фітогенному компоненті міста дозволяють охарактеризувати зміни, які відбуваються в процесі розвитку урбосистем та оцінити якість компонента з антропоцентричних позицій, оскільки нормування кількісних показників озеленення відбувається з метою забезпечення сприятливих для людини умов мешкання.

Відповідно до вимог земельного та містобудівного законодавства України раціональний розвиток і використання міських територій ґрунтуються на принципах комплексності, стійкості та збалансованого врахування екологічних, соціальних і економічних факторів. Саме тому оцінка рівня комфортності та забезпеченості зеленими насадженнями в урбанізованих районах є важливим етапом наукових досліджень, особливо у великих містах і мегаполісах. Практичні результати таких досліджень використовуються під час просторового планування, кадастрової оцінки земель, визначення екологічної якості житлових територій і прийняття управлінських рішень у сфері благоустрою.

Метою дослідження є розробка підходу щодо кількісної оцінки стану фітогенного компонента на основі показників озеленення території та апробація алгоритму для певних урбанізованих територій на основі аналізу наявних статистичних даних. *Об'єкт дослідження* – фітогенний компонент урбосистеми. *Предмет дослідження* – оцінка кількісних змін, що відбуваються у рослинному світі урбанізованих територій.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

З позицій оцінки якості міського середовища важливим є оцінка стану та якості рослинного компоненту міста. Як і кожна складова міської системи, рослинний світ та зміни, що відбуваються у ньому під впливом антропогенної діяльності, можна охарактеризувати системою індикаторів на

основі якісних та кількісних характеристик. В даній статті розглядаються індикатори, визначення яких ґрунтується на кількісних характеристиках озеленення урбанізованої території.

До кількісних показників, що є вихідними даними для розрахунку індикаторів, які дозволяють охарактеризувати стан озеленення, відносяться:

а) площа озелених територій;

б) кількість та величина окремих структурних елементів озеленення міста – різного виду парків, скверів, садів, санітарно-захисних зон підприємств, захисних насаджень та інших об'єктів благоустрою зеленого господарства.

На основі цих даних можна визначити похідні показники – індикатори, що дають змогу оцінити ситуацію із озелененням в межах певної урбанізованої території. Індикатор – це параметр або характеристика, на підставі якої можна судити про стан або зміну певного явища або процесу більш високого рівня. Методологія визначення індикаторів та індексів найбільш повно представлена у керівних документах Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD) [6, 7], що дає нам можливість базуватися на загальних поняттях та принципах розробки системи індикаторів для дослідження кількісних змін, які відбуваються у рослинному світі міста.

Нормування озеленення передбачає визначення мінімально необхідної площі зелених насаджень («зелених островців») у розрахунку на одного мешканця, що забезпечує задоволення рекреаційних потреб населення та створення сприятливих умов для проживання. До ключових показників забезпеченості урбанізованих територій зеленими зонами належать: рівень озеленення, площа внутрішньоміських зелених територій, забезпеченість населення зеленими насадженнями, кількість і розміри парків та інші параметри. Отже, нами сформована така система індикаторів озеленення міста:

1) рівень озеленення міської території – це відносна площа зелених насаджень міста (га/га);

2) забезпеченість населення міста зеленими насадженнями – площа насаджень в розрахунку на одну людину (м²/люд).

Забезпеченість населення зеленими насадженнями (H_{oc}), розраховується за формулою (1).

$$H_{oc} = \frac{П_{жз} + П_{пт} + П_{тк} + П_{зм}}{K_m} \quad (1)$$

де $П_{жз}$ – площа зелених насаджень житлової забудови;

$П_{пт}$ – площа зелених насаджень промислових територій;

$П_{тк}$ – площа зелених насаджень транспортних комунікацій;

$П_{зм}$ – площа зелених масивів (загального, обмеженого та спеціального призначення) міста;

K_m – кількість мешканців міста;

3) відносна кількість (площа) певних структурних елементів озеленення в розрахунку на одну людину (або на 10 тис. населення):

$$N = \frac{n}{K_m} \quad (2)$$

4) рівень озеленення структурних елементів зеленого господарства (%);

5) рекреаційна місткість структурних елементів зеленого господарства.

Запропонований набір індикаторів є підґрунтям для характеристики озеленення урбанізованої території, зокрема, на основі порівняння з нормативами.

Нормативи озеленення – це нормативно затверджені кількісні показники озеленення. Тому запропонована система індикаторів озеленення має бути узгоджена з існуючими нормативами у цій сфері, що підсилює індикаторне значення показника. Найбільш повно система нормативів озеленення представлена в «Правилах утримання зелених насаджень у населених пунктах України» [8]. Проте є й інші критерії оцінки. Відповідно до встановлених нормативів, внутрішньоміські зелені насадження в Україні мають становити: для великих міст – 30-35 %, для середніх – 25-30 %, для малих – 22-25 % від загальної площі міста [9].

Якщо розглянути систему індикаторів озеленення міста, то їх можна згрупувати на загальні (1, 2) та специфічні показники. В статті Васютинської К.А. [10] рівень озеленення (1) та забезпеченість (2) є індексами питомої площі зелених насаджень в різних одиницях вимірювання.

Очевидно, що зелені насадження міста мають зв'язок з озелененням заміських територій і формують комплексну зелену зону міста – сукупність міських і приміських насаджень, межі якої наносяться на картографічні матеріали відповідними органами архітектури, лісогосподарськими органами або підрозділами місцевих органів самоврядування [11]. Комплексна зелена зона міста тотожна поняттю

«зелений пояс міста» [12]. Що стосується приміських зелених насаджень, то вони формують зелену зону міста. Встановлені нормативні значення залежать від лісорослинної зони та лісистості певної місцевості, а також від кількості населення [13]. Проте в самих «Правилах...» нормуються лише зелені насадження загального користування в межах населеного пункту. Тож поняття «зелена зона» та «комплексна зелена зона» міста не є тотожними. Очевидно, що існуюча система нормативно регламентованих та науково-обґрунтованих нормативів в сфері озеленення потребує систематизації та узгодження.

Вихідними даними дослідження слугували статистичні дані та картографічні матеріали щодо площ зелених насаджень у містах Одеса та Білгород-Дністровський, отримані з інтерактивної карти зелених насаджень, а також нормативні документи, що регламентують питання озеленення міських територій. Проте визначаємо, що для розрахунку повного набору індикаторів необхідно провести додаткові дослідження щодо рівня озеленення певних структурних елементів системи.

Додатково були використані дані з українських та міжнародних наукових публікацій, що присвячені методикам оцінювання якості та стану об'єктів зелених зон.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Білгород-Дністровський – місто на півдні Одеської області з населенням 46,7 тис. осіб. Для оцінки рівня озеленення м. Білгород-Дністровський було проведено визначення площі зелених насаджень на основі супутникової карти міста масштабом 1:10000 у ГІС-середовищі MapInfo Professional. Відносна помилка вимірів становила 7 %. На території міста створено шість міських парків та скверів загального користування: парк Миру, сквер Горького, Дитячий парк, парк Перемоги, парк Леніна, парк «Меморіал Слави».

У табл. 1 представлені площі найбільших зелених масивів м. Білгород-Дністровський.

За даними управління житлово-комунального господарства м. Білгород-Дністровський, загальна площа зелених насаджень у межах міста становить 1060,1 га, що відповідає рівню озеленення території – 55,4 %, або забезпеченості населення зеленими насадженнями 85,1 м²/особу.

Площа зелених насаджень селищної зони

міста склала 81,45 га. Середня щільність зелених насаджень селищної зони міста становить 10,6 %, змінюючись у межах від 1 % до 19 %.

Таблиця 1 – Зелені насадження загального користування

№ п/п	Найменування масиву	Площа, га
1	Зелені насадження залізничної лінії та промислової зони	32,06
2	Парк Миру	5,04
3	Бесарабський сквер	1,21
4	Дитячий парк	1,43
5	Парк Перемоги	2,12
6	Михайлівський парк	1,19
7	Парк «Меморіал Слави»	1,24
8	Зелені насадження на території Собору	0,85
9	Цвинтар по вул. Переможненській	2,90
10	Єврейський цвинтар	1,80
11	Цвинтар по вул. Ізмаїльській	4,05
12	Цвинтар по вул. Шабській	1,19

Відповідно до [8], норма озеленення зеленими насадженнями загального користування, а також житлових районів та мікрорайонів м. Білгород-Дністровський становить 17 м²/особу (на I чергу). З урахуванням поправочних коефіцієнтів, що враховують особливості народногосподарського профілю міста та природні умови, норма озеленення становить 14,1 м²/особу, у тому числі загальноміського значення – 7,5 м²/особу, житлових районів та мікрорайонів – 6,6 м²/особу. Відповідно до ДержСанПіН, площа міських зелених насаджень загального користування має бути 7-10 м²/особу, або 9 м²/особу за нормами [8]. Отже, забезпеченість населення зеленими насадженнями загального користування характеризується як достатня, крім зелених насаджень загальноміського значення. Відповідно до [8], норма озеленення житлових районів у цьому населеному пункті має становити щонайменше 7 м²/особу, і становить 16,1 м²/особу.

Для проведення дослідження було використано дані з інтерактивної карти зелених насаджень м. Одеса, що містить інформацію про дерева, кущі, газони та парки. Кожен об'єкт озеленення має власний електронний паспорт, у якому зазначено його місце розташування, вік,

фізичний стан та інші характеристики [15]. Нами було розглянуто чотири райони м. Одеса, по кожному було взято кількість зелених зон, загальна площа ділянки зелених насаджень та їх якісний стан.

В Одеській області офіційно зареєстровано 91 територіальну громаду, з поміж яких виділено Одеську територіальну громаду з адміністративним центром місто Одеса. В Одесі існує чотири адміністративні райони: Київський, Хаджибейський, Приморський та Пересипський [16].

Згідно з Правилами утримання зелених насаджень у населених пунктах України, міські сади та парки, сквери, бульвари, зелені зони на схилах та впродовж проспектів міста по функціональній належності відносяться до міст загального користування [6]. Відповідно до Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України якісний стан зелених насаджень може мати одне зі значень: добрий, задовільний, незадовільний.

Добрий – дерева здорові, нормально розвинуті, листя густе, рівномірно розміщене на гілках, листя чи хвоя нормального розміру і забарвлення, немає ознак хвороб і шкідників, ран, пошкоджень стовбура і скелетних гілок, а також дупел.

Задовільний – дерева здорові, але з ознаками вповільненого росту, з нерівномірно розвиненою кроною, на гілках мало листя, є незначні механічні пошкодження і невеликі дупла.

Незадовільний – дерева дуже ослаблені, стовбури викривлені, крони слабо розвинені, є сухі та гілки, що засихають, приріст однорічних пагонів незначний, механічно пошкоджені стовбури, дупла [17].

Відповідно до даних інтерактивної карти зелених насаджень м. Одеси, у Приморському районі налічується 60 зелених зон загального користування. Найбільшою серед них є дендропарк «Перемоги», площа якого становить 489227,62 м². Найменшим об'єктом є Подвір'я з площею всього 522,97 м². Загальна площа Приморського району становить 24,2 км², з яких 2,04 км² припадає на зелені насадження, що складає близько 8 % його території. Аналіз якісного стану зелених насаджень показує, що в районі 38,3 % зелених зон перебувають у доброму стані, 58,3 – у задовільному, а 3,3 % – у незадовільному.

У Київському районі налічується 21 зелена зона загального користування. Найбільшою серед них є територія меморіального комплексу «411 батарея» площею 284 323,70 м².

Найменший за площею об'єкт – зелена зона на вул. Академіка Корольова, що займає лише 938,6 м². Загальна площа Київського району становить 47,7 км², із яких 0,48 км² припадає на зелені території, що становить близько 1 % від площі району. Аналіз якісного стану зелених насаджень засвідчує, що 23,8 % об'єктів перебувають у доброму стані, 71,4 % – у задовільному, а 4,7 % – у незадовільному.

За загальної площі 89,7 км² Хаджибейський район має 1,33 км² територій, зайнятих зеленими насадженнями. Відповідно до вихідних даних, у районі розташовано 34 зелені зони. Найбільшою серед них є лісопарк на вул. Центральний аеропорт площею 284 323,70 м², тоді як найменша – зелена зона на вул. Василя Стуса, площа якої становить лише 602,43 м². Аналіз якісного стану зелених насаджень показує, що 5,8 % об'єктів перебувають у доброму стані, а 94,1 % – у задовільному. Зелених зон у незадовільному стані в районі не виявлено.

Пересипський район характеризується вираженим дефіцитом рекреаційних зелених територій. На його території значну частку займає сектор старої приватної забудови (мікрорайони «Балтський», «Жеваховський», «Крива Балка», «Слобідка») та великі промислові вузли – Куліндорівський, Куяльницький і Пересипський, що істотно обмежує можливості формування достатньої мережі зелених зон. Загальна площа зелених насаджень становить лише 0,6 км² із загальної площі 25,3 км². Найбільшою зеленою зоною в районі є парк ім. Котовського площею 257697,13 м², а найменшою – зелена зона вздовж вулиці Павла Кравцова площею 633,62 м². Якість зелених насаджень у Пересипському районі така: добрий стан – 38,3 %, задовільний стан – 58,3 %, незадовільний стан – 3,3 %. У відсотковому співвідношенні: добрий стан – 9,5 %, задовільний стан – 85,71 %, незадовільний стан – 4,76 %.

Порівняльний аналіз зелених зон районів м. Одеси за їх якістю показав, що у Приморському районі 38,3 % зелених насаджень перебувають у доброму стані. Це найвищий показник серед районів. На другому місці – Київський район з 23,8 %, на третьому – Хаджибейський район з 5,8 %, а на останньому – Пересипський район, де лише 2,1 % зелених зон у доброму стані.

Переважає більшість зелених зон у Приморському (58,3 %), Київському (71,4 %) та Пересипському (66,1 %) районах перебувають у задовільному стані. А от у Хаджибейському районі майже всі зелені насадження перебувають

у задовільному стані (94,1 %), але при цьому зелених насаджень у незадовільному стані в цьому районі немає взагалі. В інших трьох районах частка зелених насаджень у незадовільному стані майже однакова і становить в середньому 4 %.

Як зазначалося вище, рівень озеленення визначався за фактичною площею зелених насаджень у районах Одеси за формулою 1. Класифікація зелених насаджень за районами міста була здійснена на основі аналізу інтерактивної карти зелених насаджень та даних Google Maps. Аналіз забезпеченості зеленими насадженнями районів Одеси показав, що забезпеченість населення районів зеленими насадженнями є недостатньою (рис.1).

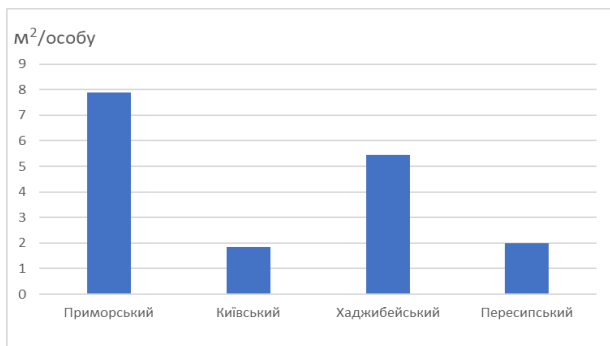


Рис. 1 – Забезпечення районів м. Одеса зеленими зонами, м²/людину

Так, у Київському районі забезпеченість зеленими насадженнями є найнижчою і становить 1,85 м²/ особу. Друге місце посідає Пересипський район з показником 2,0 м²/ особу, а третє – Хаджибейський район з показником 5,45 м²/ особу. Найвищий показник забезпеченості зеленими насадженнями у Приморському районі – 7,89 м²/ особу, але він все ще є недостатнім відповідно до нормативів.

Відповідно до стандартів озеленення міст ВООЗ, площа зелених насаджень повинна становити 50 м²/ людину. Відповідно до Закону України «Про зелені насадження в містах та інших населених пунктах» площа зелених насаджень загального користування в містах повинна становити не менше 25 м²/ людину. На рисунку 2 показано забезпеченість зеленими насадженнями загального користування районів м. Одеса в розрахунку на одну особу.

Як видно з рисунку 2, територія фактичних парків і скверів у районах м. Одеса не відповідає рекомендаціям ВООЗ та містобудівним нормам.

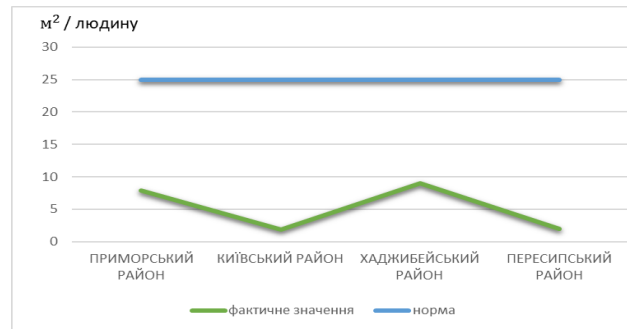


Рис. 2 – Забезпеченість зеленими насадженнями загального користування по районах м. Одеса, м²/людину

Нестача зелених насаджень у міських районах здатна спричинити низку негативних наслідків, зокрема погіршення екологічного стану, підвищення рівня забруднення повітря, обмеженість рекреаційних просторів та недостатній ефект природного охолодження в періоди інтенсивної спеки. В Україні існує чимало міст, у яких стан зелених насаджень та темпи їх розвитку потребують більшої уваги, адже зелені території є невід'ємною складовою комфортного міського середовища. Далеко не всі населені пункти охоплені системними дослідженнями у сфері озеленення, а на практиці нерідко не виконуються установлені правила та нормативи озеленення для різних функціональних зон міста. Це зумовлено низкою чинників: відсутністю довгострокових стратегій розвитку зелених насаджень, недостатнім обсягом фінансування, специфікою планувальної структури міських територій та іншими обмеженнями.

4. ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень нами сформована система індикаторів, що дозволяють дослідити стан фітогенного компонента урбосистеми на основі кількісних характеристик озеленення урбанізованих територій. Сама система показників охоплює загальні, що базуються на площі озелених територій міста, та специфічні індикатори, що пов'язані із рівнем озеленення окремих структурних елементів системи зелених насаджень.

Результати дослідження показали, що природні умови у місті Білгород-Дністровський характеризуються дефіцитом площі зелених насаджень парків та скверів, та достатнім (на одного мешканця) озелененням житлових районів та загальної території міста.

Аналіз зелених зон районів м. Одеса показав, що найвищий рівень забезпеченості населення зеленими насадженнями серед районів Одеси

спостерігається у Приморському районі – 7,89 м² на особу. Другим за показником є Хаджибейський район, де на одного мешканця припадає 5,45 м² зелених територій. Пересипський та Київський райони характеризуються майже однаковим рівнем забезпеченості – відповідно 2,0 та 1,9 м² на особу. Водночас наявні площі парків і скверів значно поступаються рекомендованим нормам ВООЗ та чинним містобудівним стандартам.

Порівняльний аналіз зелених зон за їх якісним станом засвідчив, що найсприятливіші показники відзначаються у Приморському районі. На другому місці за якістю насаджень знаходиться Київський район, за ним – Хаджибейський, а найнижчі показники зафіксовано у Пересипському районі. Для підвищення рівня комфорту проживання в місті необхідно посилити розвиток зеленої інфраструктури, зокрема створити зелений пояс Одеси. Така система має об'єднувати приморські схили, міські парки, сади, сквери, зелені бульвари та вулиці, охоплюючи всі райони міста та прилеглі території.

У районах із недостатньою забезпеченістю зеленими зонами доцільно впроваджувати сучасні інноваційні рішення щодо розширення площ озеленення. Це може включати вертикальне та площинне озеленення будівель – озеленення фасадів, дахів, створення зелених шумозахисних екранів та інших конструктивних елементів, що дозволяють компенсувати дефіцит відкритих територій.

Під час формування нових зелених просторів варто віддавати перевагу посухостійким низькорослим деревам, чагарникам і багаторічним високотривким травам, переважно місцевого походження. Використання автохтонних видів сприяє підвищенню стійкості зелених насаджень до міських стрес-факторів та зниженню витрат на догляд.

Окрім кількісних індикаторів, переставлених у статті, не менш важливим є й якість зелених насаджень. Для забезпечення довготривалої екологічної стабільності зелених насаджень необхідно організувати систематичний екологічний моніторинг. Регулярний контроль дозволить вчасно виявляти ознаки захворювань, пошкоджень чи деградації рослин, а також оперативно здійснювати відповідні заходи з відновлення та догляду.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hannah Ritchie, Veronika Samborska and Max Roser.

- Urbanization. URL: <https://ourworldindata.org/urbanization> (Accessed: 11 November 2025).
2. OECD. Compact City Policies: A Comparative Assessmentm. OECD: Paris, France, 2013. URL: http://www.epa.gov/region10/pdf/tmdl/awt_report.pdf (Accessed: 12.11.2025)
3. Campbell S. Green cities, growing cities, just cities? Urban planning and the contradictions of sustainable development. *J. Am. Plan. Assoc.* 1996. 62. Pp. 296–312.
4. Lehmann S. What is green urbanism? Holistic principles to transform cities for sustainability. *Climate Change—Research and Technology for Adaptation and Mitigation*. InTech: Rijeka, Croatia, 2011. Chapter 14. Pp. 243–266.
5. UN Habitat. Habitat III Issue Papers on Urban and Spatial Planning and Design. UN Habitat: New York, NY, USA, 2015. URL: <https://unhabitat.org/habitat-iii-issue-papers> (Accessed: 13 November 2025)
6. Environment monographs № 83: OECD core set of indicators for environmental performance reviews. Paris: OECD, 1993. 38 p. URL: www.nssd.net/pdf/gd93179.pdf (Accessed: 15 November 2025)
7. OECD environmental indicators 2003: development, measurement and use. URL: <http://www.oecd.org/env/> (Accessed: 15 November 2025)
8. Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-06#top> (дата звернення: 13.11.2025).
9. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (дата звернення: 13.11.2025).
10. Васютинська К. А. Оцінка показників екосистемних послуг міських зелених зон залежно від урбогенного навантаження регіонів України. *Екологічні науки*. 2021. Вип. 1(34). С. 36-43. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.7>
11. Кухтар Д. В., Качала Т. Б. Оцінка рівня озеленення урбоекосистеми міста та розроблення заходів щодо його оптимізації на прикладі м. Івано-Франківська. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2021. № 1 (23). С. 33 – 45. DOI:10.31471/2415-3184-2021-1(23)-33-45
12. Коваленко А. А., Плешкановська А. М. Типи схем організації зеленої зони міст. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2015. Вип. 5. С. 185–192.
13. Кучерявий В. П. Урбоекологія: підручник / В. П. Кучерявий. Львів: «Новий світ 2000», 2021. 460 с.
14. Кучерявий В. П. Озеленення населених місць / В.П. Кучерявий. Львів: Світ, 2005. 456 с.
15. Зелені насадження міста Одеса. URL: <https://greencity.omr.gov.ua/dereva#map=19//46.437270018523535//30.768740773200992&&layer=1664656129424098568-1,100//2521278728567260649-1,100//2521267671635330532-1,100//2263127208933459762-1,100> (дата звернення: 25.11.2025).
16. Про визначення адміністративних центрів та затвердження територій територіальних громад Одеської області. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 черв. 2020 р. № 720-р. Київ. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-viznachennyaadministrativnih-a720r> (дата звернення: 25.11.2025).
17. Про затвердження Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України. Наказ Наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-

комунального господарства від 24 груд. 2001 р. № 226. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0182-02#Text> (дата звернення: 25.11.2025).

REFERENCES

- Ritchie, H., Samborska, V., & Roser, M. (2025). Urbanization. Available at: <https://ourworldindata.org/urbanization> (Accessed: 11 November 2025).
- OECD. (2013). Compact city policies: A comparative assessment. Paris, France: OECD. Retrieved November 12, 2025, Available at: <https://ourworldindata.org/urbanization> (Accessed: 12 November 2025).
- Campbell, S. (1996). Green cities, growing cities, just cities? Urban planning and the contradictions of sustainable development. *J. Am. Plan. Assoc.*, 62, 296–312.
- Lehmann, S. (2011). What is green urbanism? Holistic principles to transform cities for sustainability. In *Climate Change – Research and Technology for Adaptation and Mitigation* (Chap. 14, pp. 243–266). Rijeka, Croatia: InTech.
- UN Habitat. (2015). Habitat III Issue Papers on Urban and Spatial Planning and Design. Retrieved November 13, 2025, Available at: <https://unhabitat.org/habitat-iii-issue-papers> (Accessed: 13 November 2025).
- Environment monographs № 83: OECD core set of indicators for environmental performance reviews. Paris: OECD, 1993. 38 p. URL: www.nssd.net/pdf/gd93179.pdf. (Accessed: 15 November 2025)
- OECD environmental indicators 2003: development, measurement and use. URL: <http://www.oecd.org/env/> (Accessed: 15 November 2025)
- Pravyly utrymannia zelenykh nasadzen u naselenykh punktakh Ukrainy*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-06#top> (Accessed: 13 November 2025).
- DSP 173-96. Derzhavni sanitarni pravyla planuvannia ta zabudovy naselenykh punktiv. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (Accessed: 13 November 2025).
- Vasiutynska E. [Assessment of the ecosystem service indicators of urban green zones in relation with the urbogenic load of Ukraine regions]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]* 1(34), pp. 36-43. (in Ukr.)
- Kukhtar D. V., Kachala T. B. Otsinka rivnia ozelenennia urboekosystemy mista ta rozroblennia zakhodiv shchodo yoho optymizatsii na prykladi m. Ivano-Frankivska. [Assessment of the level of greening of the urban ecosystem of the city and development of measures for its optimization using the example of the city of Ivano-Frankivsk]. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia [Environmental safety and balanced resource use]* 1(23). pp. 33-45. (in Ukr.)
- Kovalenko A. A., Pleshkanovska A. M. Typy skhem orhanizatsii zelenoi zony mist. Arkhitekturnyi visnyk KNUBA. [Types of schemes for organizing green areas in cities]. *Arkhitekturnyi visnyk KNUBA. [Architectural Bulletin of the KNUBA.]* 5. pp. 185-192. (in Ukr.)
- Kucheriavyy V. P. Urboekolohiia: pidruchnyk [Urban ecology: a textbook] / V. P. Kucheriavyy. Lviv: «Novyi svit 2000». (in Ukr.)
- Kucheriavyy V. P. Ozelenennia naselenykh mist. [Greening of populated areas]. Lviv: Svit. (in Ukr.)
- Zeleni nasadzhennia mista Odesa*. Available at: <https://greencity.omr.gov.ua/dereva#map=19//46.437270018523535//30.768740773200992&&layer=1664656129424098568-1,100//2521278728567260649-1,100//2521267671635330532-1,100//2263127208933459762-1,100> (Accessed: 25 November 2025).
- Pro vyznachennia administratyvnykh tsentriv ta zatverdzhennia terytorii terytorialnykh hromad Odeskoi oblasti. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 12 cherv. 2020 r. № 720-r*. Kyiv. Available at: <https://greencity.omr.gov.ua/dereva#map=19//46.437270018523535//30.768740773200992&&layer=1664656129424098568-1,100//2521278728567260649-1,100//2521267671635330532-1,100//2263127208933459762-1,100> (Accessed: 25 November 2025).
- Pro zatverdzhennia Instruksii z inventaryzatsii zelenykh nasadzen u naselenykh punktakh Ukrainy. Nakaz Ministerstva budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva vid 24 hrud. 2001 r. № 226*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0182-02#Text> (Accessed: 25 November 2025).

RESEARCH OF THE PHYTOGENIC COMPONENT OF THE URBOSYSTEM USING QUANTITATIVE INDICATORS OF CITY GREENING

V. Prykhodko, A. Ilina

Odesa I.I. Mechnikova National University,
2, Vsevoloda Zmiienka St., 65016 Odesa, Ukraine, vks26@ua.fm

The characteristics of modern urbanisation are leading to the expansion of urban areas at the expense of natural features, primarily green spaces. Green spaces play a fundamental role in shaping the ecological balance of urban systems, ensuring the health of the population and increasing the resilience of urbanized areas to anthropogenic loads. The shortage of green areas in cities, their reduction in area and deterioration of the quality of plantings constitute one of the most acute environmental problems. This article examines indicators, the definition of which is based on the quantitative characteristics of the greening of an urbanized area. The aim of the study is to develop an approach for quantitative assessment of the phytogenic component state based on indicators of greening of the territory and to test the algorithm for certain urbanised areas based on

analysis of available statistical data. Among the indicators, general (level of greening of the territory, provision of green spaces for the population) and specific (number or area of structural elements, level of greening of structural elements, recreational load) indexes are highlighted. Calculations of the provision of green spaces have shown significant spatial unevenness of the level of greening of cities. The natural conditions of the city of Bilhorod-Dnistrovskyi are characterized by a shortage of green areas in parks and squares, and sufficient (per inhabitant) greening of residential areas and the general territory of the city. The analysis shows that no district of Odessa meets the minimum requirements of national standards and recommendations of international organizations. The situation of Peresypsky and Kyivsky districts is especially critical, where there is a shortage of green areas per inhabitant. The qualitative state of green areas was additionally assessed. The most balanced in terms of the quality of green areas is the Primorsky district, while the Peresypsky district is distinguished by the worst indicators of both qualitative and quantitative provision. A comparison of the calculated indicators with the standards shows that the actual provision of green areas in Odessa is on average only 15–30% of the recommended values. This indicates systemic ecological instability and a high level of technogenic load on the urban territory.

Keywords: greening, provision of green spaces, urbanized areas, green infrastructure, quality of green spaces, urban ecosystem.

Подання до редакції : 28. 11. 2025

Надходження остаточної версії : 05. 12. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025

УДК 504.4.062.2:556.18

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ФОРМУВАННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРІСНОВОДНИМИ РЕСУРСАМИ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

А. В. Колісник, В. І. Трахтенберг, М. Г. Сербов

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна

kolisnyk.a.v@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0622-9637>, <https://orcid.org/0009-0005-9833-1581>

<http://orcid.org/0000-0002-0220-6745>

В роботі висвітлені питання оцінки основних методологічних підходів формування моделі інтегрованого управління прісноводними ресурсами на регіональному рівні, які включають: басейновий принцип, системний підхід, інтеграцію управління водними ресурсами з управлінням землекористуванням тощо, багатоцільове використання природного ресурсу, екологічну стійкість та економічну ефективність. Охарактеризовані основні складові національної водної стратегії України на регіональному, галузевому та ресурсному рівнях. Зазначено, регіональні стратегії передбачають певне поєднання ресурсних та галузевих стратегій на рівні окремих адміністративно-територіальних одиниць із урахуванням рівня забезпеченості територій прісноводними ресурсами, а також структури господарського комплексу регіону у розрізі видів господарсько-виробничої діяльності, розподілу чисельності та структури населення за типом населених пунктів регіону, а також прогнозних характеристик розвитку даних соціо-економічних показників.

Запропонована модель інтегрованого управління прісноводними ресурсами на регіональному рівні, яка ґрунтується на системному підході, дослідження регіональних водних ресурсів як цілісної системи соціо-гуманітарного та екологічно збалансованого підходів у сфері водокористування. Запропонована інноваційна модель обумовлює необхідність трансформації цільових орієнтирів функціонування водогосподарського комплексу як окремих регіонів, так й країни в цілому, в напрямку задоволення потреб теперішнього і майбутнього поколінь у прісноводних ресурсах, забезпечення безпечного середовища та захисту від стихійних можливостей води, що повинно сприяти необхідним інституціонально-структурним перетворенням на рівні регіонів, районів та громад. Визначено орієнтири стратегічного розвитку системи регіонального управління прісноводними ресурсами: актуалізація громадської активності, забезпечення продуктивного та збалансованого використання природних та економічних ресурсів, в тому числі, людського капіталу, на засадах диверсифікації інноваційних форм взаємовідносин у самій системі управління в контексті інституціональних перетворень.

Ключові слова: інтегроване управління, регіональні прісноводні ресурси, інноваційна модель.

1. ВСТУП

Прісноводні ресурси в більшості випадків є ключовим компонентом розміщення продуктивних сил, сталого та ефективного соціально-економічного розвитку не тільки окремих промислових об'єктів, але й цілих галузей господарського комплексу, а також окремих територій та регіонів. За даними [1] гострий дефіцит прісноводних ресурсів може вплинути на умови існування близько двох третин населення Землі упродовж найближчих кількох десятиліть. На сьогодні відповідно результатів досліджень ООН [1] від дефіциту води страждає понад 40% населення Землі,

доступу до якісного ресурсу позбавлені близько 800 млн осіб, більше 2 млрд жителів планети потребують додаткових джерел доступу до якісного прісноводного ресурсу, а 4,5 млрд – до безпечних послуг санітарії. Тому на сьогодні відновлення та очищення прісноводних ресурсів, зменшення конкуренції за ними між різними секторами економіки, залишаються одними з найбільш актуальних питань як на національному, та і на світовому рівнях.

Стратегічними цілями Сталого розвитку [2] залишається забезпечення чистою водою всього населення планети. У багатьох країн все ще існує тенденція вирішувати проблеми дефіциту

води шляхом збільшення водопостачання, збільшення зберігання та розподілу поверхневих і підземних вод, створення нової інфраструктури, опріснення солоної або солонуватої води, повторне використання стічних вод або поповнення водоносних горизонтів. Ця тенденція в більшості випадків переважає над зосередженням уваги на зменшенні попиту на природний ресурс, наприклад, шляхом зменшення загальних показників втрат, зміна технологій водокористування і, загалом, підвищення ефективності використання води та підвищення загальної продуктивності її використання.

Дефіцит прісноводних ресурсів можливо вирішити шляхом ефективного та раціонального їх використання, при цьому використовуючи сучасні інноваційні рішення, що дозволять значно модернізувати водоресурсну інфраструктуру країни.

Саме тому пошук інноваційних рішень щодо очищення, збереження та відновлення прісноводних ресурсів набуває все більшої актуальності, а дослідження сучасного стану інноваційного потенціалу прісноводних ресурсів та перспектив технологічного розвитку в умовах світових трендів є досить актуальними та важливими.

2. ЦІЛЬ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціль дослідження – розробка методологічних підходів формування інноваційної моделі інтегрального управління прісноводними ресурсами на регіональному рівні з метою забезпечення водної безпеки, екологічної стабільності в умовах сталого розвитку. Зазначені підходи повинні формувати науковий базис управлінських рішень в умовах адаптації до кліматичних змін та захисту водних екосистем.

Для досягнення визначеної цілі були проведені:

1. Дослідження основних інноваційних засад управління прісноводними ресурсами в контексті сталого розвитку.

2. Аналіз та визначення основних орієнтирів стратегічного розвитку системи інтегрованого управління прісноводними ресурсами: забезпечення продуктивного та збалансованого використання природних та економічних ресурсів, актуалізація громадської активності.

3. Розробка та обґрунтування концептуальних основ формування моделі регіонального інтегрованого управління

прісноводними ресурсами територій в умовах сталого розвитку, яка враховує інноваційні форми взаємодії у сфері водокористування.

3. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Нині водогосподарські та гідроекологічні проблеми України набули не лише загальнодержавного, а й міжнародного значення. Водний фактор став не лише одним із основних показників, що лімітують економіко-соціальний розвиток регіонів, а й безумовною парадигмою національної безпеки України.

За останні роки суттєво розширився спектр, та значно активізувалися різноманітні наукові дослідження у питаннях сталого та збалансованого розвитку прісноводних систем, пов'язані з вирішенням завдань оптимізації природокористування та оздоровлення навколишнього середовища.

Розробці підходів побудови ефективної системи управління водними ресурсами, збалансованого та сталого їх використання, приділяється увага в дослідження багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених, серед яких можна виділити наукові роботи В. Сташука, Л. Левківської, М. Ромащенко, В. Голяна, М. Хвесика, М. Стадника, А. Сундука, та ін. [3-10].

До головного переліку ключових проблем, що виокремлюються в сучасних дослідженнях відносяться:

- «недостатня інтеграція екологічної складової у водну політику;
- фрагментарність управління між окремими державними відомствами і установами, відсутність єдиної інформаційної системи;
- застарілі мережі моніторингу, нестача даних спостережень;
- сучасні кліматичні зміни, які обумовлюють зниження водності річок, а також збільшення частоти небезпечних гідрометеорологічних явищ;
- відносно низький рівень участі місцевих громад.» [3,11,12].

Автори [9] вважають, що «Важливим є акцентування уваги на екологічних інноваціях, в тому числі й у сфері водозабезпечення, особливо прісноводної безпеки, що спроможні забезпечити сталий розвиток водного господарства, збереження якості довкілля, раціональне використання водних ресурсів, задоволення потреби майбутніх поколінь у питній воді достатньої кількості та необхідної

якості». Саме процеси нераціонального використання води можливо призупинити за рахунок використання екологічних інновацій сьогодні.

Необхідно погодитися з думкою Крилової І.І., що «Інноваційні перетворення у сфері водопостачання та водовідведення є визначальним фактором підвищення ефективності діяльності підприємств, підвищення якості послуг, підвищення екологічних та соціальних стандартів тощо. Разом із тим інновації самі по собі не можуть здійснити реформування у сфері водопостачання та водовідведення, а тільки як складова частина державного регулювання, що вирішує комплекс проблем сфери від управління ресурсами до підготовки професійних кадрів. Досвід ЄС доводить ефективність державної політики у сфері водопостачання та водовідведення, яка сприяє інноваційній діяльності в цій сфері, незалежно від моделі управління та моделі регулювання» [13]. Отже, необхідність формування державної політики у сфері водопостачання та водовідведення на засадах інноваційної моделі є викликом для всіх держав світу.

Відповідно до національної доповіді [2] «Цілі сталого розвитку: Україна» «Україна належить до групи країн зі складними проблемами довкілля. Вони є типовими, з одного боку, для країн, що розвиваються (незбалансоване використання та вихолощення природних ресурсів), а з іншого – для індустріально розвинених країн (забруднення довкілля промисловою діяльністю). Специфічною проблемою трансформаційного періоду є поводження з відходами. Обсяги утворених відходів зростають, а частка тих, що переробляються, є незначною. Незмінна практика депонування новоутворених відходів на переповнених полігонах є загрозою для довкілля й посилює ризики для здоров'я населення. Існуюча практика землекористування спричиняє погіршення стану земель, а виснажливе використання земельних, лісових і водних ресурсів призводить до незворотних втрат екосистемного та біологічного різноманіття. Частка природно-заповідних територій України (не більше 6,9% від загальної площі країни) є недостатньою для запобігання таким втратам. Вагомим чинником негативного впливу на довкілля є також збройний конфлікт на сході України. Подолання наслідків руйнації ландшафтів та знищення значної частини в зонах

активних бойових дій потребує значних зусиль, ресурсів і часу на відновлення».

Пахаренко О. В. вважає, що «виробництво, установка й експлуатація природоохоронних (очисних) будов; перероблення, транспортування і поховання відходів, ліквідація токсичних відходів; розроблення і впровадження екологічно чистих технологій; торгівля екологічними технологіями; екоаудит і екоекспертиза все це є екологічними інноваціями» [14]. Однак, сьогодні під екологічними інноваціями необхідно розуміти дещо більше ніж технології очищення, перероблення, транспортування і поховання та ліквідація токсичних відходів. Вважаємо, що екологічні інновації це комплексна система екологічних рішень, що направлена на удосконалення управління природоохоронною діяльністю на засадах відкритості даних, доступності, масштабування та впровадження інноваційних технологій.

В своїх дослідженнях Мартієнко А. І. та Бондаренко С. А. наголошують, що «вважають своєрідним індикатором сталого і зрівноваженого розвитку в умовах конкуренції - екологічні інновації. Є комплексними і доволі складними технології, що дозволяють ефективно вирішувати екологічні проблеми, вимагає не тільки інноваційних інженерних ідей, а й інноваційних підходів в управлінні та організації життя суспільства» [15].

В свою чергу дослідники Сагайдак І. С. та Биховченко В. П. визначають, що «Реалізація міжнародних зобов'язань України у сфері охорони довкілля неможлива без фінансового забезпечення екологічної модернізації підприємств, яким необхідно привести свою діяльність до високих європейських стандартів. Тому очевидним є термінове відновлення і підвищення обсягів цільового використання коштів екологічного податку та утворення з цією метою позабюджетного Державного фонду охорони навколишнього природного середовища з визначенням чітких напрямків використання коштів та створення незалежного, ефективного, прозорого інструменту для фінансування природоохоронних заходів на основі успішного досвіду деяких країн ЄС» [16]. Недостатність державного фінансування приводить до застарілої та зношеної матеріально-технічної бази природоохоронної сфери, саме тому пошук альтернативних джерел фінансування є досить необхідним.

Вдовенко Н. та Коробова Н. вважають, що «Формування сучасних тенденцій щодо забезпечення оптимальної дії системи збалансованого функціонування водогосподарського комплексу спонукає до удосконалення й поглиблення підходів щодо забезпечення поступового розвитку системи сталого водокористування. При цьому важливим є визначення та економічна оцінка ресурсів як бази для розвитку, освоєння й експлуатації водних ресурсів у контексті впровадження положень Водної Рамкової Директиви ЄС» [17]. Щодо імплементації Водної Рамкової Директиви в Україні розроблені та впроваджуються: система інтегрованого управління прісноводними ресурсами на засадах басейнового принципу, районування територій, Водна Стратегія України на період до 2050 року [18].

Як зазначається у статті 360 Угоди «передбачається, що посилення природоохоронної діяльності матиме позитивні наслідки для громадян та підприємств в Україні та ЄС, зокрема, через покращення системи охорони здоров'я, збереження природних ресурсів, підвищення економічної та природоохоронної ефективності, інтеграції екологічної політики в інші сфери політики держави, а також підвищення рівня виробництва завдяки сучасним технологіям» [19].

Відповідно досліджень Скрипчук П. М. «Інноваційними напрямками вдосконалення механізмів державного регулювання системного використання водоресурсного потенціалу України є:

- всі аспекти синергії, якості, гармонізації законів і нормативів, забезпечення національної безпеки держави у сфері водних ресурсів у зв'язку зі зростанням водоспоживання, а також тотальним забрудненням, передусім поверхневих вод;

- гарантування надійності й безпеки гідротехнічних споруд; вивчення питань щодо зростання антропогенного навантаження на підземні води;

- обґрунтування аспектів ціноутворення на питну воду;

- інтегроване управління водними ресурсами;

- зменшення водоємності валового внутрішнього продукту;

- подальша раціоналізація водокористування;

- будівництво й реконструкція систем водопостачання та водовідведення; наукове обґрунтування якості питного водопостачання;

- удосконалення очищення стічних вод і посилення відповідальності за забруднення;

- випереджальний розвиток науково-технічної та нормативної бази водогосподарського комплексу;

- розвиток теорії та практики вирішення сучасних екологічних конфліктів;

- підвищення ефективності розподілу водних ресурсів;

- широке впровадження розроблених інноваційних технологій (приміром, екологічної стандартизації якості всіх видів вод, екологічного водогосподарського аудиту, екологічної сертифікації басейнів річок та поверхневих водойм для різних цілей господарювання)» [20]. Отже, для імплементації Водної рамкової Директиви необхідно розробити та ухвалили стратегію розвитку водної політики країни на макро-, мезо-, та мікрорівнях.

Широков М. А. вважає, що «Важливими умовами удосконалення організаційно-управлінських механізмів регулювання водокористування є: 1) перегляд організаційної структури управління з уточненням прав, обов'язків та повноважень органів всіх рівнів з уточненням їх функціональних обов'язків; – розроблення ефективних мотиваційних систем, спрямованих на розвиток персоналу водного господарства а також для водокористувачів; 2) формування ефективної системи моніторингу, координації та контролю за станом та використанням водних ресурсів, що базуватиметься на оновленій нормативно-правовій базі та сучасних інформаційних системах; 3) оптимізація систем планування та прогнозування розвитку водних ресурсів й потреб на основі комплексного стратегічного підходу, що враховує не тільки загальні тенденції та поточні потреби, а також тенденції розвитку вітчизняної і світової економіки, зміни демографії, клімату тощо» [21].

За даними [22,23] «Екологічні проблеми України реальніше можна вирішувати за допомоги міжнародних партнерів, що спрямовує зусилля національних рушійних сил на гармонізацію життєдіяльності міжнародної допомоги, залучення іноземних інвестицій, зокрема виробництва, запровадження ресурсоощадливих технологій, розвиток регіональної системи управління промисловими відходами та створення екологічних фондів».

Голтвенко О.В. вважає, що «Шлях інноваційного розвитку еколого-економічної системи, базуючись на принципах адаптивності, динамічності, самоорганізації, саморегуляції та саморозвитку, має визначатися загальними тенденціями економічного зростання та враховувати її адміністративно-територіальні особливості, природно-ресурсний та виробничо-економічний потенціал» [24].

Аналіз наукових досліджень показує, що інтегроване управління прісноводними ресурсами на регіональному рівні є комплексною міждисциплінарною діяльністю, що охоплює гідрометеорологію, охорону навколишнього середовища, питання соціо-економічного, правового спрямування та багатомірне математичне моделювання природних процесів. Сучасні дослідження та науково-технічні розробки спрямовані, в першу чергу, на удосконалення систем моніторингу, розвиток моделей управління, інтеграцію екосистемних підходів та посилення участі місцевих громад.

Незважаючи на значний обсяг сучасних наукових досліджень, концептуальні питання формування інноваційної моделі регіонального управління прісноводними ресурсами в умовах сталого розвитку залишаються недостатньо вивченими.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

За даними Державної служби статистики України витрати на охорону та раціональне використання прісноводних ресурсів з роками збільшуються. У 2020 році загальна сума витрат на охорону навколишнього природного середовища за видами природоохоронних заходів становила 41,3 млрд грн. Необхідно відмітити, що у 2014 році сума витрат на охорону навколишнього природного середовища за видами природоохоронних заходів становила 21,9 млрд грн, це у 1,88 рази більше.

Загальна структура витрат на охорону та раціональне використання прісноводних ресурсів поділяється на витрати на захист і реабілітацію ґрунту, підземних і поверхневих вод, очищення зворотних вод та науково-дослідні роботи природоохоронного спрямування. Найбільшу питому вагу у 2020 році в структурі витрат займають поточні витрати – 75,02%, при цьому капітальні інвестиції – 24,97%. За досліджуваний період структура витрат на охорону та раціональне

використання прісноводних ресурсів значно не змінилась.

У 2020 році структура капітальних інвестицій становила 61,8% на захист і реабілітацію ґрунту, підземних і поверхневих вод, 12,8 % на очищення зворотних вод та 7,67% на науково-дослідні роботи природоохоронного спрямування. Таким чином, найбільшу суму капітальних інвестицій було спрямовано на захист і реабілітацію ґрунту, підземних і поверхневих вод – 2554224,5 тис. грн та на очищення зворотних вод – 1578201,4 тис. грн.

Поточні витрати у 2020 році були спрямовані:

- очищення зворотних вод – 10746809,8 тис. грн;

- захист і реабілітацію ґрунту, підземних і поверхневих вод – 1577030,8 тис. грн;

- науково-дослідні роботи природоохоронного спрямування – 118079,1 тис. грн.

Позитивним є закономірність зміни динаміки витрат на науково-дослідні роботи природоохоронного спрямування (рис.1) змодельована в середовищі табличного процесора Microsoft Excel за допомогою поліномів другого порядку з рівнем достовірності апроксимації $R^2 = 0,86$. Зважаючи на коливальність полінома, можна передбачити на найближчий майбутній період збільшення обсягу витрат на науково-дослідні роботи природоохоронного спрямування в Україні.

В цілому, починаючи з 2014 року витрати на науково-дослідні роботи природоохоронного спрямування збільшилися з 59,1 млн грн до 827,9 млн грн у 2020 році, або майже в 14 разів. Необхідно відмітити про позитивну тенденцію щодо фінансування науково-дослідних робіт природоохоронного спрямування.

Динаміка капітальних інвестицій на очищення зворотних вод та захист і реабілітацію, підземних і поверхневих вод за 2006-2020 роки наведено на рис. 2.

Поліноміальний тренд закономірності зміни обсягів капітальних інвестицій на захист і реабілітацію, підземних і поверхневих вод з рівнем достовірності апроксимації 93,4 %

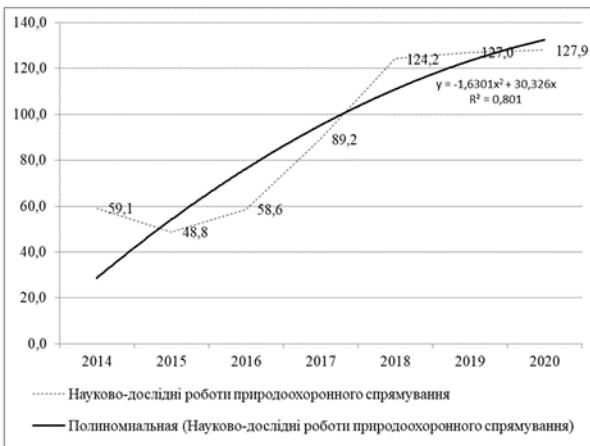


Рис. 1 – Динаміка витрат на науково-дослідні роботи природоохоронного спрямування за 2014-2020 роки, млн грн. [25, 26]

Fig. 1 – Dynamics of expenditures on environmental protection-oriented research and development for 2014-2020, million UAH [25, 26]

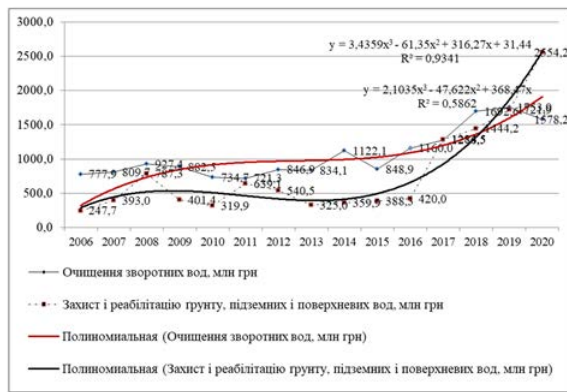


Рис. 2 – Динаміка капітальних інвестицій на очищення зворотних вод та захист і реабілітацію, підземних і поверхневих вод за 2006-2020 роки [25]

Fig. 2 – Dynamics of capital investments in wastewater treatment and the protection and rehabilitation of groundwater and surface water for 2006-2020 [25].

визначає на кінець 2020 р. оціночне значення капітальних інвестицій на рівні 2554,2 тис. грн, що можливо за умови збереження впливу всіх попередньо існуючих факторів, які зрівноважені в наведеній моделі динаміки.

Отже, у 2020 році структура витрат на очищення зворотних вод становила: 53% - очищення зворотних вод від забруднюючих речовин, 37% система каналізації, 9% запобігання утворенню забруднення за допомогою внесення змін у виробничий процес, 1% усунення теплового впливу зворотних вод на водні об'єкти.

У секторі води застосовуються технології опріснення солоної води і очищення води та стічних вод. Серед технологій опріснення лідером є технологія зворотного осмосу (RO)

морської, солонуватої та річкової води з часткою на глобальному ринку понад 58% та очікуваним середньорічним зростанням 9,2% упродовж 2017-2025 років завдяки підвищеній ефективності та можливості споживати менше енергії (рис. 3).

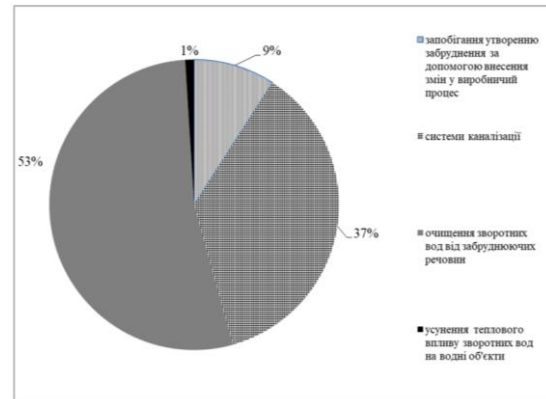


Рис. 3 – Структура витрат на очищення зворотних вод у 2020 році [25, 27]

Fig. 3 – Structure of expenditures on wastewater treatment in 2020 [25, 27]

Провідними регіонами світу щодо попиту на технології для опріснення води є Близький Схід і Африка та Азіатсько-Тихоокеанський регіон з часткою більше 40% світового попиту, а серед країн – Саудівська Аравія, США та ОАЕ. Ключовими країнами для зростання в найближчі роки є Іспанія, Китай, Австралія, Індія та країни Південної Америки.

Технологічні процеси очищення води поділяються на первинне, вторинне і третинне очищення. У 2018 році лідером був сегмент третинного очищення з часткою на глобальному ринку 43,2%. Ключовими технологіями третинного очищення є нанофільтрація, зворотний осмос, мембранні біореактори, мікрофільтрація та дезінфекція.

«У 2018 році лідером на ринку був сегмент обладнання мембранного поділу з обсягом \$6,16 млрд, який, за прогнозом, зростатиме завдяки підвищенню поінформованості про важливість нанофільтрації та зворотного осмосу для застосування в очистці стічних вод. Переважну частку на ринку (72,8%) мав сектор промислових відходів і очікується, що до 2025 року він досягне \$28,13 млрд. Сектор муніципальних відходів також зростатиме завдяки значному попиту в країнах, що розвиваються, зокрема, Бразилії, Китаї, Індії, Туреччині та Саудівській Аравії» [28].

Рейтинг регіонів України за рівнем витрат на охорону навколишнього середовища у 2020 наведено на рис. 4.

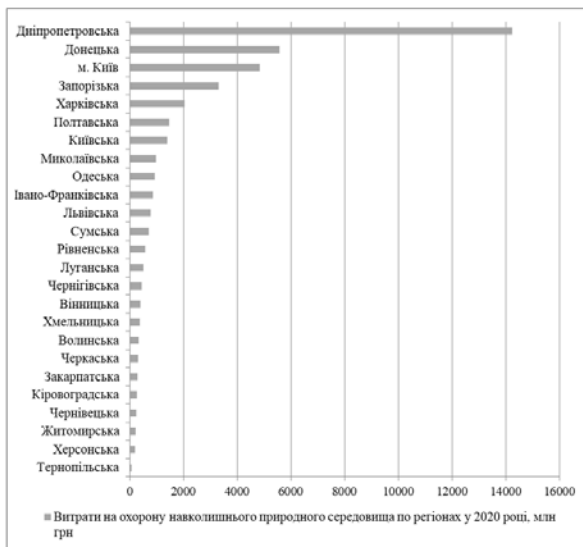


Рис. 4 – Рейтинг регіонів за рівнем витрат на охорону навколишнього середовища у 2020 році, млн грн [25, 26]

Fig. 4 – Ranking of regions by the level of environmental protection expenditures in 2020, million UAH [25, 26]

Найбільші обсяги витрат на охорону навколишнього середовища у 2020 спостерігається в Дніпропетровській, Донецькій, Запорізькій та Харківській областях, м. Києву. Найменші обсяги витрат на охорону навколишнього середовища: Тернопільська, Херсонська та Житомирська області.

Динаміка капітальних інвестицій на охорону навколишнього природного середовища за регіонами має позитивну динамку. Так, в цілому обсяг капітальних інвестицій збільшився на 10478,1 млн грн або 479,44%. Найвищі темпи зростання спостерігаються за наступними областями: Хмельницька, Миколаївська, Чернівецька, Волинська, Харківська.

У топ 5 рейтингу регіонів за рівнем капітальних інвестицій на охорону навколишнього середовища у 2020 році займали: на першому місці – Дніпропетровська, на другому місці – Донецька, на третьому місці – м. Київ, на четвертому місці – Запорізька та на п'ятому місці - Харківська області. Найменші обсяги витрат в Херсонській, Житомирській та Закарпатській областях. Рейтинг областей за поточними витратами на охорону навколишнього природного середовища у 2020 році наведено на рис. 5.

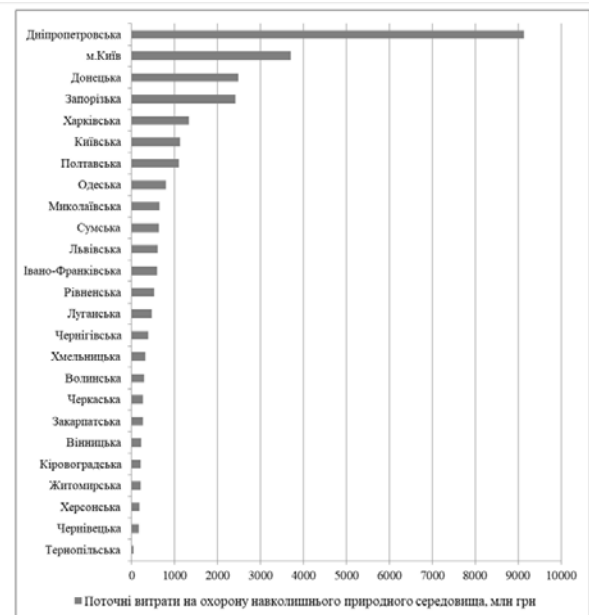


Рис. 5 – Рейтинг областей за поточними витратами на охорону навколишнього природного середовища у 2020 році, млн грн [25, 26]

Fig. 5 – Ranking of regions by current expenditures on environmental protection in 2020, million UAH [25, 26]

Загорський В.С. зазначив, що «Аналіз процесів сталого розвитку в Україні засвідчує, що в значній своїй частині проблеми переходу до сталого розвитку виявляються, насамперед, проблемами управління соціально-економічними процесами. Це управління, на відміну від нинішнього, має бути випереджальним і ґрунтуватися на ретельно продуманих довгострокових програмах. Випереджаюче спрямування повинна мати і законодавчо-правова база. Згідно з концепцією сталого розвитку, процес розвитку цивілізації повинен ставати все більш керованим, тобто заздалегідь проєктованим процесом взаємодії соціуму з оточуючим людиною середовищем» [29].

За результатами проведених досліджень запропоновано концептуальну схему інноваційної моделі регіонального управління прісноводними ресурсами в умовах досягнення екологічних цілей, в якій виділено чотири основних цикли (рис. 6).

Перший цикл, пов'язаний з урегулюванням поліпшення стану води, що угруповуються та формують агрегований комплекс виробничих факторів; другий – із заходів протипаводкового захисту, що угруповуються у відповідний агрегований комплекс показників та факторів; третій – із двома варіаціями, орієнтований на



Рис. 6 – Концептуальна схема інноваційної моделі регіонального управління прісноводними ресурсами в умовах досягнення екологічних цілей

Fig. 6 – Conceptual diagram of an innovative model for regional freshwater resource management in the context of achieving environmental goals

врегулювання системи інтегрованого управління, що забезпечує отримання синергетичного ефекту від взаємодії функцій ресурсозбереження та природно-ресурсної функції моделі сталого агровиробництва; четвертий – із питаннями формування та регулюванням сучасної системи моніторингу.

5. ВИСНОВКИ

1. Розкрито концептуальні основи формування інноваційної моделі інтегрального управління прісноводними ресурсами територій в умовах сталого розвитку.

2. Здійснено аналіз структура витрат на охорону та раціональне використання прісноводних ресурсів. Проаналізовано динаміку витрат на науково-дослідні роботи природоохоронного спрямування за 2014-2020 роки. Проаналізовано динаміку капітальних інвестицій на очищення зворотних вод та захист і реабілітацію, підземних і поверхневих вод за 2006-2020. Розкрито обсяг витрат на охорону навколишнього природного середовища по регіонах України. Наведено рейтинг регіонів за рівнем витрат на охорону навколишнього середовища у 2020 році.

3. Обґрунтовано концептуальну схему інноваційної моделі регіонального управління прісноводними ресурсами в умовах досягнення екологічних цілей, в якій виділено чотири основних цикли. Доведено, що перший цикл, пов'язаний з урегулюванням поліпшення стану води, що угруповуються та формують агрегований комплекс виробничих факторів; другий – із заходів протипаводкового захисту, що угруповуються у відповідний агрегований

комплекс показників та факторів; третій – із двома варіаціями, орієнтований на врегулювання системи інтегрованого управління, що забезпечує отримання синергетичного ефекту від взаємодії функцій ресурсозбереження та природно-ресурсної функції моделі сталого агровиробництва; четвертий – із питаннями формування та регулюванням сучасної системи моніторингу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глобальні питання порядку денного Організації Об'єднаних Націй. Вода. URL: <http://www.un.org/sections/issues-depth/water/index.html>
2. Цілі сталого розвитку: Україна: національна доповідь. 2017. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf>
3. Сташук В.А., Мокін В.Б., Гребін В.В., Чунарьов О.В. С Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом: монографія. Херсон: Гринь Д.С., 2014. 250 с.
4. Левковська Л. В., Мандзик В. М., Митрофанова О. К. Теоретичні засади формування системи сталого водозабезпечення в умовах екологічних обмежень. Економіка природокористування і сталій розвиток. 2020. № 7. С. 32–39. DOI: [https://doi.org/10.37100/2616-7689/2020/7\(26\)/4](https://doi.org/10.37100/2616-7689/2020/7(26)/4)
5. Левковська Л.В., Мандзик В.М., Формування моделі інтегрованого управління водними ресурсами в контексті забезпечення сталого водокористування. Екологічний менеджмент. Збалансоване природокористування. 2018. № 2. С. 46–53
6. Хвесик М. А., Голян В. А. Фінансове забезпечення модернізації меліоративних систем у зоні осушення: інституціональні передумови та організаційно-економічні трансформації. Вісник Львівського національного аграрного університету. 2014. № 21(2). С. 138–145
7. Ромашенко М. І., Балюк С. А., Вергунов В. А., Вожегова Р. А., Жовтоног О. І., Рокочинський А. М., Тараріко Ю. О., Трускавецький Р. С. Сталій розвиток меліорації земель в Україні в умовах змін клімату. Аграрні інновації. 2020. № 3. С. 56–64. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.3.10>
8. Зубко А.Г. Роль формування інтегрованих систем управління водними ресурсами у післявоєнній відбудові України. Економіка та суспільство. Вип. 49. 2023. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-49-64>
9. Стадник М. Є., Скупейко В. В. Інноваційні основи зміцнення прісноводної безпеки в системі підвищення конкурентоспроможності економіки України. Науковий Вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. 2016. № 1. С. 131–136. URL: https://www.lvduvs.edu.ua/documents_pdf/visnyky/nvse/01_2016/16smkeku.pdf
10. Судук О. Ю. Вітчизняний та зарубіжний досвід розвитку системи управління водогосподарським комплексом. Вісник соціально-економічних досліджень. 2015. № 56. С. 268–275
11. Serbov M., Kramarenko I., Irtysheva I., Stehnei M., Boiko Y., Hryshyna N., Khaustova K. (2023) The Efficiency of Water Resources Management in the Black Sea Region (Ukraine) in the Context of Sustainable Development Under the

Conditions of Military Operations// *Studia Regionalne i Lokalne* № 3(93). P. 78-90 <http://doi:10.7366/1509499539306>

12. Kovalskyi M., Serbov M., Zolotarova O., Hrachuk V., Novosad I. Development of Renewable Energy Sources: Impact on Sustainability and the Environment// *Grassroots Journal of Natural Resources*, Vol.7 No.3, P. 131-148 <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.0703ukr07>

13. Крилова І. І. Новітні технології в державному регулюванні сфери водопостачання та водовідведення. Право та державне управління. 2019. № 1 (34). Т. 2. С. 67–75.

14. Пахаренко О. В. Інновації в екологію як передумова забезпечення стратегії сталого розвитку водного господарства. Вісник СумДУ. 2016. № 7 (91). С. 194–199

15. Мартієнко А. І., Бондаренко С. А. Екологічні інновації в регіональній інноваційній системі. Ефективна економіка. 2015. № 8. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4232>

16. Матвійчук Н. М., Коленда Н. В., Сташук О. В., Теслюк С. А. Правове забезпечення бюджетного фінансування природоохоронної діяльності в Україні. Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики. 2021. №3 (38). С. 465–473

17. Сербов М.Г. Інноваційний потенціал прісноводних ресурсів України: стан, регіональні особливості та перспективи розвитку. Український журнал прикладної економіки. 2021. № 3. С. 110-120

18. Водна Стратегія України на період до 2050 року. Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 року за № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text>

19. Проект угоди з ЄС «Додаткова підтримка Міністерства екології та природних ресурсів України у впровадженні Секторальної бюджетної підтримки» ЯКІСТЬ ВОДИ ТА УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ: короткий опис Директив ЄС та графіку їх реалізації. URL: <https://drive.google.com/file/d/11dhGLdkh2lyInEIU9UEOpSyHh5zOyaj/view>

20. Скрипчук П. М. Сучасні підходи до формування водогосподарського менеджменту. Економіка і держава. 2012. № 11. С.27-30

21. Широков М. А. Напрямки удосконалення менеджменту водних ресурсів у контексті забезпечення продовольчої безпеки. Науковий вісник Ужгородського національного університету. 2017. Вип. 16. Ч. 1. С. 180–185

22. Стегней М. І. Фінансування екологічної політики закарпатської області. Причорноморські економічні студії. 2016. Вип. 8. С.205–210

23. Serbov M., Margitay L., Sokol M., Vozniuk N., Kurenda S. (2025) Sustainable development of water management in the context of climate change: Ukrainian experience// *Nativa, Sinop*, v. 13, n. 3, p. 393-403 <https://doi.org/10.31413/nat.v13i3.19461>

24. Голтвенко О.В. Концептуальні основи інноваційного розвитку функціонування соціо-еколого-економічних систем. Менеджер. 2019. № 1 (74). С.104–113

25. Сербов М.Г. Формування соціо-еколого-економічної системи прісноводних ресурсів: регіональні особливості та завдання управління: монографія/ Миколаїв: ФОП Швець В.М., 2021. 356 с.

26. Офіційний сайт Державна служба статистики України. URL: <http://www.stat.gov.ua/>

27. Довкілля України: Статистичний збірник Державної служби статистики України, 2022. 140 с. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publnav_ser_u.htm

28. Стан інноваційної діяльності та діяльності у сфері трансферу технологій в Україні у 2018 році: аналітична довідка /Т. В. Писаренко, Т. К. Кваша та ін. Київ: УкрІНТЕІ, 2019. 80 с.

29. Загорський В. С. Концептуальні основи формування системи управління сталим розвитком еколого-економічних систем: монографія. Львів: ЛРІДУ НАДУ, 2018. 336 с.

REFERENCES

1. Hlobalni pytannia poriadku dennoho Orhanizatsii Obiednanykh Natsii. Voda. URL: <http://www.un.org/sections/issues-depth/water/index.html>

2. Tsili staloho rozvytku: Ukraina: natsionalna dopovid. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf>

3. Stashuk V.A., Mokin V.B., Hrebin V.V., Chunarov O.V. S Naukovi zasady ratsionalnogo vykorystannia vodnykh resursiv Ukrainy za baseinovým pryntsyptom: monohrafiia. Kherson: Hrin D.S., 2014. 250 s.

4. Levkovska L. V., Mandzyk V. M., Mytrofanova O. K. Teoretychni zasady formuvannia systemy staloho vodozabezpechennia v umovakh ekolohichnykh obmezhen. Ekonomika pryrodokorystuvannia i stalyy rozvytok. 2020. № 7. S. 32–39. DOI: [https://doi.org/10.37100/2616-7689/2020/7\(26\)/4](https://doi.org/10.37100/2616-7689/2020/7(26)/4)

5. Levkovska L.V., Mandzyk V.M., Formuvannia modeli integrovanoho upravlinnia vodnymy resursamy v konteksti zabezpechennia staloho vodokorystuvannia. Ekolohichniy menedzhment. Zbalansovane pryrodokorystuvannia. 2018. № 2. S. 46-53

6. Khvesyk M. A., Holian V. A. Finansove zabezpechennia modernizatsii melioratyvnykh system u zoni osushennia: instytutsionalni peredumovy ta orhanizatsiino-ekonomichni transformatsii. Visnyk Lvivskoho natsionalnogo ahrarnoho universytetu. 2014. № 21(2). S. 138–145

7. Romashchenko M. I., Baliuk S. A., Verhunov V. A., Vozhehova R. A., Zhovtonoh O. I., Rokochynskyi A. M., Tarariko Yu. O., Truskavetskyi R. S. Stalyy rozvytok melioratsii zemel v Ukraini v umovakh zmin klimatu. Ahrarni innovatsii. 2020. № 3. S. 56–64. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.3.10>

8. Zubko A.H. Rol formuvannia integrovanykh system upravlinnia vodnymy resursamy u pislavoiennoi vidbudovy Ukrainy. Ekonomika ta suspilstvo. Vyp. 49. 2023. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-49-64>

9. Stadnyk M. Ye., Skupeiko V. V. Innovatsiini osnovy zmitsnennia prysnovodnoi bezpeky v systemi pidvyshchennia konkurentospromozhnosti ekonomiky Ukrainy. Naukovyi Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu vnutrishnykh sprav. 2016. № 1. S. 131–136. URL: https://www.lvduvs.edu.ua/documents_pdf/visnyky/nvse/01_2016/16smekeu.pdf

10. Cuduk O. Yu. Vitchyzniani ta zarubizhnyi dosvid rozvytku systemy upravlinnia vodohospodarskym kompleksom. Visnyk sotsialno-ekonomichnykh doslidzhen. 2015. № 56. S. 268–275

11. Serbov M., Kramarenko I., Irtyshcheva I., Stehnei M., Boiko Y., Hryshyna N., Khaustova K. (2023) The Efficiency of Water Resources Management in the Black Sea Region (Ukraine) in the Context of Sustainable Development Under the Conditions of Military Operations// *Studia Regionalne i Lokalne* № 3(93). P. 78-90 <http://doi:10.7366/1509499539306>

12. Kovalskyi M., Serbov M., Zolotarova O., Hrachuk V., Novosad I. Development of Renewable Energy Sources: Impact

on Sustainability and the Environment// Grassroots Journal of Natural Resources, Vol.7 No.3, P. 131-148
<https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.0703ukr07>

13. Krylova I. I. Novitni tekhnologii v derzhavnomu rehuliuванні sfery vodopostachannia ta vodovidvedennia. Pravo ta derzhavne upravlinnia. 2019. № 1 (34). T. 2. S. 67–75

14. Pakhareno O. V. Innovatsii v ekolohiiu yak peredumova zabezpechennia stratehii staloho rozvytku vodnoho hospodarstva. Visnyk SumDU. 2016. № 7 (91). S. 194–199

15. Martienko A. I., Bondarenko S. A. Ekolohichni innovatsii v rehionalnii innovatsiinii systemi. Efektyvna ekonomika. 2015. № 8. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4232>

16. Matviichuk H. M., Kolenda H. V., Stashchuk O. V., Tesliuk S. A. Pravove zabezpechennia biudzhethnoho finansuvannia pryrodokhoronnoi diialnosti v Ukraini. Finansovo-kredytna diialnist: problemy teorii ta praktyky. 2021. №3 (38). S. 465–473

17. Serbov M.H. Innovatsiinyi potentsial prysnovodnykh resursiv Ukrainy: stan, rehionalni osoblyvosti ta perspektyvy rozvytku. Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky. 2021. № 3. S. 110-120

18. Vodna Stratehiia Ukrainy na period do 2050 roku. Zatverdzheno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 9 hrudnia 2022 roku za № 1134-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text>

19. Proekt YeS «Dodatkova pidtrymka Ministerstva ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy u vprovadzhenni Sektoralnoi biudzhethnoi pidtrymky» YaKIST VODY TA UPRAVLINNIa VODNYMY RESURSAMY: korotkyi opys Dyrektyv YeS ta hrafiku yikh realizatsii. URL: <https://drive.google.com/file/d/11dhGLdkh2lyInEIU9UEOpSyHAH5zOyaj/view>

20. Skrypchuk P. M. Suchasni pidkhody do formuvannia vodohospodarskoho menedzhmentu. Ekonomika i derzhava. 2012. № 11.S.27-30

21. Shyrovkov M. A. Napriamky udoskonalennia menedzhmentu vodnykh resursiv u konteksti zabezpechennia prodovolchoi bezpeky. Naukovi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. 2017. Vyp. 16. Ch. 1. S. 180–185

22. Stehnei M. I. Finansuvannia ekolohichnoi polityky zakarpatskoi oblasti. Prychornomorski ekonomichni studii. 2016. Vyp. 8. S.205–210

23. Serbov M., Margitay L., Sokol M., Vozniuk N., Kurenda S. (2025) Sustainable development of water management in the context of climate change: Ukrainian experience// Nativia, Sinop, v. 13, n. 3, p. 393-403
<https://doi.org/10.31413/nat.v13i3.19461>

24. Holtvenko O.V. Kontseptualni osnovy innovatsiinoho rozvytku funktsionuvannia sotsio-ekoloho-ekonomichnykh system. Menedzher. 2017.№ 1 (74). S.104–113

25. Serbov M.H. Formuvannia sotsio-ekoloho-ekonomichnoi systemy prysnovodnykh resursiv: rehionalni osoblyvosti ta zavdannia upravlinnia: monohrafiia/ Mykolaiv: FOP Shvets V.M., 2021. 356 s.

26. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. <http://www.stat.gov.ua/>

27. Dovkillia Ukrainy: Statystychnyi zbirnyk. 2022. 140s. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publnav_ser_u.htm

28. Stan innovatsiinoi diialnosti ta diialnosti u sferi transferu tekhnologii v Ukraini u 2018 rotsi: analitychna dovidka /T. V. Pysarenko, T. K. Kvasha ta in. Kyiv: UkrINTEI, 2019. 80s.

29. Zahorskyi V. S. Kontseptualni osnovy formuvannia systemy upravlinnia stalym rozvytkom ekoloho-ekonomichnykh system: monohrafiia. Lviv: LRIDU NADU, 2018. 336 s.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO FORMING AN INNOVATIVE MODEL OF INTEGRATED FRESHWATER RESOURCES MANAGEMENT AT THE REGIONAL LEVEL

A. V. Kolisnyk, V. I. Trakhtenberg, M. G. Serbov

*Odesa I. I. Mechnikov National University
2 V. Zmiiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine
kolisnyk.a.v@gmail.com*

*<https://orcid.org/0000-0002-0622-9637>, <https://orcid.org/0009-0005-9833-1581>
<http://orcid.org/0000-0002-0220-6745>*

The paper highlights the issues of assessing the main methodological approaches to forming a model of integrated freshwater resources management at the regional level, which include: the basin principle, the system approach, the integration of water resources management with land use management, etc., multi-purpose use of natural resources, environmental sustainability and economic efficiency. The main components of the national water strategy of Ukraine at the regional, sectoral and resource levels are characterized. It is noted that regional strategies provide for a certain combination of resource and sectoral strategies at the level of individual administrative-territorial units, taking into account the level of provision of territories with freshwater resources, as well as the structure of the economic complex of the region in terms of types of economic and production activities, the distribution of the number and structure of the population by type of settlements in the region, as well as the forecast characteristics of the development of these socio-economic indicators.

A model of integrated management of freshwater resources at the regional level is proposed, which is based on a systemic approach, the study of regional water resources as a holistic system

of socio-humanitarian and environmentally balanced approaches in the field of water use. The proposed innovative model necessitates the transformation of target guidelines for the functioning of the water management complex of both individual regions and the country as a whole, in the direction of meeting the needs of present and future generations in freshwater resources, ensuring a safe environment and protection from natural water capabilities, which should contribute to the necessary institutional and structural transformations at the level of regions, districts and communities. Guidelines for the strategic development of the regional freshwater resources management system are determined: updating public activity, ensuring productive and balanced use of natural and economic resources, including human capital, on the basis of diversification of innovative forms of relationships in the management system itself in the context of institutional transformations.

Keywords: integrated management, regional freshwater resources, innovative model

Подання до редакції : 01. 12. 2025

Надходження остаточної версії : 18. 12. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025

УДК 626.2+626.34]:556(477)

АНАЛІЗ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ В ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ

Н. В. Грабко, М. Є. Романчук

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна, grabkonatalyaviki@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1412-5683>; <https://orcid.org/0000-0002-1741-7262>

Україна відноситься до країн світу з недостатнім забезпеченням водними ресурсами. У статті проведено дослідження показників водопостачання і водовідведення в областях України у період перед початком широкомасштабних бойових дій, як передоснова для подальших заходів щодо покращання ситуації у майбутньому.

Показано, що в Україні в останні роки спостерігалось загальне скорочення забору води з природних джерел, в тому числі з поверхневих і підземних, водоспоживання й скиду стічних вод у поверхневі водойми.

За даними 2021 року проведено виділення груп областей України (застосована деревовидна кластеризація) з врахуванням таких показників, як забір поверхневих та підземних вод і використання води (включені в один розрахунок), а також загального забору води з природних джерел, використання води й скидів стічних вод у поверхневі водні об'єкти (включені в інший розрахунок). Результати обох обчислень показали схожі результати – в окремі кластери потрапили Дніпропетровська, Київська й Одеська області, а інші області, що враховані у дослідженні, були віднесені до одного великого кластеру.

За допомогою методів кластерного аналізу (метод К-середніх) також проводилося дослідження таких показників як забезпеченість населення централізованим водопостачанням і централізованим водовідведенням (у містах, селищах міського типу й селах). Отримані результати показали, що для централізованого водопостачання найбільш сприятлива ситуація спостерігається в Дніпропетровській, Київській, Миколаївській, Одеській, Хмельницькій областях, найменш сприятлива – у Волинській, Житомирській, Закарпатській, Івано-Франківській, Черкаській, Чернігівській областях; забезпеченість централізованим водовідведенням має найкращі показники у Київській області, а найгірші – у Волинській, Одеській, Полтавській, Сумській, Черкаській і Чернігівській областях. Для покращання ситуації щодо забезпечення населення централізованим водопостачанням слід звертати увагу, в першу чергу, на будівництво водопровідних споруд у селах, стосовно централізованого водовідведення - потрібні заходи щодо розширення каналізаційної мережі у селищах міського типу й селах.

Ключові слова: водні ресурси, водопостачання, водовідведення, кластер, кластерний аналіз.

1. ВСТУП

Під водними ресурсами Землі, у широкому сенсі, розуміють «всі води гідросфери, включаючи води океанів і морів, річок і озер, підземні води, льодовики» [1], а також «...водяна пара атмосфери, ґрунтова волога» [2]. Не всі ці води придатні для пиття. Тому проблема ефективного водозабезпечення є вкрай гострою для великої кількості країн світу, у тому числі для України. Після початку бойових дій у ряді областей України вона ще більш загострилася (прикладом може служити руйнування водопровідної мережі у Миколаївській області). Отже, розуміння ситуації, яка склалася напередодні бойових дій, допоможе вирішити низку проблем з водопостачанням та водовідведенням у майбутньому.

У контексті поставленої проблематики прове-

дене узагальнення і аналіз ситуації щодо водопостачання і водовідведення областей України з врахуванням розподілу цих показників по населених пунктах різного типу.

Метою дослідження являється групування областей України за особливостями водопостачання та водовідведення. Для її досягнення вирішувалися такі завдання:

вивчення і аналіз ситуації щодо водопостачання і водовідведення в областях України, в тому числі, з врахуванням населених пунктів різних типів (міст, селищ міського типу, сіл);

виділення груп областей України та населених пунктів за характеристиками водопостачання і водовідведення (з найбільш та найменш сприятливою ситуацією).

Об'єктом дослідження є умови водопостачання і водовідведення в областях України і населених пунктах різного типу. Предмет дослі-

дження – особливості водозабезпечення та відведення води (відмінні та спільні риси) у виділених територіальних угрупованнях на основі методів кластерного аналізу.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

«Загальні водні ресурси (транзитний і внутрішній поверхневий стік та підземні води) в Україні становлять – 175,3 км³/рік» [3], з яких 55,1 км³/рік припадає на внутрішні води. За коефіцієнтом зовнішньої залежності водних ресурсів Україна займає 9 місце в Європі (66,8 %), діапазон якого коливається від 94,8 % (Сербія) до 0 % (Ісландія, Данія, Андорра, Кіпр, Мальта). Важливо відмітити, що з загального об'єму водних ресурсів України: 170,3 км³/рік – це річковий стік, а 5,0 км³/рік – підземні води річкового стоку [4]. Також слід зазначити, що води, які придатні для використання, розташовані по території України нерівномірно і найбільше водними ресурсами забезпечені західні області, найменше – східні та південні. Причому більша частина населення проживає саме у східних та центральних областях, бо саме тут зосереджена більша частина підприємств та сільськогосподарських угідь.

Основним проблемам фінансування, розвитку, постачання населенню України якісної питної води з природних джерел водопостачання та водовідведення цих вод у водні об'єкти, присвячено багато праць вітчизняних науковців.

В деяких роботах перевага надається технічним особливостям систем водопостачання та водовідведення (зношеності, руйнуванню під час воєнних дій тощо) [5-7]. Значна кількість з них характеризують ступінь зміни якісного стану водних об'єктів щодо їх фонового середовища [7-12], частина характеризує економічні аспекти водопровідно-каналізаційного господарства (ВКГ) в регіонах України [5, 6, 9, 13].

Хільчевський В.К. та ін. [7], станом на 2019 рік, наводять загальні дані щодо забезпечення населення України централізованим водопостачанням, а на 2020 рік - централізованим водовідведенням. На даний період найгірша ситуація спостерігалась у сільській місцевості: водою було забезпечено всього 30,1 % населення, а водовідведенням – 1,8 %. Стосовно селищ міського типу (СМТ), то централізованим водопостачанням забезпечено 89,9% населення, водовідведенням – 63,9 %. Доступ до централізованого водопостачання мали 99,2 % міського населення, а до водовідведення – 96,6 % [7]. На відміну від [7] авторами використані дані за 2021 рік з аналізом ро-

зподілу водозабезпечення та відведення по областях та типах населених пунктів.

Цікавим дослідженням такого ж плану являється Міжнародний Швейцарсько-український проект “Підтримка децентралізації в Україні” DESPRO [9]. Аналіз проводився як для поверхневих, так і підземних вод. Показано розподілення води по галузях економіки, таких як на господарсько-питні потреби, на виробничі потреби, на зрошення, на сільськогосподарське водопостачання тощо, за 2013–2018 роки. Приводяться обсяги скидів забруднених стічних вод у водні об'єкти на 2019 рік. На відміну від описаного підходу, в представленій роботі також присутні об'єми скидів, але вони надаються по кількості та градації населених пунктів (міста, селища міського типу, села) з використанням сучасних даних (2021 рік).

Достатньо повно висвітлюють проблеми водопостачання та водовідведення Ярослав Мосійчук та Петро Хоружий [12]. Основний аналіз надається за 2019 рік і стосується кількості забраної води із природних водних об'єктів України (у тому числі з підземних водних джерел) та води, що йде на водовідведення. Надано поділення вод за різними видами споживання. Головна увага приділена якості вод річки Дніпро для забезпечення питних і санітарно-гігієнічних потреб, а також факторам, що впливають на якість води поверхневих джерел водопостачання. На відміну від цієї роботи, у наведеному дослідженні виконаний повний аналіз даних по забору вод та водовідведенню не по водних об'єктах окремо, а по областях України, з урахуванням місцевості проживання населення та їх співвідношення.

3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для характеристики і аналізу водопостачання і водозабезпечення областей України були застосовані такі показники, як забір води з природних джерел, загальне використання води і кількість скинутих стічних вод у поверхневі водойми (об'єми, млн. м³), за даними 2021 року [14]. Цей рік був обраний для аналізу як останній перед початком широкомасштабних бойових дій, коли ситуація у певних регіонах країни щодо водопостачання і водовідведення стала критичною. Вихідна інформація, яка представлена у [14] стосується тільки 19 областей України.

В роботі використовувались аналітичні, графічні і статистичні методи.

Зонування областей України здійснювалося на основі розрахунків, отриманих в результаті засто-

сування методів кластерного аналізу (метод К-середніх і метод деревовидної класифікації з визначенням Евклідових відстаней).

Деревовидна кластеризація належить до ієрархічних агрегативних методів. Їх суть полягає у послідовному об'єднанні двох найбільш подібних кластерів в один до тих пір, поки не буде утворено один кластер, що містить в собі всі об'єкти» [15, 16].

«Метод k-середніх належить до групи ітеративних методів еталонного типу, що орієнтовані на використання принципу «найближчого центру». Перерахунок центру класу може здійснюватися в ході ітерації після кожної зміни складу класу або по завершенні ітерацій» [15, 17].

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

4.1 Основні тенденції водопостачання і водозабезпечення в Україні

За даними Національної доповіді про стан навколишнього середовища в Україні [18] «у 2021 році з природних джерел забрано 8856,6 млн. м³ води, з них 1002,2 млн. м³ – з підземних водних джерел». На рис. 1 представлена динаміка показників забору води з різних джерел за чотири роки (поверхневих та підземних). Динаміка показників за більш тривалий період є недоцільною через певні суперечки у Національних доповідях за окремі роки. На графіку показана тенденція до загального зменшення кожного з представлених показників у часі.

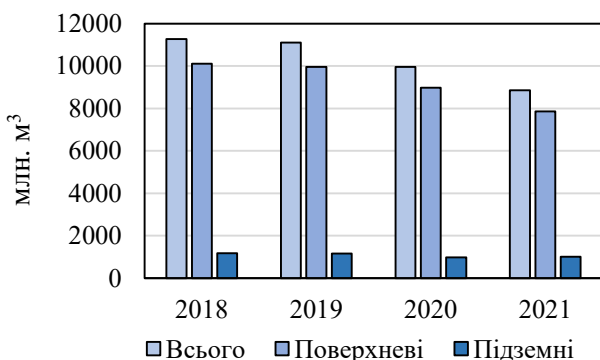


Рис. 1 – Динаміка показників забору природних вод з різних джерел в Україні

Fig. 1 – Dynamics of natural water abstraction indicators from various sources in Ukraine

Основними водоспоживачами у 2021 році в Україні були підприємства водопостачання, постачання електроенергії, сільське господарство й переробна промисловість. В цьому році було використано 5649 млн. м³ води, у тому числі

1482 млн. м³ питної води. Втрати води склали 9,6 % від забраної [18].

Протягом цього ж року у поверхневі водні об'єкти було скинуто 4684 млн. м³ стічних вод, серед яких 11,6 % – забруднені, 30,5 % – нормативно-очищені й 57,9 % – це води нормативно-чисті без очистки [18].

На рис. 2 представлена динаміка показників використання води і скидів стічних вод у поверхневі водні об'єкти за період 2010-2021 роки (для побудовання графіку використані матеріали Національних доповідей про стан навколишнього середовища в Україні у відповідні роки). На рис. 2 показана тенденція до скорочення обох показників, незважаючи на невелике підвищення їх у 2012-2013 роках.

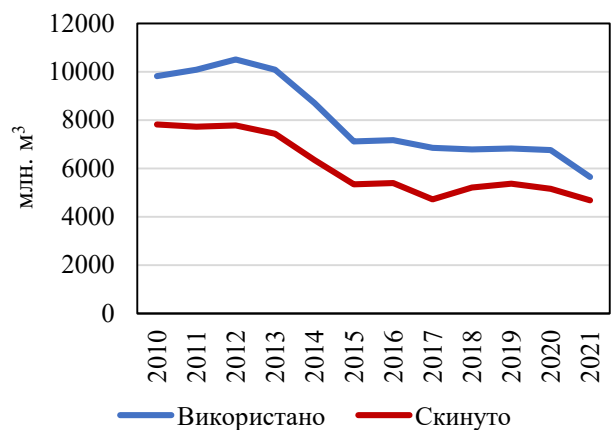


Рис. 2 – Динаміка показників використання природних вод і кількості скинутих стічних вод у поверхневі водні об'єкти в Україні

Fig. 2 – Dynamics of natural water use indicators and volumes of wastewater discharged into surface water bodies in Ukraine

Отже, рис. 1 і 2 свідчать про загальне скорочення обсягів забраних, використаних і скинутих стічних вод у часі для України, що безумовно вказує на зменшення техногенного впливу на довкілля. Проте, більшу увагу привертає ситуація саме у розрізі областей України.

4.2 Забір природних вод, використання і скиди стічних вод у поверхневі об'єкти по областях України

Найбільші показники забору води у 2021 році спостерігалися у промислово розвинутих областях – Київській (529,2 млн. м³), Дніпропетровській (529,2 млн. м³) і Одеській (360,7 млн. м³). В цих областях основними джерелами забору води є поверхневі. Доля забору води з поверхневих джерел складає 99,5 % у Дніпропетровській,

87,3 % у Київській і 86,6 % – в Одеській. А з підземних джерел було забрано 0,5 %, 12,7 % і 13,4 % води, відповідно [14].

Найменшу кількість води було забрано у західних і північно-західних областях України: Волинській – 44,8 млн. м³, Житомирській – 36,9 млн. м³, Закарпатській – 39,0 млн. м³, Тернопільській – 39,2 млн. м³ [14].

Забір води з поверхневих і підземних джерел в цих областях не однаковий. В Житомирській області поверхневі води складають більшу частину – 86,7 %, на підземні води припадає 13,3 %, у той час, як в Волинській області навпаки – поверхнева доля забору води складає 18,3 %, а підземна – 81,6 %. В областях, що залишились, забір води з поверхневих та підземних джерел практично однаковий, але в Закарпатській області доля поверхневої складової превалює над підземною (54,1 – 45,9 % відповідно), а в Тернопільській області навпаки: 44,5 – 55,5 %.

Використання води в областях з найбільшим забором досить ефективне – у Дніпропетровській області було використано 93,7 % від забраної води, у Київській – 96,8 %, а в Одеській – 100 %. Що стосується областей з найменшим забором води, то й використання її також незначне. Так, в Закарпатській області було використано лише 57,0 % від забраного об'єму, в Житомирській – 63,8 %, а в Волинській і Тернопільській – відповідно 72,0 % і 77,4 %.

Для уточнення територіальних особливостей розподілу показників забору води з різних джерел застосовувався кластерний аналіз, а саме такий його різновид як метод деревоподібної кластеризації з визначенням Евклідових відстаней (на дендрограмах представлені за допомогою осі У). Для цього 19 областей України було кластеризовано з врахуванням таких властивостей: об'єми забраної води з поверхневих джерел, об'єми забраної води з підземних джерел, а також об'єми тієї частини забраної води, яка була використана. Дендрограма, яка отримана за результатами кластеризації, представлена на рис. 3.

Як видно з рисунку, особливе збільшення відстані починається після під'єднання до дерева кластеризації Кіровоградської області, і це дозволяє виділити три кластери.

Кластер 1 – Київська область – в цій області показники забору води з поверхневих і підземних джерел, а також загальне використання води є найвищими і істотно перевищують всі відповідні значення у будь-якій з інших досліджених областей. За цими показниками Київську область можна вважати тією, що відчуває найбільше техногенне навантаження на водні об'єкти. Під цим

терміном розуміють негативний вплив на водні ресурси, які обумовлені діяльністю людини і призводять до погіршення якості вод, зміни гідрологічного режиму, виснаження запасів поверхневих та підземних вод тощо.

Кластер 2 – Дніпропетровська і Одеська області – обидві характеризуються наступними за величиною, після Київської області, значеннями показників забору поверхневих вод і загального використання води, а також істотним переважанням поверхневих джерел забору над підземними. В цьому кластері представлені області із підвищеним техногенним впливом та його переважанням для поверхневих вод.

Кластер 3 – це усі інші області, а саме, Вінницька, Волинська, Житомирська, Закарпатська, Івано-Франківська, Кіровоградська, Львівська, Миколаївська, Полтавська, Рівненська, Сумська, Тернопільська, Хмельницька, Черкаська, Чернівецька, Чернігівська. Області цього кластеру характеризуються нижчими, у порівнянні з областями кластеру 2, значеннями показників забору з поверхневих вод і її використання, а також різним співвідношенням забору води з поверхневих і підземних джерел. Техногенне навантаження на водне середовище в областях цього кластеру найнижче.

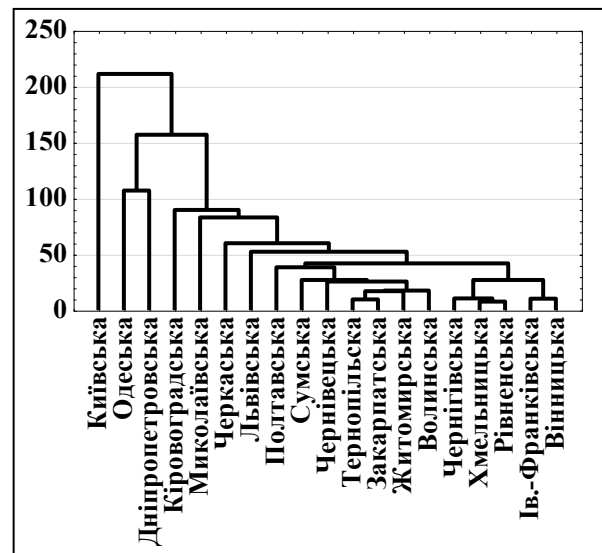


Рис. 3 – Дендрограма кластеризації областей України за показниками забору поверхневих, підземних вод і використання вод

Fig. 3 – Dendrogram of clustering of Ukrainian regions based on surface water and groundwater abstraction and water use indicators

Якщо враховувати умови водовідведення, то ситуація дещо зміниться. Під час наступної оцінки були враховані такі показники, як забір води

(всього), витрати і скиди у природні водойми. За методом деревовидної кластеризації було побудовано дендрограму, яка представлена на рис. 4.

Істотне збільшення Евклідової відстані відбувається після під'єднання Кіровоградської області. Тому за трьома показниками, врахованими під час кластеризації, на цьому графіку можна виділити такі чотири кластери.

Кластер 1 і кластер 2 – це відповідно Київська і Дніпропетровська області. Київська область (кластер 1) характеризується найвищими значеннями показників забору (всього) і використання природних вод, а також дуже високим значенням скидів у водні об'єкти, за яким Київська область стоїть на другому місці після Дніпропетровської. Дніпропетровська область (кластер 2) характеризується найвищими серед всіх областей значеннями скидів (у поверхневі об'єкти області скидаються стічні води з території сусідніх областей) та дуже високими об'ємами забору і використання води (область на другому місці після Київської). Цим двом кластерам областей притаманне найвище техногенне навантаження на водне середовище.

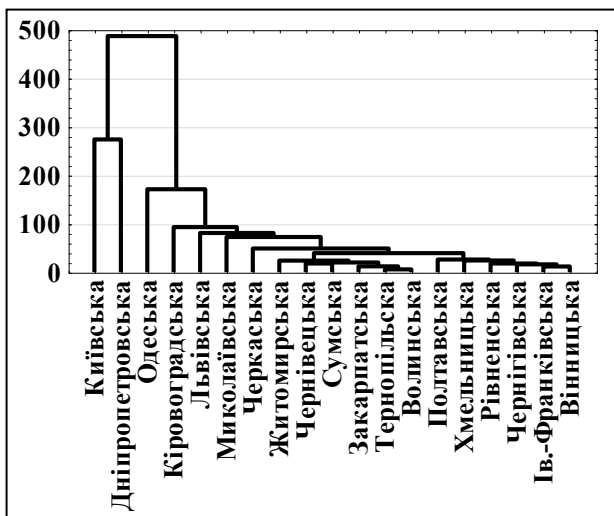


Рис. 4 – Дендрограма кластеризації областей України за показниками загального забору, використаних вод й скинутих стічних вод у поверхневі об'єкти

Fig. 4 – Dendrogram of clustering of regions of Ukraine by indicators of total withdrawal, used water and wastewater discharged into surface water bodies

Кластер 3 – це Одеська область, в якій усі три досліджувані показники водоспоживання й водовідведення знаходяться на третьому місці після Київської та Дніпропетровської областей. Одеська область характеризується підвищеним техногенним впливом на водне середовище.

Кластер 4 – усі інші з 19 досліджуваних обла-

стей (Вінницька, Волинська, Житомирська, Закарпатська, Івано-Франківська, Кіровоградська, Львівська, Миколаївська, Полтавська, Рівненська, Сумська, Тернопільська, Хмельницька, Черкаська, Чернівецька, Чернігівська). Області даного кластеру характеризуються нижчими (у порівнянні з областями інших кластерів) значеннями досліджуваних показників і високою їх мінливістю. Це області з найменшим техногенним навантаженням на водні об'єкти.

Отже, аналіз дендрограм кластеризації (рис. 3 і рис. 4) показав, що ситуація щодо забору і використання води принципово не змінюється після врахування показника скиду стічних вод.

4.3 Забезпечення водопостачанням й водовідведенням областей України в населених пунктах різного типу

Далі були досліджені показники (відсоткова доля) забезпечення централізованим водоспоживанням і водовідведенням населення міст, селищ міського типу (СМТ) й сіл.

За даними [18] центральним водопостачанням повністю (100 %) забезпечено лише населення міст Київської області. В інших областях цей показник знаходиться в дуже широкому діапазоні – від 39,3 % (Черкаська область) до 98-99,8 % (Дніпропетровська, Миколаївська, Одеська, Тернопільська області). В СМТ найвищі показники забезпечення населення централізованим водопостачанням спостерігаються у Київській, Миколаївській й Одеській областях (96-96,8 %), а найнижчі – в Черкаській й Чернігівській (22,4-38,3 %). Найгірша ситуація з централізованим водозабезпеченням у селах. Вона змінюється від 78,7 % у Київській області до всього декількох відсотків (1,7-3,7 %) у Тернопільській, Черкаській і Чернівецькій областях.

Стосовно централізованого водовідведення [14], найкращі значення показника забезпеченості населення, спостерігаються у Київській (99,6 %) і Тернопільській (96,1 %) областях, найгірші – в Одеській (64,2 %) й Черкаській (59,7 %). Для СМТ найкращою ситуацією залишається для Київської (92,1 %) й Миколаївської (70,7 %) областей, найгірша ж спостерігається у Одеській (6,9 %) й Сумській (13,4 %). В селах найкраща ситуація знову у Київській (33,5 %) й Миколаївській (20,7 %) областях; найгірша – у селах Чернівецької (централізоване водовідведення відсутнє взагалі) та Черкаської і Чернівецької (лише десяти долі відсотку) областей.

Застосування кластерного аналізу (метод К-середніх) за показниками забезпечення населення

централізованим водопостачанням (в містах, СМТ і селах) з одного боку і централізованим водовідведенням (за такими ж ознаками) з іншого, дозволило виділити по 4 кластери – зони областей, номери яких представлені у вигляді діаграми (рис. 5). Для характеристики виділених кластерів на графіках представлені середні значення кожної ознаки кожного кластеру для водопостачання (рис. 6) і водовідведення (рис. 7).

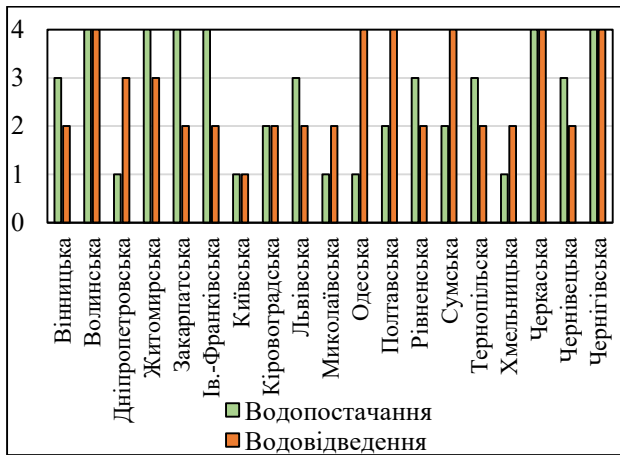


Рис. 5 – Номери кластерів, в які потрапляють області України за показниками централізованого водопостачання і централізованого водовідведення

Fig. 5 – Cluster numbers assigned to Ukrainian regions based on centralized water supply and centralized wastewater service indicators

Виділені кластери (рис.6) можна охарактеризувати таким чином.

Кластер 1 – Дніпропетровська, Київська, Миколаївська, Одеська, Хмельницька області – характеризуються найбільш високими значеннями забезпеченості централізованим водопостачанням міст, СМТ й сіл.

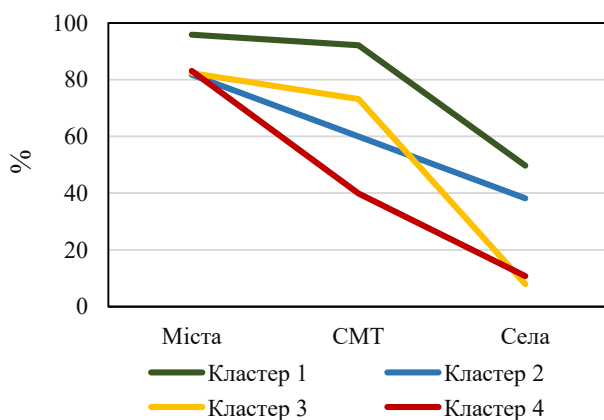


Рис. 6 – Середні значення забезпеченості міст, СМТ й сіл централізованим водопостачанням в кластерах областей України

Fig. 6 – Average values of centralized water supply provision in

cities, urban-type settlements, and villages across regional clusters of Ukraine

Кластер 2 – Кіровоградська, Полтавська, Сумська області – характеризуються забезпеченістю водопостачанням, нижчою, ніж в областях кластеру 1, але приблизно такою ж як у кластерах 2 і 3 (близько 80 % населення), посереднім забезпеченням СМТ і відносно високим – сіл (близько 40 %).

Кластер 3 – Вінницька, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Чернівецька області – водопостачання СМТ вище, ніж в областях кластеру 2, але помітно нижче, порівняно з кластером 2 (найнижче серед всіх кластерів).

Кластер 4 – Волинська, Житомирська, Закарпатська, Івано-Франківська, Черкаська, Чернігівська області – забезпечення міст дуже близьке до значень кластерів 2 й 3, а сіл – до значень кластеру 3. Забезпечення СМТ – найнижче серед усіх інших кластерів (приблизно 40 %).

З рис. 7 видно, що основні характеристики кластерів-зон визначені для населених пунктів (різних типів) за забезпеченістю централізованим водовідведенням.

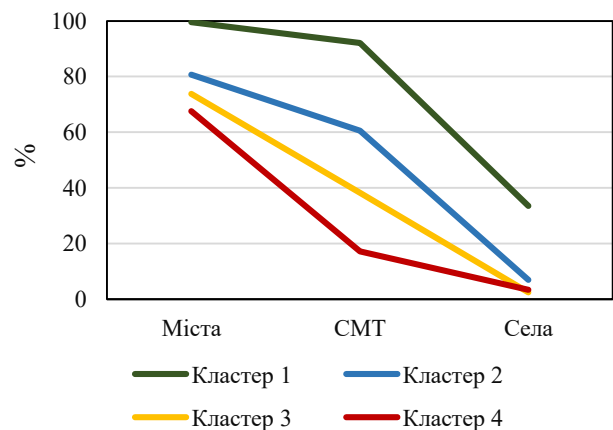


Рис. 7 – Середні значення забезпеченості міст, СМТ й сіл централізованим водовідведенням в кластерах областей України

Fig. 7 – Average values of centralized wastewater service provision in cities, urban-type settlements, and villages across regional clusters of Ukraine

В результаті проведеного розрахунку були виділені наступні чотири кластери.

Кластер 1 – Київська область – знову характеризується найвищими значеннями забезпечення населення міст, СМТ й сіл централізованим водовідведенням (в містах області – це 100 %).

Кластер 2 – Вінницька, Кіровоградська, Миколаївська, Тернопільська області – показники забезпеченості у всіх видах населених пунктів знаходяться на другому місці після кластеру 2, для

міст і сіл забезпеченість мало відрізняється від відповідних значень в кластерах 3 і 4, а для СМТ – помітно вищій і складає 60 % населення.

Кластер 3 – Дніпропетровська, Житомирська, Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Хмельницька і Чернівецька області – за показником забезпеченості централізованим водовідведенням знаходяться на третьому місці, для міст показник знаходиться між відповідними значеннями кластерів 2 й 4 й мало відрізняється від кожного з них, для сіл майже такий же як у кластері 4 (середнє дорівнює декільком відсоткам), а ось в СМТ помітно вищій, ніж у кластері 4 й складає близько 40 %.

Кластер 4 – Волинська, Одеська, Полтавська, Сумська, Черкаська і Чернігівська області – характеризується найнижчою забезпеченістю централізованим водовідведенням міст й СМТ, а в селах – на рівні значення кластеру 3.

Виходячи з того, що централізоване водоспоживання й водовідведення відрізняються від децентралізованого необхідністю дотримання цілого ряду заходів з охорони довкілля, то з точки зору отриманої картини, найменше техногенне навантаження на довкілля спостерігається в районах, віднесених до кластерів 1, найбільше – в районах, віднесених до кластерів 4. Це стосується як кластерів виділених для централізованого водопостачання, так і для централізованого відведення води.

Можливості кластерного аналізу також дозволяють обчислити схожість (Евклідові відстані) між ситуацією у містах, СМТ й селах (за водопостачанням й водовідведенням). Результати представлені на рис. 8.

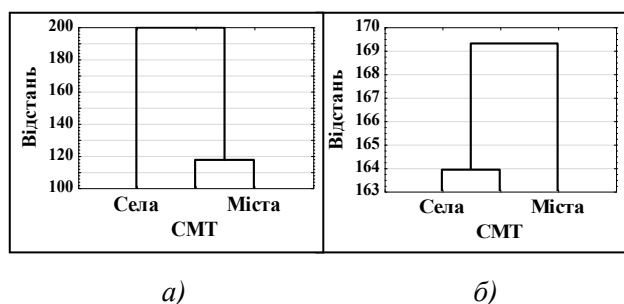


Рис. 8 – Дендрограми з поєднанням населених пунктів різних типів в областях України за показниками забезпечення населення централізованим водопостачанням (а) і централізованим водовідведенням (б)

Fig. 8 – Dendrograms combining settlements of different types in Ukrainian regions according to indicators of centralized water supply (a) and centralized wastewater services (b)

Аналіз графіків (а і б) показує, що для централізованого водопостачання ситуація у містах й СМТ досить схожа, а ось у селах від них істотно

відрізняється. Отже для покращання централізованого водопостачання слід у першу чергу звертати увагу на сільську місцевість.

Що стосується централізованого водовідведення, то схожість спостерігається між СМТ й селами, а міста істотно відрізняються. Це вказує на те, що для покращання ситуації з централізованим водовідведенням слід звертати увагу як на СМТ, так і на села.

5. ВИСНОВКИ

За результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

Україна належить до країн з недостатньою забезпеченістю водними ресурсами й великою мінливістю їх розташування по території.

У часі відбувається зниження показників забору вод з поверхневих й підземних джерел, використання й скидів стічних вод у поверхневі об'єкти, що призвело до зменшення техногенного навантаження на водне середовище.

Для Київської, Дніпропетровської, й Одеської областей статистично (з застосуванням методів кластерного аналізу) підтверджена різниця по відношенню до інших 16 досліджуваних областей. Статистичний аналіз здійснювався з врахуванням таких показників, як забір води з поверхневих джерел, підземних джерел й водоспоживання, з одного боку, а також загального забору води, використання й скидів стічних вод у поверхневі водні об'єкти - з іншого. Саме в цих областях спостерігається найбільший техногенний вплив на водне середовище під час забору, водокористування й скиду стічних вод.

Низька забезпеченість населення централізованим водопостачанням (з врахуванням ситуації в містах, СМТ і селах) призводить до найбільшого негативного впливу на довкілля у Волинській, Житомирській, Закарпатській, Івано-Франківській, Черкаській і Чернігівській областях; найменший вплив спостерігається у Дніпропетровській, Київській, Миколаївській, Одеській, Хмельницькій областях.

В результаті низької забезпеченості населення централізованим водовідведенням (з врахуванням ситуації в населених пунктах різного типу) найбільше техногенне навантаження на довкілля відбувається у Волинській, Одеській, Полтавській, Сумській, Черкаській і Чернігівській областях; найменше – у Київській області.

Згідно зі Стратегічними цілями Водної стратегії України планується «забезпечення до 2030 року 100 % доступу сільського і міського

населення до безпечної економічно доступної питної води; підключення до 2030 р. до систем централізованого водопостачання 50 % сільського населення та 100 % міського населення та до 2050 р. – не менше 90 % сільського населення» [7].

Для покращання ситуації щодо забезпечення населення централізованим водопостачанням слід звертати увагу, в першу чергу, на будівництво водопровідних споруд у селах; стосовно централізованого водовідведення - потрібні заходи щодо розширення каналізаційної мережі у селищах міського типу й селах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хільчевський В. К. Гідрографія та водні ресурси Європи: навч. посібник. Київ: ДІА, 2023. 308 с
2. ДСТУ3517:2024. Гідрологія суходолу. Терміни та визначення основних понять. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2024. 38 с.
3. Хільчевський В. К. Моніторинг вод в Україні: методи оцінювання якості води для різних цілей у зв'язку зі змінами нормативної бази (2014-2021 рр.). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 3(61). С. 6-19.
4. Хільчевський В. К. Глобальні водні ресурси: виклики ХХІ століття // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія. 2020. 1/2 (76/77). С. 6-16. URL: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.1>
5. Крилова І. І. Сфера водопостачання та водовідведення як об'єкт державного регулювання. Аспекти публічного правління: науковий журнал. Том 6 № 9 Дніпро: «Грані». 2018 С. 5-15. URL: <https://aspects.org.ua/index.php/journal/article/download/440/434>
6. Єсіна В. О. Славута О. І. Матвієва Н. М. Сфера водопостачання та водовідведення як складова якості життя населення: економічні та соціальні аспекти розвитку. Причорноморські економічні студії: науковий журнал. Розділ: Економіка та управління підприємствами. Вип. 53. Одеса. 2020. С. 69-74. URL: https://bses.in.ua/journals/2020/53_2020/12.pdf
7. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р., Стельмах В. Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. Київ: ДІА, 2023. 228 с.
8. Харчук Олена, Пахота Наталія. Ризики та загрози використання водних ресурсів у проблемних регіонах України: збір. наук. праць ДУІТ. Серія: Економіка і управління. 2018. Вип. 42 (2). С. 102-110. URL: <https://em.duit.in.ua/index.php/home/article/view/129/126>
9. Час води. Швейцарсько-український проект "Підтримка децентралізації в Україні" DESPRO. 2019. 84 с. URL: <https://ecolog-ua.com/sites/default/files/2020/docs/Chas-vody.pdf>
10. Маркіна Л. М., Ковач В. О., Власенко О. В., Зудіков А. О., Копаниця О. Б. Аналіз ризиків від забруднення промисловими стоками на водні ресурси України: показники та превентивні заходи. Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О. І. Київ: «Гельветика», 2024. № 6(57). С. 75-80.
11. Дуляк Віталій, Величко Світлана, Дуляк Олена. Наслідки руйнування Каховського водосховища для зрошення та водопостачання півдня України. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, Київ, вип. 44, 2023. С. 19-28. URL: <http://wateruse.org.ua/issue/view/16800>
12. Мосійчук Ярослава, Хоружий Петро. Кількісні та якісні показники природних і стічних вод у басейні Дніпра. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: науково-технічний збірник. Київ, вип. 36, 2021. С. 39-47. URL: <http://wateruse.org.ua/issue/view/14088>
13. Бондар О. І., Закорчевна Н. Б., Крилова І. І. Фінансування сталого розвитку сфери водопостачання та водовідведення в Україні. Екологічні науки: науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О. І. Київ: «Гельветика», 2021. № 6 (39). С. 31-36.
14. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2021 році. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 326 с.
15. Яровий А. Т., Страхов Є. М. Багатовимірний статистичний аналіз : навчально-методичний посібник для студентів математичних та економічних фахів. Одеса: Астропринт, 2015. 132 с.
16. Xingcheng Ran, Yue Xi, Yonggang Lu, Xiangwen Wang, Zhenyu Lu. A comprehensive survey on hierarchical clustering algorithms. Knowledge and Information Systems (KAIS)/ ACM Digital Library. 2022. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s10462-022-10366-3>
17. Bao Chong. K-means clustering algorithm: a brief review. Academic Journal of Computing & Information Science (2021), Vol. 4, Issue 5. P 37-40. URL: <https://doi.org/10.25236/AJCIS.2021.040506>
18. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. Київ: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. 2022. 514 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>

REFERENCES

1. Khilchevskiy V. K. (2023). Hidrohrafia ta vodni resursy Yevropy [Hydrography and water resources of Europe]: navch. posibnyk. Kyiv: DIA, 308 s
2. DSTU3517:2024. (2024). Hidrolohiia sukhodolu. Terminy ta vyznachennia osnovnykh poniat. [DSTU3517:2024. Hydrology of land. Terms and definitions of basic concepts] Kyiv: DP UkrNDNTs, 38s.
3. Khilchevskiy V. K. (2021). Monitorynh vod v Ukraini: metody otsiniuvannia yakosti vody dlia riznykh tsilei u zv'iazku zi zminamy normatyvnoi bazy (2014-2021 rr.). [Water monitoring in Ukraine: methods for assessing water quality for various purposes in connection with changes in the regulatory framework (2014-2021)]. Hidrolohiia, hidrokhiimia i hidroekolohiia. № 3(61). S. 6-19.
4. Khilchevskiy V. K. (2020). Hlobalni vodni resursy: vyklyky XX stolittia [Global water resources: challenges of the XXI century] // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heohrafia. 1/2 (76/77). S. 6-16. Retrieved from: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.1>
5. Krylova I. I. (2018). Sfera vodopostachannia ta vodovidvedennia yak ob'iekt derzhavnogo rehuliuвання. [The sphere of water supply and wastewater disposal as an object of state regulation]. Aspekty publichnoho pravlinnia: naukovyi zhurnal. Tom 6 № 9 Dnipro: «Hrani». S. 5-15. Retrieved from: URL: <https://aspects.org.ua/index.php/journal/article/download/440/434>
6. Yesina V. O. Slavuta O. I. Matvieieva N. M. (2020). Sfera vodopostachannia ta vodovidvedennia yak skladova yakosti

- zhyttia naselennia: ekonomichni ta sotsialni aspekty rozvytku. [The sphere of water supply and wastewater disposal as a component of the quality of life of the population: economic and social aspects of development]. Prychornomorski ekonomichni studii: naukovyi zhurnal. Rozdil: Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy. Vyp. 53. Odesa. S. 69-74. Retrieved from: URL: https://bses.in.ua/journals/2020/53_2020/12.pdf
7. Khilchevskyi V. K., Zabokrytska M. R., Stelmakh V. Yu. (2023). Hidroekologichni aspekty vodopostachannia ta vodovidvedennia: navch. posibnyk. Kyiv: DIA, 228 s.
 8. Kharchuk O., Pakhota N. (2018). Ryzyky ta zahrozy vykorystannia vodnykh resursiv u problemnykh rehionakh Ukrainy [Risks and threats to the use of water resources in problem regions of Ukraine]: zbir. nauk. prats DUIT. Seriya: Ekonomika i upravlinnia. Vyp. 42(2). S. 102-110. Retrieved from: URL: <https://em.duit.in.ua/index.php/home/article/view/129/126>
 9. Chas vody. (2019). Shveitsarsko-ukrainskyi proekt "Pidtrymka detsentralizatsii v Ukraini" DESPRO. [Water Time. Swiss-Ukrainian project "Support to Decentralization in Ukraine" DESPRO]. 84 s. Retrieved from: URL: <https://ecolog-ua.com/sites/default/files/2020/docs/Chas-vody.pdf>
 10. Markina L. M., Kovach V. O., Vlasenko O. V., Zudikov A. O., Kopanytsia O. B. (2024). Analiz ryzykiv vid zabrudnennia promyslovymy stokamy na vodni resursy Ukrainy: pokaznyky ta preventyvni zachody. [Analysis of risks from pollution by industrial effluents on water resources of Ukraine: indicators and preventive measures]. Ekologichni nauky : naukovo-praktychnyi zhurnal /Holovnyi redaktor Bondar O. I. Kyiv: «Helvetyka», № 6 (57). S. 75-80
 11. Dupliak V., Velychko S., Dupliak O. (2023). Naslidky ruinuвання Kakhovskoho vodoskhozovshcha dlia zroshennia ta vodopostachannia pivdnia Ukrainy. [Consequences of the destruction of the Kakhovka reservoir for irrigation and water supply of southern Ukraine]. Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky. Kyiv, vyp. 44, S. 19-28. Retrieved from: URL: <http://wateruse.org.ua/issue/view/16800>
 12. Mosiichuk Y., Khoruzhyi P. (2021). Kilkisni ta yakisni pokaznyky pryrodnykh i stichnykh vod u basini Dnipra. [Quantitative and qualitative indicators of natural and wastewater in the Dnieper basin]. Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky: naukovo-tekhnicnyi zbirnyk. Kyiv, vyp. 36, S. 39-47.
 13. Bondar O. I., Zakorchevna N. B., Krylova I. I. (2021). Finansuvannia staloho rozvytku sfery vodopostachannia ta vodovidvedennia v Ukraini. [Financing sustainable development of water supply and wastewater treatment in Ukraine]. Ekologichni nauky: naukovo-praktychnyi zhurnal /Holovnyi redaktor Bondar O. I. Kyiv: «Helvetyka», № 6 (39). S. 31-36.
 14. Natsionalna dopovid pro yakist pytnoi vody ta stan pytnoho vodopostachannia v Ukraini u 2021 rotsi. (2022). [National report on drinking water quality and the state of drinking water supply in Ukraine in 2021]. Kyiv: Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy, 326 s.
 15. Yarovyi A. T., Strakhov Ye. M. (2015). Bahatovymirnyi statystychnyi analiz [Multivariate statistical analysis]: nachalno-metodychnyi posibnyk dlia studentiv matematychnykh ta ekonomichnykh fakhiv. Odesa: Astropynt, 132 s.
 16. Xingcheng Ran, Yue Xi, Yonggang Lu, Xiangwen Wang, Zhenyu Lu. (2022). A comprehensive survey on hierarchical clustering algorithms. Knowledge and Information Systems (KAIS) / ACM Digital Library. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s10462-022-10366-3>
 17. Bao Chong. (2021). K-means clustering algorithm: a brief review. Academic Journal of Computing & Information Science, Vol. 4, Issue 5. P. 37-40. URL: <https://doi.org/10.25236/AJCIS.2021.040506>
 18. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Ukraini u 2021 rotsi (2022). [National report on the state of the environment in Ukraine in 2021]. Kyiv: Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. 514 s. Retrieved from: URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>

ANALYSIS OF WATER SUPPLY AND WASTEWATER SERVICES IN THE REGIONS OF UKRAINE

N. V. Hrabko, M. Ye. Romanchuk

*Odesa I. I. Mechnikov National University,
2 V. Zmiiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine, grabkonatalyavikt@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1412-5683>; <https://orcid.org/0000-0002-1741-7262>*

Ukraine is among the countries of the world with insufficient water resources. The article examines indicators of water supply and wastewater services in the regions of Ukraine during the period preceding the outbreak of large-scale hostilities, serving as a basis for further measures aimed at improving the situation in the future.

It is shown that in recent years Ukraine has experienced an overall decline in water abstraction from natural sources—including both surface and groundwater—along with a decrease in water consumption and the discharge of wastewater into surface water bodies.

Based on 2021 data, groups of Ukrainian regions were identified using hierarchical cluster analysis, taking into account such indicators as abstraction of surface and groundwater and water use (included in one calculation), as well as total water abstraction from natural sources, water use, and wastewater discharge into surface water bodies (included in another calculation). The results of both analyses were similar: Dnipropetrovsk, Kyiv, and Odesa regions formed separate clusters, while the remaining regions included in the study were grouped into one large cluster.

Cluster analysis (K-means method) was also applied to study indicators such as the provision of

centralized water supply and centralized wastewater services (in cities, urban-type settlements, and villages). The results showed that the most favorable situation in terms of centralized water supply is observed in Dnipropetrovsk, Kyiv, Mykolaiv, Odesa, and Khmelnytskyi regions, while the least favorable conditions are found in Volyn, Zhytomyr, Zakarpattia, Ivano-Frankivsk, Cherkasy, and Chernihiv regions. The highest level of centralized wastewater service provision is recorded in Kyiv region, whereas the lowest levels are observed in Volyn, Odesa, Poltava, Sumy, Cherkasy, and Chernihiv regions. To improve the situation regarding the provision of centralized water supply to the population, attention should be paid, first of all, to the construction of water supply facilities in villages. Regarding wastewater services, measures are needed to expand the sewage network in urban-type settlements and villages.

Keywords: water resources, water supply, wastewater services, cluster, cluster analysis.

Подання до редакції : 20. 11. 2025

Надходження остаточної версії : 20. 12. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025

УДК 504.4.54

ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ПРИ УПРАВЛІННІ ЯКІСТЮ РІЧКОВИХ ВОД ЗГІДНО ВИМОГ ВОДНОЇ РАМКОВОЇ ДИРЕКТИВИ

С. М. Юрасов, В. В. Терземан

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна,
urasen54@gmail.com, mikkymailz@gmail.com

Дослідження присвячене формуванню науково обґрунтованих рекомендацій щодо інтеграції вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу та планів управління річковими басейнами (у тому числі, в частині застосування статистичних методів) у процес розрахунку гранично допустимих скидань забруднювальних речовин зі стічними водами за чинними вітчизняними методиками. Як приклад розглянуто басейн річки Дунай на основі даних спостережень за 2015-2024 рр. Особливу увагу приділено питанням оцінювання та прогнозування якості вод, що є ключовими елементами процедури її нормування.

У дослідженні проаналізовано водне законодавство країн Європейського Союзу щодо оцінювання якості поверхневих вод. Відповідно до положень ВРД та на початковому етапі ПУРБ, якість вод у водному об'єкті за певний попередній період вважається такою, що відповідає стандартам ЄС, якщо ймовірність перевищення (забезпеченість) нормативу для кожного показника не більше заданої межі F . Виходячи з цього, пропонується здійснювати нормування, а також пов'язані з ним оцінювання та прогнозування якості поверхневих вод, із використанням значень показників із забезпеченістю F . Такий підхід дозволяє узгодити національні методики цих розрахунків із законодавчими вимогами ЄС.

Запропоновані положення були апробовані на основі аналізу часової мінливості показників якості вод у річці Дунай. Показано, що при використанні середніх значень показників вимоги ВРД і ПУРБ часто не виконуються, оскільки рівень забезпеченості цих значень може суттєво перевищувати встановлені межі частоти перевищення ГДК. Для поступового досягнення «доброго стану» поверхневих водних об'єктів відповідно до ВРД і ПУРБ доцільно використовувати значення показників із рівнями забезпеченості 10%, 5% та 2,5% як розрахункові (фонові) значення під час регулювання скидань забруднювальних речовин зі стічними водами. Крім того, за наявності часових трендів показників їхні значення слід прогнозувати, щоб забезпечити відповідність вимогам ВРД, особливо у випадку позитивних трендів.

Ключові слова: оцінка якості вод, гранично допустиме скидання, фонові характеристики, директиви ЄС, прогноз якості вод.

1. ВСТУП

Актуальною проблемою сучасної екологічної політики є оцінка і регулювання якості вод (ЯВ). Процедура оцінювання ЯВ є ключовою при вирішенні багатьох екологічних завдань, у тому числі при нормуванні скидів забруднювальних речовин (ЗР) із стічними водами. Оскільки, у процесі розрахунку гранично допустимих скидів (ГДС) оцінюється не лише якість фонових стану водотоку або водойми, але й якість вод у контрольному створі відповідного скидання. В контексті перевірки дотримання вимог норм Європейського Союзу в перспективному періоді оцінювання якості води тісно пов'язане з її прогнозуванням, що передбачає врахування часової мінливості показників ЯВ.

Водна Рамкова Директива (*Directive*

2000/60/EC) [1] визначає стратегічні засади водної політики ЄС, спрямованої на досягнення доброго екологічного та хімічного станів масивів поверхневих вод (МПВ). Директива передбачає поетапність реалізації цілей та можливість відстрочки їх досягнення з об'єктивних причин. На початковому етапі держави-члени мають використовувати зібрану раніше інформацію про антропогенні навантаження відповідно до положень попередніх директив (75/440/EC, 76/160/EEC, 78/659/EEC) [2–4], зокрема щодо підходів до оцінювання ЯВ на основі частоти перевищень нормативів.

Положення Додатку V ВРД [1] допускають застосування статистичних методів, у тому числі процентильного підходу, для перевірки відповідності показників ЯВ екологічним нормативам (MAC-EQS) [5]. Такі методи є

особливо доцільними під час встановлення обмежень щодо частоти перевищень нормативів та забезпечення потрібного рівня достовірності результатів на завершальних етапах досягнення доброго стану МПВ.

У процесі імплементації європейських екологічних стандартів в Україні розроблені плани управління річковими басейнами (ПУРБ) на перший шестирічний цикл (2025–2030 рр.), які передбачають поступове зниження антропогенного навантаження та поетапне досягнення доброго стану МПВ до 2042 року. Це створює підґрунтя для використання статистичних обмежень, починаючи з менш жорстких – від 10 і 5% до 2,5% (див. далі).

Аналіз наукових публікацій [6–11] свідчить про брак досліджень, що зосереджуються на поєднанні статистичних методів із національними процедурами нормування ЯВ у контексті вимог ВРД і ПУРБ. Попередні роботи розглядали правові аспекти регулювання скидів ЗР, комплексні індекси оцінювання ЯВ або екологічні наслідки скидів, однак питання застосування статистичних характеристик розподілів показників ЯВ у процесі нормування залишаються недостатньо опрацьованими.

Метою даної роботи є розроблення науково обґрунтованих пропозицій щодо поступового зниження антропогенного навантаження на МПВ шляхом удосконалення вітчизняних методик оцінювання ЯВ і нормування скидань ЗР у відповідності до вимог ВРД та початкового етапу реалізації ПУРБ.

Для досягнення мети передбачено виконання таких завдань: аналіз часової мінливості показників ЯВ; визначення параметрів їх часових трендів та розподілів; розрахунок значень показників із заданою забезпеченістю; формування пропозицій щодо вдосконалення методик оцінювання та нормування ЯВ; демонстрація результатів на прикладі річки Дунай.

Об'єктом дослідження є якість поверхневих вод, предметом – нормування ЯВ відповідно до вимог директив ЄС під час скидів ЗР зі стічними водами.

Наукова новизна полягає у запропонованому використанні значень показників ЯВ із заданою забезпеченістю як фонових характеристик при встановленні ГДС, що забезпечує узгодження національних підходів із європейськими принципами статистичного контролю якості води.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі використано дані спостережень Басейнового управління водних ресурсів на річки Дунай (м. Кілія, питний водозабір) за період 2015–2025 рр.

Аналіз часової мінливості здійснено для показників: PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- . У статті представлені вибрані результати досліджень, що підтверджують пропозиції авторів.

2.1 Оцінка і прогноз якості вод

Оцінювання якості вод. Відповідно до вимог директив ЄС, якість води (ЯВ) визначається за методом детального аналізу, суть якого полягає у зіставленні фактичних значень кожного показника ЯВ із установленими нормативами. Показники якості поділяються на розмірні та безрозмірні.

До розмірних належать, зокрема, концентрації окремих речовин – нітрит-іонів (NO_2^-), фосфат-іонів (PO_4^{3-}), іонів марганцю (Mn^{2+}) та інших, що вимірюються в міліграмах на дециметр кубічний (мг/дм³). Безрозмірні показники являють собою співвідношення концентрацій іонів у еквівалентах, наприклад натрію (rNa^+) чи магнію (rMg^{2+}) до кальцію (rCa^{2+}). Такі коефіцієнти (k_{Na} , k_{Mg}) застосовуються для оцінювання іригаційних вод щодо ризику натрієвого або магнієвого осолонцювання ґрунтів [12–14].

До окремої групи належить показник Ψ – сума відношень значень показників із однаковою лімітуючою ознакою шкідливості до їхніх нормативів. Він використовується для кількісної оцінки речовин, що проявляють ефект сумарної дії [15].

Виконання вимог норм забезпечується дотриманням відповідних умов [16]:

$$C_i \leq H_i. \quad (1)$$

$$\Psi = \sum (C_i/H_i) \leq 1. \quad (2)$$

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

Оцінювання якості води за певний ретроспективний період на першому етапі досягнення доброго стану МПВ відповідно до ВРД і директив [2–4] здійснюється шляхом визначення кількості випадків перевищення нормативів (H) для кожного показника. При застосуванні статистичних методів дослідження говорять про ймовірність перевищення

(забезпеченість) H . Якість води вважається такою, що відповідає нормам, якщо забезпеченість H не більше встановленого обмеження F за аналізований період.

Обмеження F може набувати значення 10% (за санітарними нормами) або 5% (за рибогосподарськими) [2–4]. Якщо встановлюється умова не перевищення H , то F доцільно прийняти 2,5%, використовуючи правило «двох сигм». Ця умова може бути ще більш жорсткою – 0,15%, орієнтуючись на правило не двох, а «трьох сигм». Оцінювання якості води відповідно до вимог ЄС може бути виконано за умови використання значень показників (C_F) із забезпеченістю F [15, 16]: якщо C_F не більше H , то ризик його перевищення буде не більше за F .

У діючих українських методиках подібний підхід наразі не передбачений: зазвичай оцінка якості виконується за середніми значеннями показників ($C_{СЕР}$). Проте навіть при дотриманні умов (1) і (2) ризик перевищення H може сягати 50%, якщо $C_{СЕР}$ наближене до нормативу або збігається з ним.

Часова мінливість показників може мати сталий тренд – як низхідний, так і висхідний. Через це оцінка, виконана лише на основі попередніх даних, не завжди репрезентативна щодо майбутнього стану водного об'єкта. Для підвищення достовірності оцінки ЯВ потрібно враховувати часові тренди та здійснювати прогнозування значень її показників.

Прогноз якості води. Прогнозне значення показника ЯВ у моменті часу j із забезпеченістю F за наявності часового тренду може бути розраховане за формулою (3) [17, 18]:

$$C_{Fij} = a_i \exp(jb_i) \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; 0; \check{G}_{NTi}), \quad (3)$$

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

a_i та b_i – параметри експоненціального тренду для i -го показника;

j – момент часу (календарна дата або порядковий номер місяця при щомісячних вимірюваннях);

$\text{ЛОГНОРМОБР}()$ – стандартна функція Excel;

F – забезпеченість (ймовірність перевищення нормативу);

0 і $\check{G}_{NTi}$ – параметри логнормального розподілу показника якості води за умови нормування його значень відносно експоненціального тренду [18, 19].

Функція $\text{ЛОГНОРМОБР}()$ повертає таке значення x випадкової величини X , ймовірність якого дорівнює заданому значенню P . В аналітичній формі відповідну залежність для логнормального розподілу можна подати так:

$$P(X \leq x) = \int_0^x \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (4)$$

За умови слабого часового тренду або його відсутності значення показника з заданою забезпеченістю F у минулому та майбутньому вважається практично сталим, тобто не залежним від часу, і може бути визначене за формулою (5) [17, 18]

$$C_{Fi} = \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; \check{C}_i; \check{G}_i), \quad (5)$$

де $\check{C}_i$ і $\check{G}_i$ – параметри логнормального розподілу відповідного показника. Параметрами логнормального закону розподілу показника ЯВ є середнє та середньоквадратичне відхилення його логарифмованих значень.

Знання параметрів закону розподілу показника дозволяє здійснювати оцінку ЯВ відповідно до вимог норм двома способами: через співвідношення (1) і (2) із використанням C_F , а також за ймовірністю перевищення нормативу (забезпеченість), яку можна розглядати як ризик погіршення ЯВ (R_H) за конкретним показником [18]. У разі наявності часового тренду показника R_H визначається за формулою (6), а при відсутності тренду – за формулою (7) [18].

$$R_{Hij} = 1 - \text{ЛОГНОРМРАСП}(H_i / (a_i \exp(jb_i)); 0; \check{G}_{NTi}), \quad (6)$$

$$R_{Hi} = 1 - \text{ЛОГНОРМРАСП}(H_i; \check{C}_i; \check{G}_i), \quad (7)$$

R_{Hi} – ризик погіршення ЯВ за i -м показником; H_i – норматив i -го показника.

При R_H більш F ЯВ не відповідає вимогам норм, у протилежному випадку – відповідає

$$R_{Hi} \leq F. \quad (8)$$

2.2 Нормування якості вод

Згідно зі статтею 4 Directive 2008/105/EC (цитата): «1. Member States may designate mixing zones adjacent to points of discharge. Concentrations of one or more substances listed in Part A of Annex I may exceed the relevant EQS within such mixing zones if they do not affect the compliance

of the rest of the body of surface water with those standards.» (кінець цитати). Це означає, що країни-члени ЄС можуть самостійно визначати зони змішування, розташовані поблизу точок скидання стічних вод. У цих зонах концентрації речовин із частини А Додатку I Directive 2008/105/EC можуть перевищувати нормативи, але вони мають бути враховані в планах управління річковими басейнами (ПУРБ), розроблених відповідно до статті 13 ВРД. Надалі країни повинні поступово зменшувати площу таких зон. Таким чином, Directive 2008/105/EC допускає тимчасове перевищення нормативів у стічних водах на шляху до досягнення доброго стану МПВ, а скорочення антропогенного навантаження здійснюється поступово.

Під час скидів ЗР у водні об'єкти різного призначення ЯВ у контрольних створах повинна відповідати вимогам ВРД. Проте наявні методичні рекомендації [19, 20] щодо розрахунку гранично допустимих скидів (ГДС) ЗР не дозволяють перевірити виконання цих умов через відсутність даних про ймовірнісні характеристики фонових значень показників ЯВ. У [19] за фонове приймається верхня межа 95% довірчого інтервалу ймовірних середніх значень показника за найгірші гідрохімічні або гідрологічні сезони року.

Цю проблему можна вирішити, якщо за фонові приймати значення показників із заданою забезпеченістю F . Тоді розрахунок ГДС ЗР дозволяє визначити таку концентрацію речовини в стічних водах ($C_{ГДСF}$), при якій забезпеченість (ризик перевищення) H за кожним показником ЯВ у контрольному створі у майбутньому не перевищуватиме F (за умови постійного скидання), оскільки додавання константи до випадкової величини не змінює її варіації. При наявності часових трендів показників ЯВ значення фонових характеристик можуть бути прогнозовані за формулою (3).

Таким чином, формула розрахунку гранично допустимої для скидання концентрації консервативної речовини в стічних водах ($C_{ГДСF}$) [20] у водних об'єктах може бути подана у вигляді (9).

$$C_{ГДСF} = n \cdot (H_i - C_{iF}) + C_{iF}, \quad (9)$$

де n – кратність розбавлення стічних вод у контрольному створі; C_{iF} – значення показника забезпеченістю F , прийняте як фонове.

Для групи консервативних речовин із ефектом

сумації [21] формула визначення гранично допустимого значення показника в стічних водах записується у вигляді (10)

$$\Psi_{ГДСF} = n \cdot (1 - \Psi_F) + \Psi_F, \quad (10)$$

де $\Psi_{ГДСF}$ – гранично допустиме для скидання значення показника Ψ у стічних водах; 1 – норматив показника Ψ ; Ψ_F – значення показника Ψ забезпеченістю F , прийняте як фонове.

Для кожного спостережуваного періоду показник Ψ обчислюється за формулою (2), після чого, як і для інших показників, аналізується його часова мінливість та визначаються необхідні статистичні характеристики.

Формули (9) і (10) дозволяють визначити такі значення показників у стічних водах, за яких у контрольному створі у майбутньому буде виконуватися умова (8).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Оцінка і прогноз якості вод річки Дунай

Результати обробки спостережень на Дунаї наведені в табл. 1. У таблиці представлено: середні значення показників; значення із забезпеченістю $F = 10, 5$ і $2,5\%$; прогнозні значення показників із згаданою забезпеченістю F на дату 31.12.2026 р.

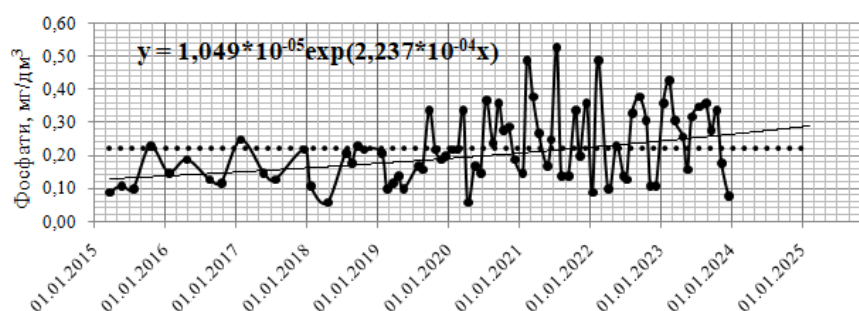
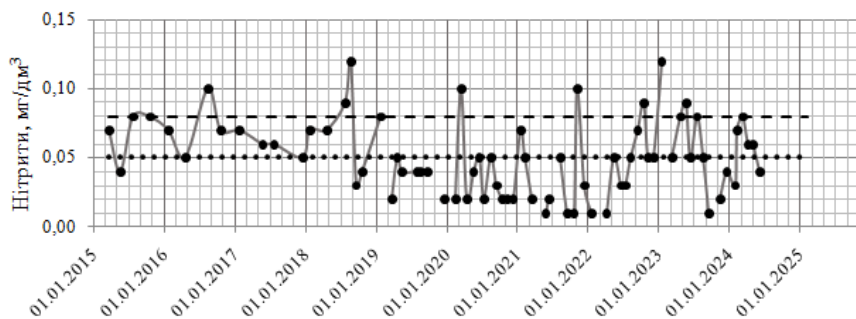
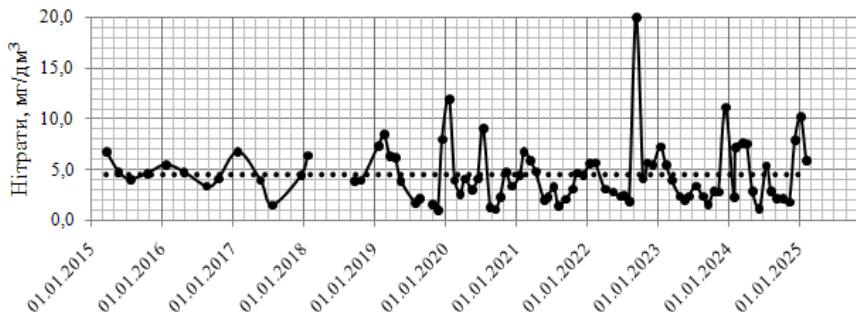
Середній вміст фосфат-іонів (PO_4^{3-}) в водах Дунаю за період спостережень 2015–2023 рр. ($C_{СЕР} = 0,224$ мг/дм³) не перевищував рибогосподарський норматив ($H = 1,2$ мг/дм³) (табл. 1).

Значення PO_4^{3-} (C_F) із забезпеченістю 10, 5 та 2,5% за період спостережень без урахування тренду дорівнюють – 0,379, 0,456 і 0,535 мг/дм³, з урахуванням тренду наприкінці періоду спостережень – 0,481, 0,571 і 0,662 мг/дм³. Прогнозні значення показників ($C_{ФПР}$) без урахування тренду (підкреслені у табл. 1) дорівнюють значенням за минулий період спостережень.

Прогнозні значення PO_4^{3-} ($C_{ФПР}$) з урахуванням тренду складають – 0,615, 0,729 і 0,846 мг/дм³ (виділені напівжирним шрифтом). Усі перелічені значення показника PO_4^{3-} не перевищують рибогосподарський норматив. Це зазначає, що вимоги ЄС щодо цього показника виконувалися у минулому і будуть дотримані у найближчому майбутньому.

Таблиця 1 – Показники якості вод річки Дунай та їх характеристики
Table 1 - Water quality indicators of the Danube River and their characteristics

2015–2023 (PO_4^{3-})		$C_{СЕР}$	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	$C_{10ПР}$	$C_{5ПР}$	$C_{2,5ПР}$
$\check{C}$	-1,619	0,224	0,379	0,456	0,535	<u>0,379</u>	<u>0,456</u>	<u>0,535</u>
$\check{G}$	0,5069							
$\check{C}_{HT}$	0		0,481	0,571	0,662	0,615	0,729	0,846
$\check{G}_{HT}$	0,4206							
2015–2024 (NO_2^-)		$C_{СЕР}$	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	$C_{10ПР}$	$C_{5ПР}$	$C_{2,5ПР}$
$\check{C}$	-3,169	0,0504	0,098	0,124	0,152	0,098	0,124	0,152
$\check{G}$	0,6571							
2015–2024 (NO_3^-)		$C_{СЕР}$	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	$C_{10ПР}$	$C_{5ПР}$	$C_{2,5ПР}$
$\check{C}$	1,334	4,51	8,10	10,1	12,1	8,10	10,1	12,1
$\check{G}$	0,5922							

Рис. 1 – Хронологічна мінливість показника PO_4^{3-} (р. Дунай, м. Кілія)Fig. 1 - Chronological variability of the PO_4^{3-} indicator (Danube River, Kiliya town)Рис. 2 – Хронологічна мінливість показника NO_2^- (р. Дунай, м. Кілія)Fig. 2 - Chronological variability of the NO_2^- indicator (Danube River, Kiliya city)Рис. 3 – Хронологічна мінливість показника NO_3^- (р. Дунай, м. Кілія)Fig. 3 - Chronological variability of the NO_3^- indicator (Danube River, Kiliya city)

Проте, за прогнозом на кінець 2030 року (31.12.2030), з урахуванням збереження поточної тенденції (параметри тренду наведені на рис. 1),

значення показника з забезпеченістю 2,5% досягне 1,17 мг/дм³, що практично дорівнює нормативу. У такому випадку вимога наступних

етапів досягнення доброго стану МПВ відповідно до ВРД і ПУРБ (відсутність перевищень нормативу) може бути порушена. Тому скиди стічних вод із концентрацією фосфат-іонів понад норматив слід буде заборонити, а також вжити заходів для зменшення їх надходження з зосереджених та дифузних джерел. Середній вміст нітрит-іонів (NO_2^-) та нітрат-іонів (NO_3^-) в водах Дунаю протягом періоду спостережень не перевищував рибогосподарські нормативи ($H = 0,08$ мг/дм³ та 40 мг/дм³ відповідно). У цих показників часові тренди відсутні (рис. 2 і 3). Водночас, значення NO_2^- із забезпеченістю F (у табл. 1: $C_F = 0,098, 0,124$ та $0,152$ мг/дм³) перевищують норматив, що свідчить про порушення вимог ВРД та ПУРБ.

Що стосується нітрат-іонів, то їхній вміст в водах Дунаю відповідає критерію «доброго стану» (табл. 1).

3.2 Нормування якості вод річки Дунай за окремими показниками

Приклад розрахунку гранично допустимих для скидання значень розглянутих показників якості води (PO_4^{3-} , NO_2^- , NO_3^-) у стічних водах

наведено в табл. 2. Значення показників NO_2^- та NO_3^- із забезпеченістю F , прийняті як фонові, обчислені за формулою (5). Такий підхід застосовний за умови відсутності або наявності слабого тренду, а також обґрунтований при наявності негативного тренду, оскільки в цьому випадку розраховані ГДС будуть заниженими, проте у короткостроковій перспективі норми ЄС залишатимуться дотриманими. Якщо спостерігається позитивний часовий тренд, значення C_F слід визначати за формулою (3).

Для показника PO_4^{3-} значення $C_{ГДСF}$ розраховані з урахуванням тренду (виділено напівжирним шрифтом) і без його врахування (підкреслено). За табл. 2 видно, що виділені напівжирним шрифтом значення ($2,96, 2,61$ та $2,26$ мг/дм³) суттєво менш ніж підкреслені ($3,66, 3,43$ та $3,20$ мг/дм³).

При розрахунках ГДС для поступового досягнення доброго стану МПВ згідно ВРД та ПУРБ (при статистичному обмеженні кількості перевищень нормативів на рівні 10, 5 та 2,5%) пропонуються такі фонові значення показників ЯВ: $PO_4^{3-} - 0,615, 0,729$ та $0,846$ мг/дм³; $NO_2^- -$ дорівнює нормативу $0,08$ мг/дм³; $NO_3^- - 8,10, 10,1$ та $12,1$ мг/дм³.

Таблиця 2 - Розрахунок гранично допустимих для скидання значень показників у стічних водах
Table 2 - Calculation of maximum permissible discharge values for indicators in wastewater

Показник	H	$C_{СЕР}$	C_{10} (фон)	C_5 (фон)	$C_{2,5}$ (фон)	$C_{ГДС10}$	$C_{ГДС5}$	$C_{ГДС2,5}$
PO_4^{3-}	1,20	0,224	0,379	0,456	0,535	<u>3,66</u>	<u>3,43</u>	<u>3,20</u>
			0,615	0,729	0,846	2,96	2,61	2,26
NO_2^-	0,08	0,0504	0,098	0,124	0,152	0,08	0,08	0,08
NO_3^-	40	4,51	8,10	10,1	12,1	136	130	124

4. ВИСНОВКИ

1. Для поступового досягнення доброго стану МПВ відповідно до вимог ВРД на початковому етапі ПУРБ при розрахунку ГДС забруднювальних речовин із стічними водами доцільно у фоновому створі використовувати значення показників якості води C_F із забезпеченістю $F = 10, 5$ та $2,5\%$. Значення $C_{2,5}$ застосовуються для забезпечення відсутності перевищень нормативів на завершальних етапах ПУРБ.

2. Використання фонових характеристик C_F , розрахованих без урахування часового тренду, є допустимим при відсутності або наявності слабого тренду, при цьому вимоги норм ЄС лишаються дотриманими. У разі негативного тренду розраховані ГДС будуть заниженими, що

відповідає вимогам норм ЄС і є припустимим для охорони довкілля. Проте ігнорування позитивного часового тренду може призвести до порушення європейських стандартів у майбутньому.

3. При нормуванні скидань ЗР для поступового досягнення доброго стану МПВ згідно ВРД та ПУРБ Дунаю (при обмеженні кількості перевищень нормативів на рівні 10, 5 та $2,5\%$) пропонуються такі фонові значення показників ЯВ: $PO_4^{3-} - 0,615, 0,729$ та $0,846$ мг/дм³; $NO_2^- -$ дорівнює нормативу $0,08$ мг/дм³; $NO_3^- - 8,10, 10,1$ та $12,1$ мг/дм³.

4. На кінець 2030 року (31.12.2030), при збереженні існуючого тренду значення показника PO_4^{3-} із забезпеченістю $2,5\%$ досягне $1,17$ мг/дм³, що практично дорівнює нормативу. У такому випадку вимога наступних етапів досягнення

доброго стану МПВ відповідно до ВРД і ПУРБ (відсутність перевищень нормативу) може бути порушена.

5. Наступні дослідження слід спрямувати на техніко-економічне обґрунтування статистичних обмежень перевищення нормативів для показників, що не належать до пріоритетних, та впровадження цієї пропозиції на заключних етапах ПУРБ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
2. Council Directive 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States.
3. Council Directive 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water.
4. Council Directive 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life.
5. Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council.
6. Уберман, В.І., Васьковець Л.А. Адаптація українського правового регулювання скидання забруднювальних речовин до екологічного законодавства ЄС. Науковий вісник УНУ, Право, 2022. 71. С. 197–202. DOI: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.71.33>
7. Уберман В. І., Васьковець Л. А. Поетапне наближення українського еколого-правового інституту якості вод та її регулювання до законодавства Європейського Союзу. Legislation of EU countries: history, shortcomings and prospects for the development. Frankfurt (Oder), Baltija Publishing. 2019. С. 334–354.
8. Бреус Д.С., Левченко М.В. Методи оцінювання та нормування якості природних водних ресурсів. Таврійський науковий вісник, 2019. 110(2). С. 126–131. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.20>
9. Sun, H., Tian, Yu, Cai, G., Li, L., Meng, Yi., Huang, X., Zhan, W., Zhou, X. Anthropogenic pollution discharges, hotspot pollutants and targeted strategies for urban and rural areas in the context of population migration: Numerical modeling of the Minjiang River basin. Environment International. 2022, 160. Pp. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107508>
10. Коробкова Г.В. Екологічне нормування якості поверхневих вод на прикладі басейну річки Сіверський Донець (в межах Харківської області): Дисертація на здобуття наукового ступеню к.геогр.н. Харків, 2018. 248 с.
11. Проскурнін О.А., Божко Т.В., Жук В.М., Комариста Б.М., Бендюг В.І. Доцільність врахування комплексних показників якості природної води при нормуванні скидань забруднюючих речовин із зворотними водами у водні об'єкти. Науковий вісник будівництва. 2022. 108(2). С. 79–84. DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2022-108-2-79-84>
12. Yurasov, S.M., Karaulov, V.D., Terzeman, V.V. (2025). Improved assessment and forecasting of irrigation water quality. Man and Environment. Issues of Neocology, (43), 33–47. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03>
13. Yurasov S., Karaulov V. Improving methods for assessing the quality of water objects as sources of irrigation water (on the example of rivers in the Odesa region). Advances in Science and Technology. 2025. Vol. 162. Pp. 87–98. DOI: <https://doi.org/10.4028/v-nA4pb0>
14. Доценко В.І., Онопрієнко Д.М., Запорожченко В.Ю., Ткачук Т.І. Оцінка якості води для поливів сільськогосподарських культур: навчальний посібник. Дніпро. Акцент ПП. 2022. 149 с.
15. Yurasov, S., Safranov, T., Chugai, A., Kuryanova, S., Artvykh, Ju. Adapting the Methods for Assessing a Water Quality when Normalizing the Pollutant Discharges in Ukraine to the Regulatory Requirements of the European Union. Ecological Engineering & Environmental Technology, 2022. 23, 3. pp. 167–176. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/147447>
16. Юрасов, С.М., Терзєман, В.В. Якість вод: оцінка, мінливість, прогноз, нормування. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023.
17. Terzeman, V. V., Yurasov, S. M. (2025). Forecast of organic matter content in the waters of the Danube river (Kilia). Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology, (32), 61–70. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04>
18. Юрасов С.М. Прогноз ризику погіршення якості вод за окремими показниками. Матеріали 79-ї звітної наукової конференції проф.-викл. складу і наукових працівників ФГМЕ ОНУ ім. І. І. Мечникова. Одеса. ОНУ ім. І.І. Мечникова. 2024. С. 45–48. URL:
19. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища № 116 від 15.12.1994 р., 79 с.
20. Порядок розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти та перелік забруднюючих речовин, скидання яких у водні об'єкти нормується: Постанова КМУ від 11.09.1996 р. № 1100 із змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ від 13.12.2017 № 1091.
21. Юрасов С.Н., Курьянова С.А. Особливості нормування скидів речовин з ефектом сумарної дії. Молодий вчений. 2015. 9(24). с. 134–137.

REFERENCES

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. (in English)
2. Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC. (in English)
3. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption.(in English)
4. Council Directive 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. (in English)
5. Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC,

- 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. (in English).
6. Uberman, V.I., & Vaskovets, L.A. *Adaptatsiia ukrainskoho pravovoho rehuliuвання skydannya zabrudniuvalnykh rehovyn do ekolohichnoho zakonodavstva YeS* [Adaptation of Ukrainian legal regulation of pollutant discharges to the EU], Scientific Bulletin of UNU, Law, 71, pp. 197-202. (in Ukrainian)
 7. Uberman, V.I., & Vaskovets, L.A. *Poetapne nablyzhennia ukrainskoho zakonodavstva ekolo-ho-pravovoho instytutu yakosti vod ta yii rehuliuвання do zakonodavstva Yevropeiskoho Soiuzu. Legislation of EU countries: history, shortcomings and prospects for development* [Gradual approximation of the Ukrainian eco-legal institute of water quality and its regulation to the legislation of the European Union. Legislation of EU countries: history, shortcomings and prospects for development]. Frankfurt (Oder), Baltija Publishing, 2019. pp. 334-354. (in Ukrainian)
 8. Breus, D.S., & Levchenko, M.V. *Metody otsiniuvannya ta normuvannya yakosti pryrodnykh vodnykh resursiv* [Methods for assessment and regulation of the quality of natural water resources] Tavriyskyi Scientific Bulletin, 2019. 110(2), pp. 126-131. (in Ukrainian)
 9. Sun, H., Tian, Yu, Cai, G., Li, L., Meng, Yi., Huang, X., Zhan, W., & Zhou, X. (2022). Anthropogenic pollution discharges, hotspot pollutants and targeted strategies for urban and rural areas in the context of population migration: Numerical modeling of the Minjiang River basin. *Environment International*. 160. Pp. 1–11. (in English)
 10. Korobkova, H.V. *Ekolohichne normuvannya yakosti poverkhnelykh vod na prykladi baseinu richky Siverskyi Donetsk (v mezhakh Kharkivskoi oblasti)* [Environmental regulation of surface water quality: the case of the Siverskyi Donetsk River basin (within Kharkiv Oblast)] Doctoral dissertation, PhD in Geography. Kharkiv, 2018. 248 pp. (in Ukrainian)
 11. Proskurnin, O.A., Bozhko, T.V., Zhuk, V.M., Komarista, B.M., & Bendug, V.I. *Dotsilnist vrakhuvannya kompleksnykh pokaznykiv yakosti pryrodnoi vody pry normuvanni skydan zabrudniuvalnykh rehovyn iz zvorotnykh vodamy u vodni obiekty* [The expediency of taking into account comprehensive indicators of natural water quality when regulating the discharge of pollutants with return waters into water bodies]. *Scientific Bulletin of Construction*, 2022. 108(2). Pp. 79-84. (in Ukrainian)
 12. Yurasov, S.M., Karaulov, V.D., & Terzeman, V.V. *Udoskonalennia otsinky i prohnozu yakosti iryhatyinykh vod* [Improved assessment and forecasting of irrigation water quality]. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, 2025. 43. pp 33-47. (in Ukrainian)
 13. Yurasov S., & Karaulov V. (2025). *Udoskonalennia metodiv otsinky yakosti vodnykh obektiv yak dzherel zroshuvanoi vody (na prykladi richok Odeskoi oblasti)* [Improving methods for assessing the quality of water objects as sources of irrigation water (on the example of rivers in the Odesa region)]. *Advances in Science and Technology*. 162. Pp. 87–98. (in Ukrainian)
 14. Dochenko, V.I., Onopriienko, D.M., Zaporozhchenko, V.Yu., & Tkachuk, T.I. *Otsinka yakosti vody dlia polyviv silskohospodarskykh kultur: navchalnyi posibnyk* [Assessment of water quality for irrigation of agricultural crops: a textbook]. Dnipro: Aktsent PP, 2022. 149 pp. (in Ukrainian)
 15. Yurasov, S., Safranov, T., Chugai, A., Kuryanova, S., & Artvykh, Ju. (2022). Adapting the Methods for Assessing a Water Quality when Normalizing the Pollutant Discharges in Ukraine to the Regulatory Requirements of the European Union, *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23, 3, pp. 167–176. (in English)
 16. Yurasov, S.M., & Terzeman, V.V. *Yakist vod: otsinka, minlyvist, prohnoz, normuvannya* [Water Quality: Assessment, Variability, Forecast, Regulation]. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2023. (in Ukrainian)
 17. Terzeman, V. V., & Yurasov, S. M. *Prohnoz vmistu orhanichnykh rehovyn u vodakh richky Dunai (Kiliia)* [Forecast of organic matter content in the waters of the Danube river (Kilia)]. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 2025. (32), 61-70. (in Ukrainian)
 18. Yurasov S.M. *Prohnoz ryzyku pohirshennia yakosti vod za okremymi pokaznykamy* [Forecasting the risk of water quality deterioration by individual indicators]. *Proceedings of the 79th reporting scientific conference of the academic staff and researchers of the FGME of the I. I. Mechnikov ONU*, 2024. pp. 45-48. (in Ukrainian)
 19. *Instruktsiia pro poriadok rozrobky ta zatverdzhennia hranychno dopustymykh skydiv (HDS) rehovyn u vodni obiekty iz zvorotnykh vodamy* [Instruction on the Procedure for Developing and Approving Maximum Permissible Discharges (MPD) of Substances into Water Bodies with Wastewater]. Order of the Ministry of Environmental Protection No. 116, dated December 15, 1994. (in Ukrainian)
 20. *Poriadok rozroblennia normatyviv hranychno dopustymoho skydannya zabrudniuvalnykh rehovyn u vodni obiekty ta perelik zabrudniuvalnykh rehovyn, skydannya yakykh u vodni obiekty normuietsia* [Procedure for Developing Standards for Maximum Permissible Discharges of Pollutants into Water Bodies and the List of Pollutants Whose Discharges into Water Bodies Are Regulated]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1100, dated September 11, 1996, as amended by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1091, dated December 13, 2017. (in Ukrainian)
 21. Yurasov, S.N., & Kuryanova, S.A. *Osoblyvosti normuvannya skydiv rehovyn z efektom sumarnoi dii*. [Features of regulating discharges of substances with cumulative effects]. *Young Scientist*, 2015. 9(24), pp. 134-137. (in Ukrainian)

STATISTICAL METHODS IN RIVER WATER QUALITY MANAGEMENT IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE

S. M. Yurasov, V. V. Terzeman

I. I. Mechnikov Odesa National University
2 V. Zmiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine
urasen54@gmail.com, mikkymailz@gmail.com

The study is devoted to the development of scientifically grounded recommendations for integrating the requirements of the European Union Water Framework Directive (WFD) and River Basin Management Plans (RBMPs) into the process of calculating the maximum allowable discharges of pollutants from wastewater using current national methodologies. The Danube River basin is considered as an example based on monitoring data from 2015-2024. Special attention is paid to the assessment and forecasting of water quality, which are key elements of the water quality regulation procedure.

The study analyzes the water legislation of the European Union countries regarding the assessment of surface water quality. According to the provisions of the WFD and at the initial stage of RBMPs, the water quality in a water body over a certain past period is considered compliant with EU standards if the probability of exceeding the normative values (assurance level) for each indicator does not exceed a specified limit, F . Based on this, it is proposed to carry out regulation, as well as the associated assessment and forecasting of surface water quality, using indicators with assurance level F . This approach ensures alignment of national methodologies for these calculations with EU legislative requirements. The proposed provisions were tested using the analysis of temporal variability of water quality indicators in the Danube river. It was shown that when using average values of indicators, the WFD and RBMP requirements are often not met because the assurance level of these values can significantly exceed the established limits for the frequency of MAC exceedances. To gradually achieve “good status” of surface water bodies according to the WFD and RBMPs, it is advisable to use values of indicators with assurance levels of 10%, 5%, and 2.5% as the design (background) values when regulating pollutant discharges from wastewater. In addition, when temporal trends of indicators are present, their values should be forecasted to ensure compliance with the WFD requirements, especially in the case of positive trends.

Keywords: water quality assessment, maximum allowable discharge, background characteristics, EU directives, water quality forecasting.

Подання до редакції : 25. 11. 2025

Надходження остаточної версії : 12. 12. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025

УДК 622.271

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОД В РЕКРЕАЦІЙНИХ ЦІЛЯХ У ЗАЛИШКОВИХ ВИРОБЛЕНИХ КАР'ЄРАХ ДНІПРОВСЬКОГО РАЙОНУ

О. В. Ложніков, В. О. Адамова, П. К. Ломазов

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро, Україна, lom.lomazov@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-1231-0295>, <https://orcid.org/0009-0000-7802-5193>,
<https://orcid.org/0009-0007-7129-1334>

У статті представлено результати комплексного дослідження якості води в затоплених вироблених просторах кар'єрів Дніпровського району з метою оцінювання можливостей їх подальшого використання у виробничих чи рекреаційних цілях.

Робота охоплює детальний опис застосованої методики, яка поєднує візуально-географічні, органолептичні, інструментально-польові та лабораторно-аналітичні методи, що забезпечило всебічне вивчення сучасного стану техногенно створених водойм. Візуально-географічні дослідження включали фіксацію просторових координат кар'єрів із використанням GPS-навігації та оцінку загальних морфометричних характеристик водойм.

Органолептичні спостереження проводилися безпосередньо на місцевості й дозволили встановити запах, колір, каламутність і температуру води, тоді як інструментально-польові вимірювання дали змогу визначити рівень іонізуючого випромінювання на прилеглих територіях. У лабораторних умовах визначено мінералізацію, загальну жорсткість, кислотність та інші важливі фізико-хімічні показники, що є критично важливими для оцінки відповідності санітарно-гігієнічним нормативам.

На основі отриманих результатів розроблено методику ранжування водойм за сукупністю показників, що дозволило об'єктивно визначити придатність кожного об'єкта. Сформовано рейтинг найкращих обводнених кар'єрів: Новомиkolaївський кар'єр отримав 7 балів, Малий кар'єр у с. Зоряне – 6 балів, тоді як Старокодацький кар'єр – 3 бали.

Дослідження показало, що інші кар'єри на даному етапі не можуть бути рекомендовані для рекреаційного використання через перевищення концентрацій окремих забруднювальних речовин порівняно з гранично допустимими концентраціями. Наукова новизна роботи полягає у першому комплексному зіставленні техногенно створених водойм цього регіону з використанням трьох нормативних систем, що забезпечило більш деталізовану та обґрунтовану оцінку їхньої екологічної безпеки.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їхнього використання органами місцевого самоврядування під час прийняття рішень щодо регулювання рекреаційної діяльності на досліджуваних водоймах та визначення допустимого навантаження на такі об'єкти. Дані дослідження можуть бути використані як основа для розроблення програм з упорядкування та благоустрою прибережних територій, визначення пріоритетних напрямів природоохоронних заходів, а також формування локальних стратегій екологічної безпеки.

Крім того, результати становлять практичну цінність для місцевого населення та туристів, оскільки забезпечують доступ до об'єктивної інформації про якість води та рівень потенційних ризиків під час перебування на подібних водоймах. Це сприяє усвідомленому вибору місць відпочинку й попередженню можливих негативних наслідків для здоров'я, що є важливим у контексті зростаючої популярності рекреаційного використання водойм техногенного походження.

Ключові слова: кар'єр, обводнені вироблені простори, рекультивація, рекреаційна зона, якість води, екологічний моніторинг, екологічна безпека.

1. ВСТУП

В умовах зростання урбанізації та антропогенного навантаження на довкілля питання якості води у штучних водоймах набуває особливої актуальності. У промислових регіонах, зокрема у місті Дніпро та його околицях, одними з потенційних джерел прісної

води та зон відпочинку населення стали обводнені вироблені простори кар'єрів, що утворилися внаслідок гірничодобувної діяльності. Ці водойми нерідко використовуються як місця для купання та рекреації, особливо в літній період. Однак, на відміну від природних водойм, кар'єри мають специфічні гідрологічні, геохімічні та екологічні

умови, що вимагає окремого підходу до оцінки їхньої екологічної безпеки [1].

На сьогодні більшість досліджень щодо якості води в кар'єрах обмежується аналізом лише окремих параметрів або виконується з акцентом на промислову безпеку, а не на рекреаційне чи побутове використання. Відсутність нормативної класифікації таких водойм, а також нестача порівняльної оцінки відповідно до міжнародних стандартів ускладнює ухвалення рішень органами місцевого самоврядування та охорони здоров'я щодо допустимості купання або іншого використання води з цих об'єктів [2].

Кар'єри Дніпровського району, попри активне відвідування населенням, досі залишаються недостатньо вивченими. Поширеною є практика несанкціонованого використання таких водойм без належної перевірки якості води, що створює потенційні ризики для здоров'я людей. Водночас зміна клімату, підвищення температури повітря [3] та зниження водообміну [4] в кар'єрах можуть посилювати евтрофікацію, бактеріальне навантаження і зменшення кисневого режиму, що додатково погіршує екологічну якість таких водойм.

Окрему загрозу спричинили воєнні дії в Україні, які призвели до локальних руйнувань об'єктів інфраструктури, забруднення територій, порушення стабільного доступу до питної води та зростання екологічної уразливості окремих регіонів. У цьому контексті штучні водойми, зокрема затоплені кар'єри, можуть розглядатися як потенційні резервні джерела водопостачання, або ж як ділянки підвищеного ризику через можливе забруднення продуктами горіння, вибуховими речовинами та відходами, що утворилися внаслідок воєнних дій [5-6].

У зв'язку з цим актуальним є проведення комплексного дослідження, яке охоплює фізико-хімічний аналіз (визначення рН, жорсткості, мінералізації, вмісту нітратів та інших індикаторних компонентів), лабораторно-аналітичні вимірювання спектрофотометричними методами відповідно до ДСТУ, а також радіологічний контроль із застосуванням дозиметричних приладів. Особливої цінності набуває поєднання трьох систем нормативів – української [7], європейської (Директива 2020/2184) [8] та канадської [9], – що забезпечує всебічну оцінку безпечності водного середовища.

Таким чином, мета цього дослідження полягає у визначенні гігієнічної та екологічної

безпеки води в кар'єрних водоймах за критерієм їхньої придатності для рекреаційного напрямку відновлення з подальшим ранжуванням.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення дослідження обрано вісім відпрацьованих кар'єрів, розташованих у місті Дніпро та його приміських територіях, у межах яких сформувалися стійкі водойми техногенного походження. Обстеження об'єктів здійснювали методом маршрутних польових досліджень із фіксацією фізико-географічних умов ділянок, візуальною оцінкою стану берегової смуги, доступності та рівня благоустрою територій.

Дослідження якості водного середовища включало відбір проб у приповерхневому шарі водойм, виконання інструментальних вимірювань основних гідрохімічних показників у польових умовах та лабораторний аналіз фізико-хімічного складу води. Визначали вміст розчинених солей, сполук азоту та фосфору, а також оцінювали органолептичні властивості. Обробку результатів здійснювали із застосуванням статистичних методів з подальшим порівнянням отриманих значень із гранично допустимими концентраціями.

Для забезпечення просторової коректності дослідження координати пунктів відбору проб фіксували за допомогою GPS із подальшою побудовою картосхем розміщення об'єктів та аналізом просторового розподілу показників.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ІХ ОБГОВОРЕННЯ

Відповідно до поставленої задачі виконано вибір зразків і надано оцінку для восьми затоплених вироблених просторів кар'єрів Дніпровського району, що використовуються населенням у рекреаційних цілях (рис. 1).

Представлена схема затоплених кар'єрів в Дніпровському районі має нумерацію, що відповідає порядку їх опису в цьому дослідженні. При цьому варто додати, що кар'єри 1 – 7 були орієнтовані на розробку граніту для отримання щебеневої продукції, у той час як кар'єр 8 призначався для виготовлення піщаної продукції.

При проведенні досліджень основна увага приділялася визначенню найбільш важливих показників, які дозволяють оцінити забруднення водних ресурсів: нітритів (NO_2^-), нітратів (NO_3^-), гідрокарбонатів (тимчасова жорсткість), жорсткості, загальної лужності, каламутності, мінералізації, рівня розчиненого кисню, окисно-відновного потенціалу. Відбір проб води

проводився в літній період 7 липня 2025 року.

Нижче наведено результати проведених досліджень, які дозволяють в подальшому виконати ранжування водойм в залишкових

вироблених просторах кар'єрів з визначенням їх привабливості до залучення у рекреаційне використання.

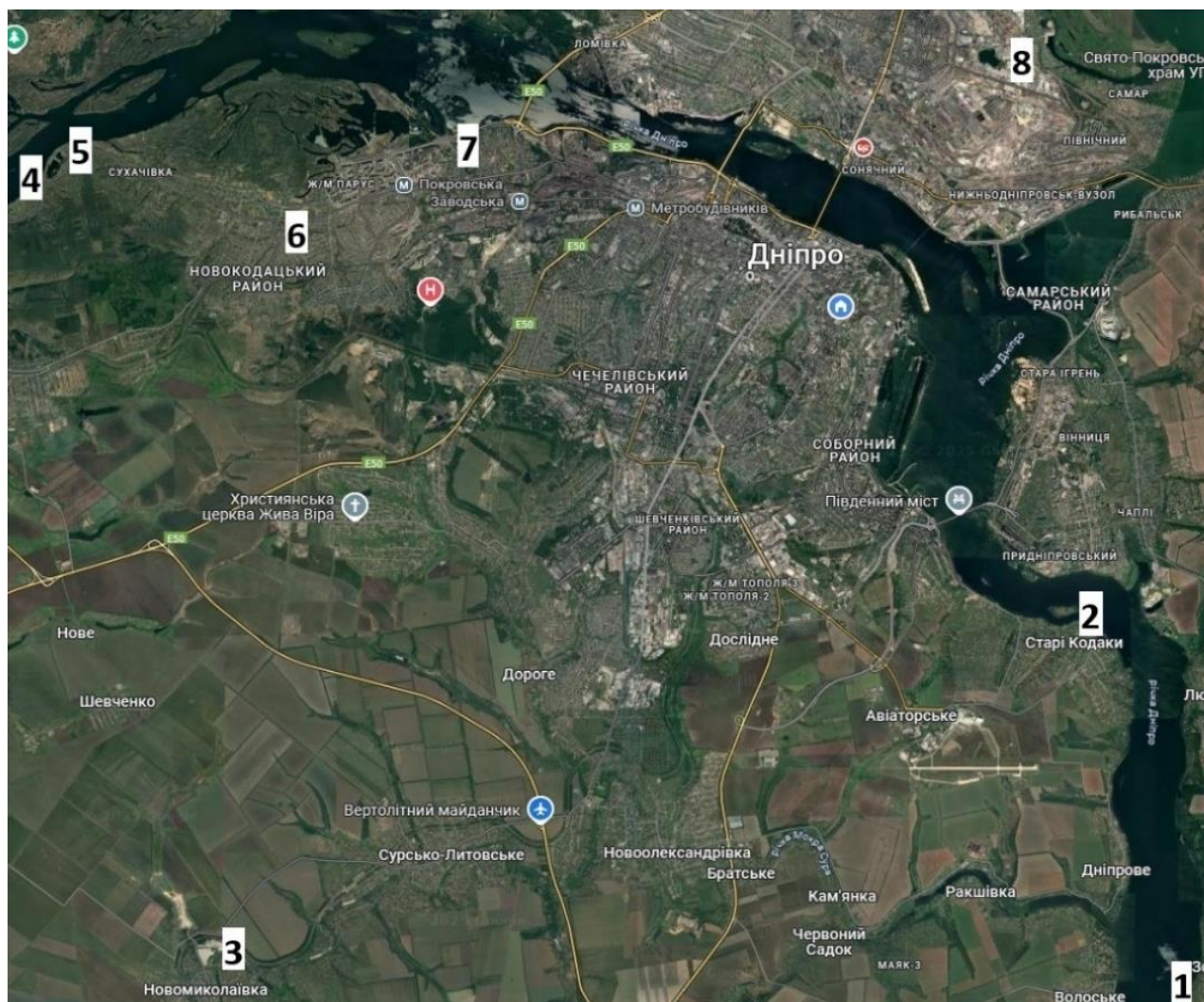


Рис. 1 – Схема розташування відпрацьованих кар'єрів на мапі: 1 – Малий кар'єр (с. Зоряне); 2 – Старокодацький кар'єр; 3 – Новомиколаївський кар'єр; 4 – Таромський кар'єр (Західний); 5 – Таромський кар'єр (Східний); 6 – Кар'єр біля меморіалу «Безіменна висота»; 7 – Кар'єр на Червоному камні; 8 – Озеро «Котлован».

Fig. 1 – Scheme of the location of the exhausted quarries on the map: 1 – Small Quarry (Zoryane village); 2 – Starokodatsky Quarry; 3 – Novomykolaivsky Quarry; 4 – Taromsky Quarry (Western); 5 – Taromsky Quarry (Eastern); 6 – Quarry near the “Bezimienna Vysota” Memorial; 7 – Quarry at Chervony Kamin; 8 – “Kotlovan” Lake.

Точка 1 – Малий кар'єр розташований у с. Зоряне Дніпропетровської області. Для визначення стану води та порівняння її якості з іншими водоймами регіону було відібрано проби як із самого кар'єру, так і з прилеглої річки Дніпро. Це дозволило встановити можливі відмінності між техногенною водоймою та природною річковою системою.

Вода в кар'єрі виявилася чистою та прозорою, без характерних проявів «цвітіння» чи сторонніх запахів. Прозорі водойми з низькою каламутністю традиційно мають високу рекреаційну цінність, адже є привабливішими для

відпочинку та купання [10]. Під час огляду не зафіксовано піни, надлишкових водоростей або ознак замулення, що свідчить про відсутність активних процесів евтрофікації.

Рівень радіаційного фону становив 0,18 мкЗв/год, що відповідає природному значенню для цієї місцевості. Також зафіксовано наявність зручної берегової лінії, придатної для безпечного входу у воду, що збільшує потенціал рекреаційного використання. Основні результати лабораторного та польового аналізу наведені в табл. 1.

На підставі зазначених результатів можна зробити висновок, що вода у кар'єрі «Small career» у селі Зоряне за ключовими фізико-

Таблиця 1 – Результати аналізу проб води на точці 1 у Малому кар'єрі та річці Дніпро (с. Зоряне)
Table 1 – Results of water sample analysis at Sampling Site 1 in the Malyy Quarry and the Dnipro River (Zoryane Village)

Показник	Точка 1. Малий кар'єр с. Зоряне	Річка Дніпро 1	ГДК		
			Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм ³	0,4	0,45	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм ³	20	25	45	45	45
Гідрокарбонати	80	56	-	-	-
Жорсткість, мг/дм ³	250	300	-	700	-
Водневий показник <i>pH</i>	7,6	7,2	6,5–8,5	6,5–9,5	7-10,5
Загальна лужність, мг/дм ³	120	85	-	-	-
Каламутність	1	6	-	-	1–3 NTU
Мінералізація, мг/дм ³	691	209	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм ³	9	8	-	-	-
Окисно-відновний потенціал, мВ	20	30	-	-	-

хімічними та токсикологічними параметрами відповідає встановленим нормативам. Це дозволяє вважати її безпечною для рекреаційного використання, зокрема купання, за умови відсутності мікробіологічних ризиків, які не досліджувалися в межах цього аналізу.

У той же час варто зауважити, що вода в кар'єрі за показником каламутності (1 NTU) є набагато кращою за воду у річці Дніпро (6 NTU). Це пояснюється меншим рівнем «цвітіння» водоростей у водоймі кар'єру, що обумовлює її привабливість для відпочиваючих у порівнянні річковою водою.

Точка 2 – кар'єр розташований у межах села Старі Кодакі, поблизу Дніпра. Вода візуально чиста, однак має зелений відтінок. Піна та запах відсутні. Водоростей небагато, що може свідчити про відносно стабільну екосистему та низький рівень евтрофікації. Радіаційний фон 0,15 мкЗв/год – в межах природної норми. Зелений відтінок води може бути зумовлений природними чинниками, зокрема розвитком водної рослинності або підвищенням вмісту мінеральних домішок неорганічного походження. Берегова лінія, яка дозволяє безпечно входити у воду – наявна. Результати лабораторного аналізу наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати аналізу проб води на точці 2 у кар'єрі (с. Старі Кодакі)
Table 2 – Results of water sample analysis at Sampling Site 2 in the quarry (Stari Kodaky Village)

Показник	Точка 2. Кар'єр Старі кодаки	Річка Дніпро 2	ГДК		
			Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм ³	0,35	0,45	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм ³	30	38	45	45	45
Гідрокарбонати	96	75	-	-	-
Жорсткість, мг/дм ³	264	279	-	700	-
Водневий показник <i>pH</i>	8,4	6,8	6,5-8,5	6,5-9,5	7-10,5
Загальна лужність, мг/дм ³	103	81	-	-	-
Каламутність	3	7	-	-	1-3 NTU
Мінералізація, мг/дм ³	604	234	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм ³	8	4	-	-	-
Окисно-відновний потенціал, мВ	6	23	-	-	-

Аналіз показує, що переважна більшість хімічних показників у воді зазначеного кар'єру перебуває в межах допустимих значень. Залізо у пробі відсутнє. Нітрати (20 мг/дм³) та нітрити (0,4 мг/дм³) не перевищують відповідних нормативів.

Оцінка рівня розчиненого кисню (9 мг/дм³)

вказує на достатню насиченість води, а показник окисно-відновного потенціалу становить 20 мВ, що відповідає досить типовим умовам для природних прісних водойм. При цьому, невисокий показник ОВП вказує на те, що вода слабо здатна до самостійного самоочищення у

разі бактеріального та інших видів забруднень.

Результати показують, що такі речовини як ртуть, мідь, свинець, хром (VI), залізо, ціаніди, вільний хлор, вільний бром та загальний хлор у пробі відсутні або знаходяться за діапазоном виявлення. Рівень нітритів ($0,35 \text{ мг/дм}^3$) нижчий за ГДК ($0,5 \text{ мг/дм}^3$), нітрати (30 мг/дм^3) також не перевищують межі 45 мг/дм^3 за всіма нормативами. Рівень розчиненого кисню у воді кар'єру становив 8 мг/дм^3 , що свідчить про достатній кисневий режим. Окисно-відновний потенціал (ОВП) у цій точці – 6 мВ , що вказує на слабку здатність води до самоочищення, зокрема при мікробному навантаженні. Для порівняння, у пробі з річки Дніпро ОВП становив 23 мВ , що є дещо вищим, однак також недостатнім для ефективного природного очищення. Зниження ОВП може свідчити про наявність органічного забруднення або застійну циркуляцію води.

Результати аналізу води в кар'єрі за показником каламутності (3 NTU) перебувають у межах норми, при цьому каламутність води у річці Дніпро поряд з кар'єром складає (7 NTU), що вище гранично допустимої концентрації. Тому, як у попередньому випадку, більш чиста вода на відміну від річки Дніпро приваблює сотні місцевих відпочиваючих у теплий сезон.

Точка 3 – Новомиколаївський кар'єр розташований у селищі Новомиколаївка, поруч із річкою Мокра Сура. Отримані результати відібраних проб дозволяють стверджувати, що вода має нормальний природний вигляд, без вираженого запаху, піни чи візуального забруднення. Радіаційний фон становив $0,07 \text{ мкЗв/год}$ – у межах природного. Водне середовище не виявляє ознак надмірної евтрофікації чи застою. Результати лабораторного аналізу наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати аналізу проб води на точці 3 у Новомиколаївському кар'єрі
Table 3 – Results of water sample analysis at Sampling Site 3 in the Novomykolaivskyi Quarry

Показник	Точка 3. Кар'єр Новомиколаївський	Річка Мала Сура	ГДК		
			Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм^3	0,31	0,33	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм^3	30	35	45	45	45
Гідрокарбонати	35	40	-	-	-
Жорсткість, мг/дм^3	251	241	-	700	-
Водневий показник <i>pH</i>	7,6	7,2	6,5-8,5	6,5-9,5	7-10,5
Загальна лужність, мг/дм^3	65	70	-	-	-
Каламутність	3	13	-	-	1-3 NTU
Мінералізація, мг/дм^3	947	762	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм^3	7	2	-	-	-
Окисно-відновний потенціал, мВ	64	57	-	-	-

Аналіз засвідчує, що вода в кар'єрі не містить значної кількості токсикологічно небезпечних елементів. Такі сполуки, як ртуть, мідь, свинець, хром (VI), залізо, ціаніди, вільний хлор, загальний хлор та вільний бром, не були виявлені або наявні в концентраціях нижче діапазону виявлення. Рівень нітритів ($0,31 \text{ мг/дм}^3$) нижчий за допустиму норму в Україні ($0,5 \text{ мг/дм}^3$), аналогічно і рівень нітратів (30 мг/дм^3) також не перевищує ГДК у 45 мг/дм^3 . В ході дослідження не було виявлено фторидів.

Рівень розчиненого кисню у воді кар'єру становив 7 мг/дм^3 , що свідчить про помірно сприятливі умови для водної біоти. Окисно-відновний потенціал (ОВП) становить 64 мВ – це найбільш високий показник серед усіх трьох досліджених точок, що було наведено вище, і він свідчить про дещо кращу здатність води до самоочищення. Для порівняння, у пробі з річки Мала Сура ОВП становив 57 мВ , що також є

прийнятним, проте нижчим. Це може свідчити про незначну евтрофікацію або застійність у річкової воді порівняно з кар'єрною.

Як і у попередніх випадках порівняння води в кар'єрі з річкою Мала Сура дозволяє стверджувати, що в штучній водоймі вода має значно меншу каламутність (3 NTU), що суттєво менше від природньої водойми (13 NTU).

Окрім зазначених факторів варто відмітити значний потенціал Новомиколаївського кар'єру щодо відновлення для використання у рекреаційних цілях, оскільки він має велику площу порівняно з іншими кар'єрами, що дозволяє облаштувати зони активного відпочинку для великої кількості бажаючих.

Точки 4 та 5 – Таромські кар'єри, що розташовані поблизу Таромського району. На сьогодні вони мають різний рівень рекреаційного навантаження: в одному активно купаються (західний т. 4), в іншому – ні (східний т. 5). Вода

у кар'єрах прозора, без піни, без неприємного запаху. Радіаційний фон варіюється від 0,07 до 0,10 мкЗв/год, що відповідає нормі. Візуально обидва кар'єри мають задовільний стан: немає

надлишкової рослинності та засмічення. Результати аналізу наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати аналізу проб води на точках 4-5 у Таромських кар'єрах
Table 4 – Results of water sample analysis at Sampling Sites 4-5 in the Taromske Quarries

Показник	Таромські кар'єри		Дніпро 4	ГДК		
	Точка 4	Точка 5		Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм ³	0,4	0,4	0,9	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм ³	31	31	39	45	45	45
Гідрокарбонати	80	85	41	-	-	-
Жорсткість, мг/дм ³	240	245	245	-	700	-
Водневий показник <i>pH</i>	7,8	7,8	6,8	6,5-8,5	6,5-9,5	7-10,5
Загальна лужність, мг/дм ³	110	111	65	-	-	-
Каламутність	4	4	12	-	-	1-3 NTU
Мінералізація, мг/дм ³	503	507	254	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм ³	5	5	3	-	-	-
Окисно-відновний потенціал, мВ	57	64	46	-	-	-

За результатами аналізу встановлено, що всі три проби (обидва кар'єри та річка) мають прийнятні значення для основних токсикологічних і гігієнічних параметрів. У жодній із точок не виявлено сполук ртуті, міді, свинцю, хрому (VI), заліза, ціанідів, вільного хлору, загального хлору та вільного бромиду. Концентрація нітритів становила 0,4 мг/дм³ у точці 4, 0,4 мг/дм³ у точці 5 та 0,9 мг/дм³ у річці Дніпро. Нітрати у всіх точках також не перевищують ГДК (значення: 31–39 мг/дм³ при нормі 45 мг/дм³). Показник *pH* у точках 4 і 5 становить 7, 8, що свідчить про нейтральне середовище. У Дніпрі цей показник був 6,8, що ближче до нижньої межі нормативного діапазону.

Жорсткість води однакова у всіх трьох точках – 240-245 мг/дм³, що вказує на стабільну мінеральну структуру. Мінералізація в річці дещо нижча – 254 мг/дм³, у той час як у кар'єрах – понад 500 мг/дм³, однак усі значення в межах допустимої норми (1000 мг/дм³). Каламутність у річці вища (12 NTU), що перевищує рекомендовану межу Канади (1-3 NTU), тоді як у кар'єрах цей показник наближується до допустимих значень (4 NTU).

Рівень розчиненого кисню у двох кар'єрах – 5 мг/дм³, у Дніпрі – 3 мг/дм³. Це вказує на кращі умови для аерації в кар'єрах порівняно з річкою. Показники окисно-відновного потенціалу (ОВП) склали 64 мВ (точка 4), 57 мВ (точка 5) та 46 мВ (річка), що свідчить про помірну здатність води до природного самоочищення. Найнижче значення ОВП у річці може свідчити про застій або наявність органічної компоненти.

Таким чином, розглянуті кар'єри майже

цілком придатні до відновлення з метою використання у рекреаційних цілях, однак у перешкоді виступає значення каламутності, яке трохи перевищує показники допустимих норм. З іншого боку вода в цих кар'єрах є чистішою за воду в річці Дніпро, що протікає поряд, тому ці водойми є більш привабливими для сезонних відпочивальників.

Точка 6 – Кар'єр біля меморіалу «Безіменна висота», розташований у Новокодацькому районі поблизу вулиці Лірницької, є техногенною водоймою, що сформувалася у виробленому просторі після завершення добувних робіт. Під час обстеження встановлено, що вода має звичний природний вигляд: відсутні зміни кольору, запаху чи каламутності, а наявність орнітофауни опосередковано вказує на відносну екологічну безпечність водойми та достатній рівень трофічної збалансованості.

У той же час зафіксовано прояви евтрофікації, які властиві стоячим або малопроточним водоймам техногенного походження. Цей процес може посилюватися у періоди тривалих високих температур чи за умов інтенсивного сонячного випромінювання, що сприяє активному росту фітопланктону. На момент обстеження ознак поверхневої плівки, піни чи «цвітіння» водоростей не виявлено, а отже, стан водойми можна охарактеризувати як стабільний.

Рівень радіаційного фону становив 0,14 мкЗв/год, що перебуває в межах природного фону та не становить небезпеки. Узагальнені результати аналізу води представлено в табл. 5.

Аналіз свідчить, що вода не містить перевищень концентрацій небезпечних домішок.

Нітрити ($0,35 \text{ мг/дм}^3$) та нітрати (20 мг/дм^3) не перевищують нормативні значення, встановлені усіма трьома системами стандартів (ГДК: $0,5 \text{ мг/дм}^3$ для нітритів та 45 мг/дм^3 для нітратів).

Рівень pH становить 7,8 – що є цілком прийнятним і відповідає межах 6,5-8,5 за українським стандартом.

Таблиця 5 – Результати аналізу проб води на точці 6 у кар'єрі біля меморіалу «Безіменна висота»
Table 5 – Results of water sample analysis at Sampling Site 6 in the quarry near the “Bezimyanna Vysota” Memorial

Показник	Точка 6. Кар'єр біля меморіалу «Безіменна висота»	ГДК		
		Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм^3	0,35	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм^3	20	45	45	45
Гідрокарбонати	95	-	-	-
Жорсткість, мг/дм^3	402	-	700	-
Водневий показник pH	7,8	6,5-8,5	6,5-9,5	7-10,5
Загальна лужність, мг/дм^3	120	-	-	-
Каламутність	12,1	-	-	1-3 NTU
Мінералізація, мг/дм^3	1270	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм^3	3	-	-	-
Окисно-відновний потенціал, мВ	45	-	-	-

Каламутність води становила 12,1 NTU, що значно перевищує рекомендовані межі (1–3 NTU для води за канадськими нормативами). Це може вказувати на наявність частинок природного або антропогенного походження. Мінералізація складає 1270 мг/дм^3 , що також значно перевищує гранично допустимі норми. Рівень розчиненого кисню – лише 3 мг/дм^3 . Це відносно низький показник, що може свідчити про знижене надходження кисню у воду, зменшення аерації та відповідно – знижену здатність водойми до самоочищення.

Варто відзначити, що цей кар'єр має невеликі розміри і не приваблює відпочиваючих, що може бути пов'язано з високою каламутністю води

[11]. Таким чином створення рекреаційної зони в даному місці може бути реалізоване після зниження каламутності.

Точка 7 – кар'єр на Червоному Камні, що розташований у районі з аналогічною назвою у м. Дніпро. Це єдиний з обстежених кар'єрів, де візуально спостерігалася піна та жовтуватий колір води, що викликає сумніви щодо її якості. Водойма має неестетичний вигляд, а також, у порівнянні з іншими, менш приємний запах. Радіаційний фон – $0,12 \text{ мкЗв/год}$, що не перевищує норматив. Можливе надходження забруднень антропогенного походження. Результати дослідження наведені в табл. 6.

Таблиця 6 – Результати аналізу проб води на точці 7 у кар'єрі на Червоному камні
Table 6 – Results of water sample analysis at Sampling Site 7 in the quarry at Chervonyi Kamn

Показник	Точка 7. Кар'єр на Червоному камні	ГДК		
		Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO_2^-), мг/дм^3	0,25	0,5	0,5	3
Нітрати (NO_3^-), мг/дм^3	26	45	45	45
Гідрокарбонати	61	-	-	-
Жорсткість, мг/дм^3	550	-	700	-
Водневий показник pH	7	6,5-8,5	6,5-9,5	7-10,5
Загальна лужність, мг/дм^3	42	-	-	-
Каламутність	13,4	-	-	1-3 NTU
Мінералізація, мг/дм^3	761	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм^3	4	-	-	-
Окисно-відновний потенціал, мВ	15	-	-	-

Усі забруднюючі речовини, зокрема ртуть, мідь, свинець, хром (VI), залізо, ціаніди, вільний хлор, загальний хлор і вільний бром у водному

середовищі були відсутні або перебували не перевищували межу виявлення. Це свідчить про відсутність значущих техногенних впливів,

пов'язаних із важкими металами та сильнодіючими окисниками. Концентрація нітритів становила 0,25 мг/дм³, що не перевищує встановлене допустиме значення (0,5 мг/дм³). Вміст нітратів дорівнював 26 мг/дм³, що також залишається нижчим за ГДК (45 мг/дм³). Таким чином, рівень азотовмісних сполук у водоймі повністю відповідає прийнятим санітарним нормам, незалежно від застосованої системи стандартів.

Жорсткість води становила 550 мг/дм³ при граничному значенні 700 мг/дм³, що вказує на досить високий вміст іонів солей кальцію та магнію, однак показник усе ще перебуває в межах допустимого діапазону. Значення рН дорівнює 7,0, тобто вода має нейтральну реакцію, характерну для природних водойм цього типу, і повністю відповідає нормативним межам (6,5-8,5). Загальна лужність становила 42 мг/дм³.

Мінералізація води в кар'єрі складає 761 мг/дм³, що є нижчим за гранично допустиме значення 1000 мг/дм³. Таким чином можна стверджувати про помірний вміст розчинених солей. Каламутність води – 13,4 NTU – значно перевищує норму (1-3 NTU), що обумовлено наявністю завислих частинок, органічних залишків або водоростей.

Окисно-відновний потенціал становить лише 15 мВ, що вказує на дуже низьку здатність води до природного самоочищення, зокрема при бактеріальному чи органічному забрудненні.

Точка 8 – Озеро «Котлован», що утворилося в виробленому просторі відпрацьованого кар'єру. Воно розташоване на лівому березі Дніпра, в районі активного рекреаційного користування – влітку тут спостерігається велика кількість відпочиваючих. Вода має світло-зелений відтінок, проте не виявлено піни чи активного «цвітіння». Присутня рослинність вздовж берегів, яка може впливати на візуальне сприйняття кольору води. Радіаційний фон – 0,06 мкЗв/год – найнижчий серед усіх точок, що вказує на екологічну стабільність ділянки. Результати дослідження наведені в табл. 7.

Такі показники, як фториди, ртуть, мідь, свинець, хром (VI), залізо, вільний бром, вільний хлор, загальний хлор та ціаніди, у всіх досліджених пробах показали результат 0 або були нижче межі виявлення, що свідчить про відсутність перевищення або вмісту, який не фіксується використовуваними методами аналізу.

Таблиця 7 – Результати аналізу проб води на точці 8. Озеро «Котлован»
Table 7 – Results of water sample analysis at Sampling Site 8, “Kotlovan” Lake

Показник	Точка 8. Кар'єр «Котлован»	ГДК		
		Україна	ЄС	Канада
Нітрити (NO ₂ ⁻), мг/дм ³	0,27	0,5	0,5	3
Нітрати (NO ₃ ⁻), мг/дм ³	28	45	45	45
Гідрокарбонати	41	-	-	-
Жорсткість, мг/дм ³	503	-	700	-
Водневий показник <i>pH</i>	6,2	6,5-8,5	6,5-9,5	7-10,5
Загальна лужність, мг/дм ³	21	-	-	-
Каламутність	11	-	-	1-3 NTU
Мінералізація, мг/дм ³	514	1000	1000	-
Рівень розчиненого кисню, мг/дм ³	5	-	-	-
Окисно-відновний потенціал, мВ	32	-	-	-

Проте варто зазначити, що *pH* води становить 6,2, що менше за допустиму норму і вказує на кисле середовище. Отже, рекомендувати водойму для використання у рекреаційних цілях без підвищення рН на сьогодні не можна. Це приклад кислих кар'єрних озер, які попри використання для купання, мають низький рН, що може становити ризик для здоров'я [12, 13].

Після проведення аналізу якості води для кожного кар'єру окремо, доцільно перейти до порівняльного аналізу якості вод. Такий підхід дозволяє виявити спільні закономірності та відмінності у фізико-хімічних характеристиках

води між різними кар'єрами, зважаючи на їхнє географічне розташування, історичні показники виникнення, антропогенний вплив та природні особливості.

Оскільки більша кількість показників якості води на розглянутих кар'єрах відповідає гранично допустимим нормам, розглянемо показники за якими зафіксовано невідповідність, це рівень рН, каламутність та мінералізація.

На рис. 2 представлено порівняння якості води в кар'єрах за водневим показником *pH*, який вказує на кислотно-лужний баланс.

Згідно з отриманими результатами досліджень

(рис. 2), за показником pH лише кар'єр Озеро «Котлован» не відповідає жодним вимогам до рівня кислотно-лужного балансу води від 6,5 до 10,5. Найвищий показник pH 8,4 зафіксовано на кар'єрі Старі Кодаци, що відповідає вимогам України, ЄС та Канади.

Наступим показником, який має перевищення гранично допустимих норм на деяких кар'єрах є каламутність води. Цей показник

використовується урядом Канади для визначення придатності води для споживання і дозволяє встановити її прозорість. Збільшення цього показника в першу чергу означає наявність у воді суспендованих частинок мінерального або органічного походження. Результати порівняння якості води у вироблених кар'єрах за показником каламутності наведено на рис. 3.

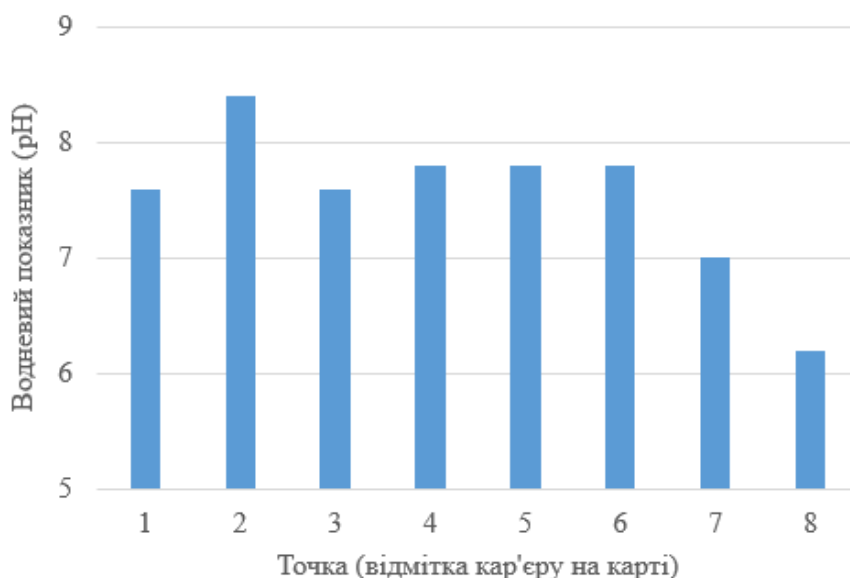


Рис. 2 – Порівняння кислотно-лужного балансу води у вироблених кар'єрах

Fig. 2 – Comparison of the acid-base balance of water in exhausted quarries

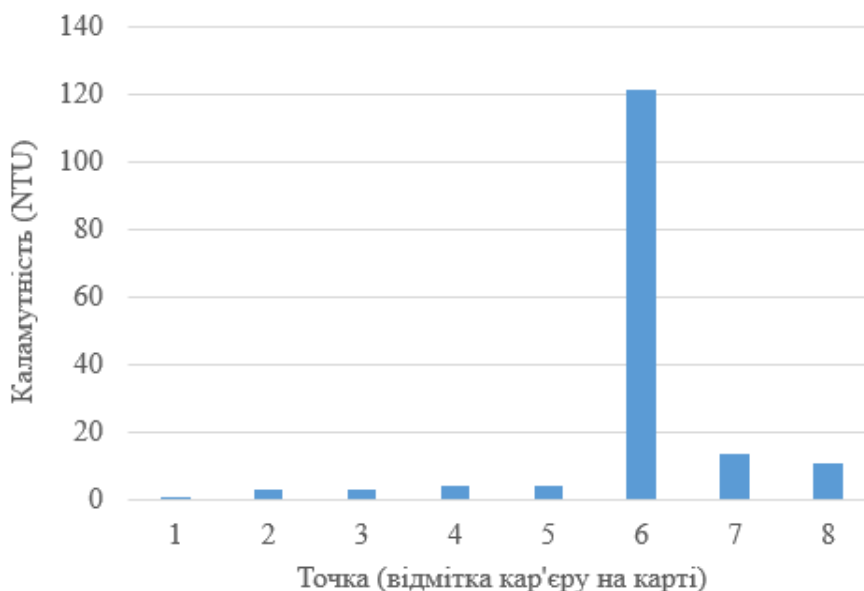


Рис. 3 – Порівняння каламутності води у вироблених кар'єрах

Fig. 3 – Comparison of water turbidity in exhausted quarries

Найвища каламутність води зафіксована у водоймі відпрацьованого кар'єру біля меморіалу «Безіменна висота» – 12,1 NTU, що перевищує гранично допустиме значення. Понад норму (>3

NTU) також мають Таромські кар'єри, кар'єр на Червоному Камені та озеро «Котлован».

Суттєві відмінності між водоймами спостерігаються й за показником окисно-

відновного потенціалу (ОВП), від якого залежить здатність води до самоочищення. Порівняльні результати наведено на рис. 4.

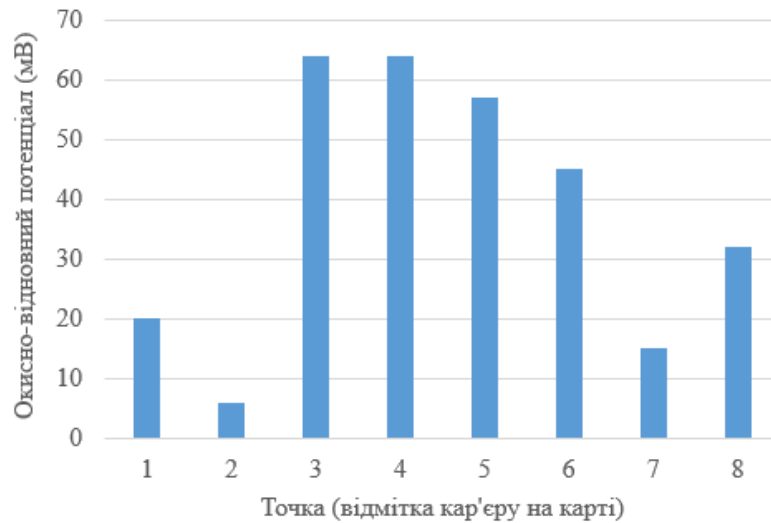


Рис. 4 – Порівняння окисно-відновного потенціалу води у вироблених кар'єрах
Fig. 4 – Comparison of the redox potential of water in exhausted quarries

Порівняння (рис. 4) показує, що найвищі значення ОВП спостерігаються у Новомиколаївському та Таромському кар'єрах, що вказує на добру здатність води до самоочищення. Низькі показники зафіксовано у Старих Кодаках (6 мВ) та на Червоному Камні

(15 мВ), а помірний рівень – у кар'єрі с. Зоряне (20 мВ).

Наступний показник, що відрізняється від нормативних значень, – мінералізація води. Результати подано на рис. 5.

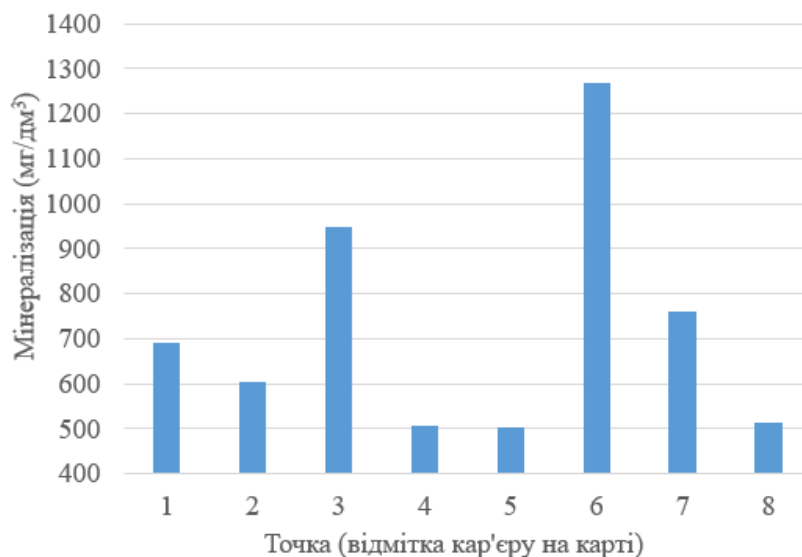


Рис. 5 – Порівняння показників мінералізації води у вироблених кар'єрах
Fig. 5 – Comparison of water mineralization indicators in mined quarries

За результатами варто виділити кар'єр біля меморіалу «Безіменна висота», у якого найвища мінералізація. Вона становить 1270 мг/дм³, що перевищує нормативи, так як максимально допустиме значення – 1000 мг/дм³. Також має підвищене значення кар'єр на Червоному камні,

що становить 761 мг/дм³, але перебуває в межах норми. Найнижче значення було у Таромському кар'єру, яке становить близько 500 мг/дм³, що свідчить про чисту та слабо мінералізовану воду.

Отримані результати дозволяють встановити, що стан води у всіх перелічених кар'єрах має

відміні значення, при цьому показники деяких техногенних водойм перевищують гранично допустимі концентрації. Для порівняння якості води у вироблених кар'єрах між собою і визначення найбільш привабливих об'єктів для подальшого створення рекреаційних зон, пропонується виконати ранжування усіх розглянутих водойм.

Для ранжування існуючих обводнених кар'єрів пропонується методика, що передбачає вибір за кожним з 11 показників трьох техногенних водойм з найкращими показниками. Після визначення трьох найкращих водойм за кожним показником, їм присвоюється один бал, а в подальшому для кожної водойми бали сумуються.

Вихідними даними для виконання оцінювання приймається зведена таблиця з показниками усіх водойм, що були досліджені (табл. 8). У запропонованій таблиці надано співставлення основних параметрів якості води, у всіх розглянутих водоймах, без урахування показників річкової води та гранично допустимих концентрацій, з метою зосередження уваги саме на внутрішній диференціації серед вибраних точок.

Високі значення ОВП свідчать про кращу якість води, належну аерацію та здатність водойм до самоочищення, тоді як низькі значення пов'язані з дефіцитом кисню та накопиченням відновних сполук [14, 15]. У стоячих водоймах для кар'єрів характерні процеси стратифікації, внаслідок яких біля дна фіксується зниження або навіть перехід ОВП у відновні значення [16]. Зважаючи узагальнені дані літератури та власні результати (діапазон 6-64 мВ відносно Ag/AgCl), ми пропонуємо застосовувати операційний поріг для оцінки рекреаційної придатності: ОВП ≥ 40 мВ інтерпретуємо як «добрі умови», а ОВП < 40 мВ – як «недобрі», що дозволяє більш обґрунтовано класифікувати досліджувані водойми [17]. Це є операційний поріг, запропонований авторами на основі проаналізованих досліджень та власних результатів.

Вихідні результати для виставлення балів за найкращі показники серед інших кар'єрів, наведено в табл. 8.

Відповідно до них, створено рейтинг водойм у вироблених просторах кар'єрів Дніпровського району (табл. 9).

Таблиця 8 – Загальна інформація по водоймам у кар'єрах Дніпровського району

Table 8 – General information on water bodies in quarries of the Dnipro District

Показник	Точка (відмітка кар'єру на карті)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Нітрити (NO_2^-), мг/дм ³	0,4	0,35	0,31	0,4	0,4	0,35	0,25	0,27
Нітрати (NO_3^-), мг/дм ³	20	30	30	31	31	20	26	28
Гідрокарбонати	80	96	35	85	80	95	61	41
Жорсткість, мг/дм ³	250	264	251	245	240	402	550	503
Водневий показник pH	7,6	8,4	7,6	7,8	7,8	7,8	7	6,2
Загальна лужність, мг/дм ³	120	103	65	111	110	120	42	21
Каламутність	1	3	3	4	4	12,1	13,4	11
Мінералізація, мг/дм ³	691	604	947	507	503	1270	761	514
Рівень розчиненого кисню, мг/дм ³	9	8	7	5	5	3	4	5
Окисно-відновний потенціал, мВ	20	6	64	64	57	45	15	32
Радіаційний фон, мкЗв/год	0,18	0,15	0,07	0,10	0,07	0,14	0,12	0,06

Таблиця 9 – Визначення рейтингу найкращих водойм для рекреаційної діяльності

Table 9 – Ranking of the most suitable water bodies for recreational use

Показник	Бали* за найкращі показники якості води у вироблених кар'єрах (відмітка точки на карті)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Нітрити (NO_2^-)	0	0	1	0	0	0	1	1
Нітрати (NO_3^-)	1	0	0	0	0	1	1	0
Гідрокарбонати	0	0	1	0	0	0	1	1
Жорсткість	1	0	0	1	1	0	0	0
Водневий показник pH	1	0	1	0	0	0	1	x
Загальна лужність	0	0	1	0	0	0	1	1
Каламутність	1	1	1	x	x	x	x	x

Таблиця 9 - Продовження

Table 9 - Continued

Мінералізація	0	0	0	1	1	x	0	1
Рівень розчиненого кисню	1	1	1	0	0	0	0	0
Окисно-відновний потенціал	0	0	1	1	1	1	0	0
Радіаційний фон	0	0	1	0	1	0	0	1
Рейтинг водойми	5	2	8	x	x	x	x	x

Примітка: 1 – 1 бал; 0 – 0 балів; x – перевищено гранично допустимі концентрації

4. ВИСНОВКИ

Відповідно до встановленого рейтингу (табл. 9), найкращими з розглянутих є Новомиколаївський кар'єр (8 балів), Малий кар'єр с. Зоряне (5 балів) і Старокодацький кар'єр (2 бали). Решта кар'єрів не зважаючи на наявність найкращих показників за деякими параметрами не можуть бути запропоновані до використання у рекреаційних цілях до періоду зниження концентрацій окремих забруднюючих речовин до ГДК.

Серед найкращих кар'єрів варто звернути увагу на їхні розміри та віддаленість від населених пунктів, що обумовлює привабливість інвесторів у розробку і впровадження проєктів рекреаційного призначення.

Загальні результати досліджень показують, що жодна з проб не перевищує гранично допустимі концентрації небезпечних хімічних речовин (важкі метали, нітрити, нітрати тощо), однак деякі точки демонструють перевищення каламутності (Точка 6 – 12,1 NTU, Точка 7 – 13,4 NTU, Точка 8 – 11 NTU) та знижені значення окисно-відновного потенціалу (<40 мВ у точках 1, 2, 7, 8), що свідчить про слабку здатність води до самоочищення. Водневий показник озера «Котлован» складає $pH = 6,2$, що не відповідає жодним вимогам до рівня кислотно-лужного балансу води.

Найкращі результати за всіма параметрами були зафіксовані у точках 1, 2 та 3, які характеризуються помірною мінералізацією, хорошим кисневим режимом і стабільним хімічним складом.

Натомість найгірші показники каламутності, жорсткості та кисневого балансу спостерігались у точках 6, 7 та 8, що може свідчити про зниження якості води внаслідок природних або антропогенних факторів.

Запропонована методика ранжування існуючих обводнених кар'єрів між собою, що передбачає вибір за кожним з 11 встановлених показників трьох техногенних водойм з найкращими показниками з подальшим визначенням загальної суми балів. Розроблено рейтинг найкращих водойм відповідно до якого Новомиколаївський кар'єр має 8 балів, Малий

кар'єр с. Зоряне – 5 балів і Старокодацький кар'єр – 2 бали. Відповідно до запропонованої методики решта кар'єрів не можуть бути запропоновані до використання у рекреаційних цілях до періоду зниження концентрацій окремих показників до ГДК.

Отримані результати дозволяють сформувати карту екологічної безпеки водойм, визначити пріоритетні напрямки подальших досліджень і можливі рекомендації щодо рекреаційного використання кожного з об'єктів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Stokal M., Bai Z., Franssen W., Hofstra N., Koelmans A. A., Ludwig F. et al. Urbanization: an increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century. *npj Urban Sustainability*. 2021. Vol. 1 (24). Pp. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00026-w>
2. Seelen L. M. S., Teurlincx S., Bruinsma J., Huijsmans T. M. F., van Donk E., Lüring M., de Senerpont Domis L. N. The value of novel ecosystems: Disclosing the ecological quality of quarry lakes. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 769. Article 144294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144294>
3. Jansen J., Simpson G. L., Weyhenmeyer G. A., Härkönen L. H., Paterson A. M., del Giorgio P. A., Prairie Y. T. Climate-driven deoxygenation of northern lakes. *Nature Climate Change*. 2024. Vol. 14. Pp. 832-838. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02058-3>
4. Su W., Wu J., Zhu B., Chen K., Peng W., Hu B. Health evaluation and risk factor identification of urban lakes: A case study of Lianshi Lake. *Water*. 2020. Vol. 12 (5). Article 1428. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12051428>
5. Leal Filho W., Eustachio J. H. P. P., Fedoruk M., Lisovska T. War in Ukraine: An overview of environmental impacts and consequences for human health. *Frontiers in Sustainable Resource Management*. 2024. Vol. 3. Article 1423444. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsrma.2024.1423444>
6. Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A., De Meester L. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*. 2023. Vol. 6 (7). Pp. 578-586. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
7. Міністерство охорони здоров'я України. Наказ № 276 «Про затвердження гігієнічних нормативів і нормативів безпечності та окремих показників якості води» від 22.02.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0304-22>
8. European Parliament, Council of the European Union. Directive (EU) 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption (recast). Official Journal of the European Union. 2020. L 435. P. 1-62. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
9. Health Canada. Guidelines for Canadian drinking water

- quality – Summary table. 2023. URL: <https://www.canada.ca/.../guidelines-canadian-drinking-water-quality-summary-table.html>
10. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Indicators: Water Clarity. National Aquatic Resource Surveys – Water Quality Indicators. 2025. URL: <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-water-clarity>
 11. Castagna S., Dino G. A., Lasagna M., De Luca D. A. Environmental issues connected to the quarry lakes and chance to reuse fine materials deriving from aggregate treatments. *Engineering Geology for Society and Territory*. Vol. 5. Springer, 2015. Pp. 71-74. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_13
 12. Hinwood A. L., Heyworth J., Tanner H., McCullough C. D. Recreational use of acidic pit lakes: Human health considerations for post-closure planning. *Journal of Water Resource and Protection*. 2012. Vol. 4 (12). Pp. 1061-1070. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.412122>
 13. Williams M. S., Oyedotun T. D. T., Simmons D. A. Assessment of water quality of lakes used for recreational purposes in abandoned mines of Linden, Guyana. *Geology, Ecology, and Landscapes*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1633220>
 14. City of Lake Elsinore. What is Oxidative Reduction Potential (ORP) and why is it important? In: Lake Elsinore Nanobubble Project FAQs. 2024. URL: <https://lake-elsinore.org>
 15. YSI (Xylem Inc.). Understanding Oxidation-Reduction Potential (ORP) in Water. URL: <https://www.ysi.com/parameters/orp-redox>
 16. Moleaer. What is Oxidation-Reduction Potential (ORP) for Lakes? 2023. URL: <https://moleaer.com/.../what-is-oxidation-reduction-potential>
 17. KETOS. Testing for Oxidation Reduction Potential (ORP) in Water. URL: <https://ketos.co/parameter/orp-water-quality-testing>
 - health. *Frontiers in Sustainable Resource Management*, 3, Article 1423444. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsrma.2024.1423444>
 6. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., & De Meester, L. (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 6(7), 578–586. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
 7. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. Nakaz № 276 «Pro zatverdzhennia hihienichnykh normatyviv i normatyviv bezpechnosti ta okremykh pokaznykiv yakosti vody» vid 22.02.2022 [Ministry of Health of Ukraine. (2022). Order No. 276 on approval of hygienic standards and safety requirements for certain water quality indicators]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0304-22> (in Ukr.).
 8. European Parliament & Council of the European Union. (2020). Directive (EU) 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption (recast). Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
 9. Health Canada. (2023). Guidelines for Canadian drinking water quality – Summary table. Retrieved from: <https://www.canada.ca/.../guidelines-canadian-drinking-water-quality-summary-table.html>
 10. U.S. Environmental Protection Agency. (2025). Indicators: Water clarity. Retrieved from: <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-water-clarity>
 11. Castagna, S., Dino, G. A., Lasagna, M., & De Luca, D. A. (2015). Environmental issues connected to the quarry lakes and chance to reuse fine materials deriving from aggregate treatments. *Engineering Geology for Society and Territory*. Vol. 5, pp. 71-74. Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_13
 12. Hinwood, A. L., Heyworth, J., Tanner, H., & McCullough, C. D. (2012). Recreational use of acidic pit lakes: Human health considerations for post-closure planning. *Journal of Water Resource and Protection*. Vol. 4(12), 1061–1070. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.412122>
 13. Williams, M. S., Oyedotun, T. D. T., & Simmons, D. A. (2019). Assessment of water quality of lakes used for recreational purposes in abandoned mines of Linden, Guyana. *Geology, Ecology, and Landscapes*. DOI: <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1633220>
 14. City of Lake Elsinore. (2024). What is oxidative reduction potential (ORP) and why is it important? Retrieved from: <https://lake-elsinore.org>
 15. YSI (Xylem Inc.). (n.d.). Understanding oxidation-reduction potential (ORP) in water. Retrieved from: <https://www.ysi.com/parameters/orp-redox>
 16. Moleaer. (2023). What is oxidation-reduction potential (ORP) for lakes? Retrieved from: <https://moleaer.com/.../what-is-oxidation-reduction-potential>
 17. KETOS. (n.d.). Testing for oxidation-reduction potential (ORP) in water. Retrieved from: <https://ketos.co/parameter/orp-water-quality-testing>

REFERENCES

1. Strokai, M., Bai, Z., Franssen, W., Hofstra, N., Koelmans, A. A., Ludwig, F., Kroeze, C et al. (2021). Urbanization: An increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century. *npj Urban Sustainability*, 1(24). DOI: <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00026-w>
2. Seelen, L. M. S., Teurlinckx, S., Bruinsma, J., Huijsmans, T. M. F., van Donk, E., Lüring, M., & de Senerpont Domis, L. N. (2021). The value of novel ecosystems: Disclosing the ecological quality of quarry lakes. *Science of the Total Environment*, 769, Article 144294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144294>
3. Jansen, J., Simpson, G. L., Weyhenmeyer, G. A., Härkönen, L. H., Paterson, A. M., del Giorgio, P. A., & Prairie, Y. T. (2024). Climate-driven deoxygenation of northern lakes. *Nature Climate Change*, 14, 832–838. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02058-3>
4. Su, W., Wu, J., Zhu, B., Chen, K., Peng, W., & Hu, B. (2020). Health evaluation and risk factor identification of urban lakes: A case study of Lianshi Lake. *Water*, 12(5), Article 1428. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12051428>
5. Leal Filho, W., Eustachio, J. H. P. P., Fedoruk, M., & Lisovska, T. (2024). War in Ukraine: An overview of environmental impacts and consequences for human

ASSESSMENT OF THE SUITABILITY OF RESIDUAL QUARRY WATERS IN THE DNIPRO DISTRICT FOR RECREATIONAL USE

O. V. Lozhnikov, V. O. Adamova, P. K. Lomazov

*Dnipro University of Technology,
19 Dmytro Yavornytskyi Ave., 49005 Dnipro, Ukraine, lom.lomazov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1231-0295>, <https://orcid.org/0009-0000-7802-5193>,
<https://orcid.org/0009-0007-7129-1334>*

The article presents the results of a comprehensive study of water quality in flooded mined-out quarry spaces of the Dnipro District, aimed at assessing their potential for further utilization in industrial or recreational purposes. The research includes a detailed description of the applied methodology, which combines visual-geographical, organoleptic, instrumental-field, and laboratory-analytical methods, thereby ensuring an integrated evaluation of the current state of these technogenic water bodies.

Visual-geographical observations involved recording the spatial coordinates of quarries using GPS navigation and assessing their general morphometric characteristics. Organoleptic surveys were conducted directly on site and allowed the identification of odour, colour, turbidity, and water temperature. Instrumental field measurements provided data on the level of ionizing radiation in adjacent territories. Under laboratory conditions, water mineralization, total hardness, acidity, and other key physicochemical parameters were determined, which are essential for evaluating compliance with sanitary and hygienic standards.

Based on the obtained results, a ranking methodology for the studied water bodies was developed, enabling an objective assessment of the suitability of each site. The rating identified the best quarry reservoirs: the Novomykolaivskyi Quarry received 7 points, the Small Quarry in Zoryane Village received 6 points, while the Starokodatskyi Quarry received 3 points.

The study demonstrated that other quarries currently cannot be recommended for recreational use due to exceeding concentrations of certain pollutants relative to the maximum permissible levels. The scientific novelty of the research lies in the first comprehensive comparison of technogenic water bodies in this region using three normative systems, which ensured a more detailed and substantiated evaluation of their environmental safety.

The practical significance of the results is reflected in their potential application by local authorities when making decisions regarding the regulation of recreational activities on technogenic water bodies and determining the permissible anthropogenic load on such sites. The findings may serve as a basis for developing programmes for the improvement and rehabilitation of coastal areas, identifying priority directions for environmental protection measures, and forming local strategies for environmental safety.

Furthermore, the results are valuable for the population and visitors, as they provide access to objective information on water quality and potential health risks associated with recreational use of these water bodies. This supports informed decision-making when choosing recreation sites and helps prevent possible adverse health effects, which is particularly relevant given the growing popularity of recreation on technogenic reservoirs.

Keywords: quarry, flooded mined-out spaces, reclamation, recreational zone, water quality, environmental monitoring, environmental safety.

*Подання до редакції : 25. 11. 2025
Надходження остаточної версії : 05. 12. 2025
Публікація статті : 23. 12. 2025*

Згідно із Рішенням Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1280 від 12.06.2025 р. журнал зареєстрований як друковане медіа з ідентифікатором R30–06291.

The state registration of print media is **R30–06291**, originating date is 12.06.2025

Рекомендовано до друку вченою радою Одеського національного університету імені І.І. Мечникова, протокол № 5, 23. 12. 2025 р.

Recommendations from Science Council of Odesa I. I. Mechnikov National University, Protocol no.5, 23. 12. 2025

Адреса редакційної колегії:

65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15,
Одеський національний університет імені І. І.
Мечникова,
тел.: 38(048) 763 05 19
gidro@onu.edu.ua

Editorial board address:

65016, Odesa, 15 Lvivska st.
Odesa I. I. Mechnikov National University
tel.: 38(048) 763 05 19
gidro@onu.edu.ua

Видавництво і друкарня

Друкарня ТакиБук:
Телефон: +38 (050) 555 00 69
E-mail: mailbox@takibook.od.ua

ISSN 2311-0902 (print). Український гідрометеорологічний журнал. 2025. № 34-35. 1 – 144.
ISSN 2616-7271 (online). Ukraïns'kij gidrometeorologičnij žurnal. 2025. № 34-35. 1 – 144.
Український гідрометеорологічний журнал
Ukrainian Hydrometeorological Journal