

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

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

**ЛЮДИНА  
ТА  
ДОВКІЛЛЯ**

**ПРОБЛЕМИ НЕОЕКОЛОГІЇ**

---

**MAN AND ENVIRONMENT  
ISSUES OF NEOECOLOGY**

**Випуск 41  
ISSUES 41**

**Заснований 1999 р.**

Харків  
Kharkiv  
2024

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

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

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

Наукове фахове видання України Категорії «Б» в галузях наук:

10 Природничі науки за спеціальностями: 101 Екологія, 103 Науки про Землю;

20 Аграрні науки та продовольство за спеціальностями: 201 Агрономія, 205 Лісове господарство.

Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол 10 від 27.05.2024 р.)

**Максименко Н. В.**, д-р геогр. наук, проф. (головний редактор);

**Тітенко Г. В.**, канд. геогр. наук, доц., (заступник головного редактора);

**Клещ А. А.**, канд. геогр. наук, доц., (відповідальний редактор);

**Баскакова Л. В.** (технічний редактор);

***Редакційна колегія:***

**Ачасов А. Б.**, д-р с.-г. наук, проф., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;

**Борковський Якуб**, д-р наук, проф., Вармінсько-Мазурський університет, Польща;

**Василенко О. В.**, канд. с.-г. наук, Уманський національний університет садівництва;

**Едіріппуліге С.**, д-р географії, Університет Квінсленду, Австралія;

**Коваль І. М.**, д-р с.-г., с. н. с., УНДІ лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького;

**Коцо Штефан**, канд. наук, Прешівський університет, Словаччина;

**Кочанов Е. О.**, канд. військ. наук, доц., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;

**Крайнюков О. М.**, д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;

**Кривцов Володимир**, д-р філософії, Единбургський університет, Великобританія;

**Мудрак О. В.**, д-р с.-г. наук, проф., Вінницька академія безперервної освіти;

**Нахтнебель Ханс-Петер**, д-р наук, проф., університет природних ресурсів та прикладних наук – ВОКУ, Австрія;

**Некос А. Н.**, д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;

**Полторецький С. П.**, д-р с.-г. наук, Уманський національний університет садівництва;

**Сафранов Т. А.**, д-р геол.-мин. наук, проф., Одеський державний екологічний університет;

**Скрильник Є. В.**, д-р с.-г. наук, ННЦ Інститут ґрунтознавства і агрохімії імені О. Н. Соколовського;

**Скрильник Ю. Є.**, канд. с.-г. наук, УНДІ лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького;

**Сонько С. П.**, д-р геогр. наук, проф., Уманський національний університет садівництва;

**Торма Станіслав**, д-р філософії, НДІ ґрунтознавства та охорони ґрунтів, регіональний філіал у м. Прешов, Словаччина;

**Уткіна К. Б.**, канд. геогр. наук, доц., Технологічний університет Лулео, Швеція;

**Хуссанов Алішер**, канд. техн. наук, Південно-Казахстанський університет імені М. Ауезова, м. Шемкент, Казахстан.

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

Тел. 057-707-53-86, e-mail: [ecology.journal@karazin.ua](mailto:ecology.journal@karazin.ua)

<http://periodicals.karazin.ua/humanenviron/about>

[www-ecology.univer.kharkov.ua](http://www-ecology.univer.kharkov.ua)

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

Статті пройшли подвійне «сліпе» рецензування

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів у сфері медіа: R30-04454

(Рішення № 1538 від 09.05.2024 р Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення.

Протокол № 15)

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

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

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

The Journal is a professional publication in the field of science:  
10 Natural sciences by specialties: 101 Ecology, 103 Earth sciences;  
20 Agricultural sciences and food by specialties: 201 Agronomy, 205 Forestry.  
MES Ukraine Order № 409 of 17/03/2020

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

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

#### *The Editorial Board*

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

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

Double-blind peer review was conducted.

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

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

## ЗМІСТ

### ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

<b>Шевченко О. Л., Шкляренко В. В.</b> Особливості формування підземного стоку до р. Головесні (басейн р. Десна) за посушливий період 2007-2021 рр.....	6
<b>Шувар А. М., Питуляк М. Р., Питуляк М. В., Гунько С. І., Кузик І. Р.</b> Водні ресурси Подільського регіону та їх використання.....	19

### ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

<b>Ачасова А. О., Ачасов А. Б.</b> Європейський зелений курс та перспективи для України.....	33
<b>Сонько С. П., Зозуля І. О.</b> Екологічно збалансовані агроєкосистеми – запорука сталого розвитку.....	57
<b>Горошкова Л.А., Горошков С. В., Корнійчук Ю. Д.</b> Розвиток дунайських портів в умовах війни та післявоєнного відновлення України.....	70
<b>Кулик М. І., Лісняк А. А.</b> Оцінка якості поверхневих вод у річці Сіверський Донець в межах Харківської області у 2023 році . . . . .	83
<b>Гречко А. А., Максименко Н. В., Шкаруба А. Д., Кутузов Є. О.</b> Біорізноманіття рослин приміських луків для створення міських газонів з польовими квітами.....	100
<b>Гололобова О. О., Гололобов В. В.</b> Сучасні підходи використання культиварів виду <i>Berberis Thunberg</i> для сталого ландшафтного дизайну . . . . .	112

### ЗАПОВІДНА СПРАВА

<b>Царик Л. П., Царик П. Л.</b> Екосистемні послуги регіонального ландшафтного парку «Загребелля» в урбанізованому середовищі м.Тернополя: концептуальні засади, підходи до оцінювання.....	123
--	-----

### СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ

<b>Коваль І. М., Bräuning A.</b> Вплив зміни клімату на радіальний приріст <i>Pinus Sylvestris</i> L. та <i>Quercus Robur</i> l. в насадженнях зеленої зони м. Харків.....	132
--	-----

### ХРОНІКА

<b>Максименко Н. В., Гречко А. А.</b> Про проведення III міжнародної інтернет-конференції «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи».....	143
<b>Правила оформлення статей.....</b>	148

## CONTENTS

### GEOGRAPHICAL RESEARCH

- Shevchenko O. L., Shkliarenko, V. V.**  
Features of underground flow formation to the Golovesnya river (Desna basin) during the dry period 2007-2021. .... 6
- Shuvar A. M., Pytulyak M. R., Pytulyak M. V., Hunko S. I., Kuzyk I. R.**  
Water resources of the Podilia region and their use..... 19

### ENVIRONMENTAL RESEARCH

- Achasova A. A., Achasov A. B.**  
The European Green Deal and prospects for Ukraine..... 33
- Sonko S. P., Zozulia I. O.**  
Environmentally balanced agroecosystems – key to sustainable development..... 57
- Horoshkova L. A., Horoshkov S. V., Korniiichuk Y. D.**  
The development of Danube Ports amid war and post-war recovery of the Ukraine..... 70
- Kulyk M. I., Lisnyak A. A.**  
Assessment of surface water quality in the Siversky Donets river within Kharkiv region in 2023..... 83
- Hrechko A. A., Maksymenko N. V., Shkaruba A. D., Kutuzov Ye. O.**  
Biodiversity of plants in suburban meadows to create urban lawns with wildflowers..... 100
- Gololobova O. O., Gololobov V. V.**  
Modern approaches to the use of *Berberis Thunbergii* cultivars for sustainable landscape design..... 112

### PROTECTED AREAS MANAGEMENT

- Tsaryk L. P., Tsaryk P. L.**  
Ecosystem services of "Zagrebell" regional landscape park in the urbanized environment of Ternopol: conceptual frameworks, approaches to assessment..... 123

### AGRICULTURAL RESEARCH

- Koval I. M., Brüuning A.**  
The effect of climate change on the radial growth of *Pinus sylvestris* l. and *Quercus robur* l. in the stands of Kharkiv green zone..... 132

### CHRONICLE

- Maksymenko N. V., Hrechko A. A.**  
About holding the III International Internet conference «Current issues of Formal and Non-Formal Education in Environmental Monitoring and Conservation». .... 143
- Formatting Rules**..... 148

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-01>

УДК (UDC): 556.168+556.324+556.332.2

**О. Л. ШЕВЧЕНКО**<sup>1</sup>, д-р геол. наук, старш. наук. співроб.,  
голов. наук. співроб. лабораторії досліджень впливу кліматичних змін на водні ресурси  
e-mail: [shevch62@gmail.com](mailto:shevch62@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5791-5354>

**В. В. ШКЛЯРЕНКО**<sup>1</sup>,  
аспірант, мол. наук. співроб. лабораторії досліджень впливу кліматичних змін на водні ресурси  
e-mail: [valentin.shkliarenko@gmail.com](mailto:valentin.shkliarenko@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-9866-558X>

<sup>1</sup>Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,  
пр. Науки, 37, Київ, 03028, Україна

### ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПІДЗЕМНОГО СТОКУ ДО р. ГОЛОВЕСНІ (БАСЕЙН р. ДЕСНА) ЗА ПОСУШЛИВИЙ ПЕРІОД 2007-2021 рр.

**Мета.** Проаналізувати особливості динаміки підземного стоку на водозборі р. Головесні – правобережної притоки р. Десна, за посушливий період 2007-2021 рр. та виявити ознаки впливу змін клімату на режим ґрунтових вод.

**Методи.** Гідродинамічний скінчено-різницевий метод розрахунків питомих витрат ґрунтових вод за даними режимних спостережень за рівнями ґрунтових і поверхневих вод, гідродинамічний метод розрахунку складових балансу ґрунтових вод.

**Результати.** Розраховано питомі витрати ґрунтових вод до р. Головесня за даними спостережень по двох свердловинах та на гідрометричному посту за 2007-2021 рр.; визначено частку стоку ґрунтових вод в загальному стоці річки, виявлено зміни в динаміці інфільтраційного живлення та припливу ґрунтових вод до річки, що можуть бути пов'язані із знаком заряду статичного електричного поля приземного шару атмосфери, підвищенням температури повітря, збільшенням обсягів утримання вологи в зоні аерації після зниження РГВ.

Підземний стік до річки значною мірою компенсує втрати та стабілізує річковий стік у маловодні роки та під час гідрологічної посухи. Частка участі ґрунтових вод в загальному стоці р. Головесня за період відчутних кліматичних змін 2010-2020 рр. зростала від 37 до 60%. До 2016 р. хронологічні графіки демонструють більш чіткі сезонні закономірності: повторюваність коливань підземного стоку за весняний та осінній сезони; протилежні коливання витрат взимку та весною і відносно стабільний літній стік; характерні для осені максимальні, а для літа завжди мінімальні значення запасів та інфільтраційного живлення ґрунтових вод. У багатоводному 2016 р. інфільтраційне живлення і запаси ґрунтових вод за осінь та зиму різко зменшуються та набувають від'ємних значень внаслідок значного зниження РГВ в попередній період, несприятливого ходу температури та розподілу опадів, посилення відтоку до річки. У 2017-2021 рр. сезонні відмінності у живленні річки ґрунтовими водами майже нівелюються: роль ґрунтового живлення за літній період зростає, за весняний та осінній сезони зменшується.

**Висновки.** Виявлено зміни в живленні та розвантаженні ґрунтових вод, особливо в період після 2015 р., які можна трактувати як наслідки впливу несприятливих погодно-кліматичних умов у 2014-2015 рр. За 2018-2021 рр. відбулось зменшення ресурсів ґрунтових та поверхневих вод, що відповідає ознакам гідрологічної посухи.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** підземний стік, ґрунтові води, річковий стік, питомі витрати, посуха, сезонність, баланс, шар стоку, втрати вологи, інфільтраційне живлення, рівень ґрунтових вод

**Як цитувати:** Шевченко О. Л., Шкляренко В. В. Особливості формування підземного стоку до р. Головесні (басейн р. Десна) за посушливий період 2007-2021 рр. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 6-18. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-01>

**In cites:** Shevchenko, O. L. & Shkliarenko, V. V. (2024). Features of underground flow formation to the Golovesnya river (Desna basin) during the dry period 2007-2021. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (41), 6-18. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-01> (in Ukrainian)

© Шевченко О. Л., Шкляренко В. В., 2024



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

### Вступ

Актуальність досліджень динаміки підземного стоку до річок пов'язана з необхідністю збалансованого, заощадливого водокористування та управління водними ресурсами в умовах несприятливих змін клімату (тривалої посухи або надмірних опадів тощо), які наразі спостерігаються [1,2]. Чим більша частка підземного живлення річки, тим більш стійким є її стік в умовах зменшення поверхневого (атмосферного) живлення під час гідрологічної посухи [3]. Цю закономірність слід враховувати при плануванні водокористування: водозабори слід розміщувати та експлуатувати таким чином, щоб, з одного боку, забезпечити водопотребу місцевого населення та промислових

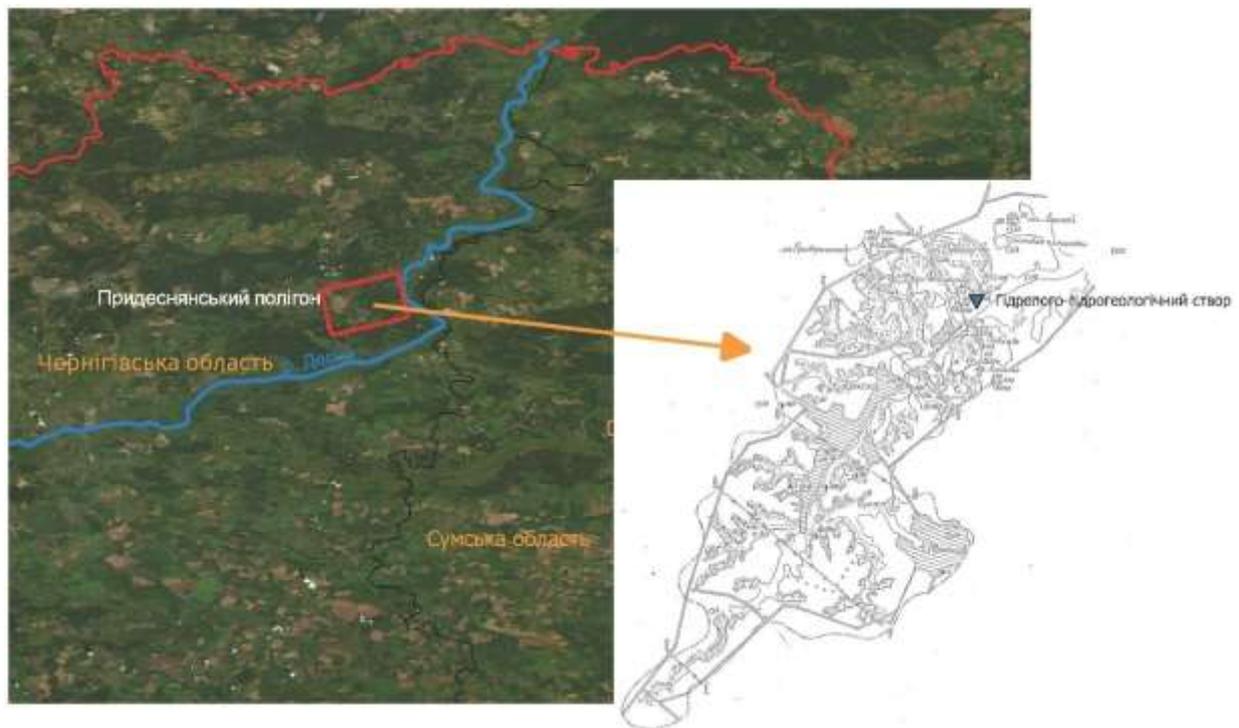
об'єктів, з іншого – не порушити умови формування ресурсів підземних і поверхневих вод та не призвести до їх кількісного виснаження [4-6]. З іншого боку, недооцінка швидкості змін погодних умов та нехтування умовами природної дренажності території на час багатоводних періодів може призвести до значних підтоплень [7], затоплень [8] та навіть катастрофічних наслідків.

Мета дослідження – аналіз особливості динаміки підземного стоку на водозборі р. Головесні, – правобережної притоки р. Десна, за посушливий період 2007-2021 рр. та виявити ознаки впливу змін клімату на режим ґрунтових вод.

### Об'єкт та методи дослідження

На водозборі р. Десна розміщена одна з двох на сьогодні діючих в Україні водно-балансових станцій (рис. 1) (друга в Закарпатті). Завдяки наявності спостережних свердловин та унікальних даних безперервних комплексних спостережень за режимом поверхневого стоку і підземних вод, які

тривають з 50-60-х років минулого сторіччя [9], існує рідкісна можливість провести розрахунки підземного стоку до річки та інфільтраційного живлення найбільш точними методами і проаналізувати зміни в динаміці підземного стоку у співставленні із метеорологічними чинниками.



**Рис. 1** – Розташування Придеснянської водно-балансової станції (полігону) із спостережними свердловинами, гідрометричними постами та метеостанцією

**Fig. 1** – The location of the Prydesnian water balance station (landfill) with observation wells, hydrometric posts and a weather station

Слід також відзначити, що р. Десна є основним джерелом водопостачання для населення столиці України м. Києва: вона забезпечує 85% добової потреби у воді [10]. Отже дослідження особливостей формування стоку її малих приток теж мають велике практичне значення.

Водозбір р. Головесня (рис.1) приурочений до східного крила Дніпровського артезіанського басейну, що обумовлює неглибоке залягання напірних водоносних горизонтів еоцену, перекритих товщею слабообводнених четвертинних лесових елювіально-делювіальних та глинисто-піщаних флювіогляціальних, озерних та гляціальних відкладів [11]. Заглиблення і збільшення потужності палеогенових і крейдяних відкладів, водоносні горизонти та комплекси в яких можна віднести до зони інтенсивного водообміну, відбувається зі сходу і північного сходу (приблизно від р. Десна на даній території) на захід і південний захід, в той час як р. Головесня протікає в напрямку з південного заходу на північний схід. Тобто генеральний напрямок підземного потоку протилежний до напрямку поверхневого стоку. Своєрідною особливістю водозбору є також його розташування в межах лесового острова посеред водно-льодовикової рівнини. Лесовий острів приурочений до Понорницького підняття (тектонічне утворення), яке витягнуте у широтному напрямку від р. Десна на сході до с. Чорнотичі на заході. Схили долини річки досить високі та круті: здіймаються від 142 до 203 м (БС висот)(перепад до 61 м) і добре розчленовані балками і ярами, що посприяло виходу на поверхню багатьох ерозійних та контактних джерел. За довжини тальвегу 12,6 км постійна течія утворюється приблизно за 5,35 км вище головного водомірного створу.

Максимальний річний шар *поверхневого стоку* з водозбору р. Головесня (площа водозбору до водомірного поста 29,5 км<sup>2</sup>) за період 1954-1985 рр. складав 231 мм (1969 р.), мінімальний – 94,5 мм (1961 р.), середній – 175,75 мм [9]. Це відповідало об'ємам стоку 6814,5 (1969 р.), 2787,75 (1961 р.) і 5184,6 тис. м<sup>3</sup> (середній). За посушливий період 2011-2020 рр. витрати та обсяги стоку істотно зменшились: середній обсяг стоку склав 3707,8 тис. м<sup>3</sup>, середній модуль стоку – близько 4,0 л/с/км<sup>2</sup>. За останній період максимальні середньомісячні витрати спостерігались з лютого по квітень та в грудні.

Найбільша повторюваність максимальних витрат (три роки: 2014, 2016, 2020) припала на лютий.

Основним експлуатаційним водоносним горизонтом в даній місцевості є бучацько-канівський горизонт, представлений переважно дрібно- та різнозернистими пісками. Залягає він з глибини переважно 15-56 м (найменші глибини в місцях де водотрив канівської світи представлений темно-сірими до чорних глинами), а на окремих ділянках є *першим від поверхні* (у випадках залягання з поверхні суцільної товщі суглинків та глин). В с. Криски цей горизонт навіть відслонюється на поверхні [11]. Вище бучацького-канівського горизонту часто залягають обводнені піски київської світи еоцену, а на вододілах зустрічається слабо водоносний, малопотужний горизонт в піщаних відкладах полтавської серії міоцену.

Здебільшого перший від поверхні водоносний горизонт в четвертинних відкладах приурочений до супіщаних, піщаних, рідше суглинистих різновидів флювіогляціальних, рідше озерних, елювіально-делювіальних, болотних та алювіальних відкладів. В шести з 12 спостережних свердловин рівні ґрунтових вод коливаються в діапазоні 10-20 м від поверхні (водоносний горизонт в четвертинних відкладах), в трьох – 35-40 м (водоносні горизонти у відкладах бучацької та канівської світи або київської світи), в двох – 5-7 м (поблизу річки) і в одній, на заплаві – до 1,0 м (в болотних та алювіально-флювіогляціальних відкладах).

Застосовувались переважно гідродинамічний чисельний [12,13] та балансовий методи [14]. Метод розчленування гідрографів річок застосовано для одного року – з метою верифікації результатів розрахунків підземного стоку, отриманих чисельним методом.

Вибір методів досліджень ґрунтується на концепції, що загальний річний водний баланс формується з єдиної прибуткової складової – суми опадів, що переважно витрачаються на річковий стік ( $W_r$ ) та випаровування ( $E$ ):

$$P = W_r + E + (W_d + W_{az}) = (Y + Q_g + Q_d) + E + (W_d + W_{az}) \quad (1)$$

В той же час:

$$P = \frac{W_l}{K_g} \quad (2)$$

звідки випливає, що:

$$W_l = K_g(W_r + E + (W_d \pm W_{az})) \quad (3)$$

Де  $P$  – атмосферні опади,  $W_r$  – річковий стік,  $Y$  – поверхневий (дощовий та талий) стік,  $Q_g$  – стік ґрунтових вод, що повністю перехоплюється річкою,  $Q_d$  – глибоке напірне живлення річки,  $E$  – випаровування з поверхні ґрунту та відкритої водної поверхні,  $W_d$  – перетікання на вододілах в глибокі водоносні горизонти, що не дреноються малою річкою, а розвантажуються у водотоки вищого порядку, в моря або експлуатуються водозаборами,  $W_l$  – латеральний підземний стік,  $K_g$  – коефіцієнт підземного стоку,  $W_{az}$  – втрати вологи на насичення зони аерації.

Сума параметрів  $W_d$  і  $W_{az}$  являє собою «нев'язку» рівняння (1). Оскільки останній параметр визначається з різниці між вологозапасами в ненасичених ґрунтах наприкінці та на початку календарного року він може бути як додатним так і від'ємним. Якщо він від'ємний, тобто на початку року запас вологи був більшим, ніж наприкінці, то відповідно на цю різницю збільшиться  $W_r$  і навпаки, чим більше вологи затримується ґрунтом (різниця додатна), тим менше води надійде в річку за рік. В умовах потепління клімату та зниження рівня ґрунтових вод (РГВ), цей показник стає визначальним для величини річкового стоку, особливо там де РГВ опускаються нижче 8 м і капілярна (вільна) та зв'язана волога, що зосереджується в діапазоні від РГВ до 4,5 м стає практично недосяжною для випаровування та транспірації рослинами. Звідси випливає, що вплив випаровування на режим та формування ресурсів ґрунтових вод під час тривалої посухи повинен зменшуватись.

Величина  $W_{az}$  також регулює інфільтраційне живлення ґрунтових вод і чим більша потужність зони аерації, тим складніше виявити зв'язок між коливаннями РГВ та кількістю опадів. Якщо приймати, що в багаторічному плані коефіцієнт  $K_g$  та перетікання в глибокі горизонти є величинами сталими для даного водозбору, то основні зміни відбуваються із значеннями  $W_r$ ,  $E$  і  $W_{az}$ . Отже, згідно рівняння (3), перший та третій із цих показників визначатимуть мінливість латерального підземного стоку  $W_l$  за прихованого впливу опадів.

*Питомий стік ґрунтових вод до річки*  $Q_g$  та абсолютне значення ґрунтового стоку в загальному стоці річки (після множення на 2 та на довжину річки вище створу) за період 2007-2021 рр., були визначені гідродинамічним методом за скінчено-різнице-вим рівнянням:

$$q_t = k_{сер} h_t I_t \pm \frac{\Delta h_t l_t \mu_t}{2} \quad (4)$$

де  $q_t$  – витрати ґрунтового потоку на момент часу  $t$  в перерізі урізу річки, м<sup>2</sup>/добу;  $k_{сер}$  – середній коефіцієнт фільтрації ґрунтів, м/добу;  $h_t$  – середнє арифметичне від висоти рівня води в річці і у розрахунковій свердловині над водотривом водоносного пласта на початковий момент вимірювань, м;  $I_t$  – градієнт потоку;  $l_t$  – відстань від урізу води в річці до осі спостережної свердловини, м;  $\Delta h_t$  – абсолютна величина позитивного або від'ємного приросту РГВ за одиницю часу посередині між урізом води в річці та свердловиною, м/добу;  $\mu_t$  – величина водовіддачі або браку насичення ґрунту в зоні коливання РГВ.

Для оцінки балансу ґрунтових вод, який на прирічкових ділянках визначається головним чином бічним припливом і/або відтоком до/з річки, а також інфільтраційним живленням та випаровуванням, використано балансове рівняння:

$$A = \Delta Q + \Delta w, \text{ або } A = Q_{np} - Q_e + w - e \quad (5)$$

де  $\Delta w$  – інфільтраційне живлення, як різниця між поповненням ґрунтових вод за рахунок інфільтрації ( $w$ ) і витратою їх на випаровування ( $e$ ) за проміжок часу  $\Delta t$ ,  $A$  – зміна запасів ґрунтових вод за розрахунковий проміжок часу  $\Delta t$ , яка визначається за даними спостережень:

$$A = \mu \Delta H \cdot 10^3; \quad (6)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт гравітаційної водовіддачі або браку насичення (за умов повільних природних коливань рівня відрізняються не суттєво);  $\Delta H$  – різниця рівнів ґрунтових вод на початковий і кінцевий моменти розрахункового проміжку часу  $\Delta t$  у середньому за потоком перетині балансового майданчика, м;  $\Delta Q$  – різниця між бічним припливом і відтоком на верхній і нижній за потоком границях балансового майданчика за час  $\Delta t$ .

На Придеснянській водно-балансовій станції режимні гідрогеологічні спостереження до 2006 р. проводились по 11 свердловинах, а з 2007 – по 12. Включена до регламенту спостережень у 2007 р. додаткова свердловина №265 на водозборі р. Головесня доповнила створ із свердловини №264 та гідропоста на річці і дозволила використати для розрахунків  $\Delta Q$  скінчено-різнице-вим рівняння для трьох пунктів спостережень [8]:

$$\Delta Q = 2k_{\phi} \frac{h \cdot \Delta t}{l_1 + l_2} \cdot \left( \frac{H_1 - H_2}{l_1} - \frac{H_2 - H_3}{l_2} \right) \cdot 10^3 \quad (7)$$

де  $k_f$  – коефіцієнт фільтрації ґрунтового водоносного горизонту, м/добу;  $h$  – середня для балансового майданчика потужність ґрунтового водоносного горизонту, м;  $H_1, H_2, H_3$ , – середні за  $\Delta t$  рівні ґрунтових вод у пунктах спостережень, м;  $l_1, l_2$  – відстані між пунктами спостережень, м;  $10^3$  – коефіцієнт переходу в мм шару води.

### Основні результати

Своєрідність гідрогеологічних умов на полігоні, крім описаних вище ознак, полягає в тому, що область підземного живлення річки Головесні значно більша за територію, яка обмежена вододілом поверхневого стоку (гіпсометричним або топографічним) [9], у зв'язку з чим водозбір р. Головесня має **аномально високі модулі підземного стоку**, які, за оцінками І.С. Шпака, сягають 1,0-1,3 л/с/км<sup>2</sup>, тоді як на малих річках району з подібним ерозійним врізом русла – 0,3-0,6 л/с/км<sup>2</sup> [15]. За оцінками Єщенко Н.Д. площа підземного водозбору більша за річковий майже у 2 рази [16]. За нашими розрахунками, модуль підземного стоку для р. Головесня, з врахуванням джерел, що розвантажуються на поверхні, змінювались за період 2007-2021 рр. від 1,91 (2016) до 1,62 (2020) л/с/км<sup>2</sup>.

Ці особливості необхідно враховувати під час аналізу стійкості режиму та вразливості ресурсів ґрунтових і поверхневих вод до метеорологічної та гідрологічної посухи [17,18].

Ознакою впливу змін клімату, а саме його потепління, на баланс водотоків є збільшення частки участі підземних вод в живленні річки [17,19]. Для р. Десна таке збільшення на період 1989-2007 рр. відбулось на 10% порівняно з періодом 1936-1988 рр. – з 45 до 55% [20]. Затяжні посушливі періоди проявляються у зростанні відносної частки **глибокого** підземного живлення в загальному стоці малих приток р. Десна.

Згідно наших розрахунків гідродинамічним методом, за середніх коефіцієнтів фільтрації водоносної товщі 1,25 м/добу і водовіддачі 0,08, частка підземного стоку в загальному за 2007 р. складала 36,4% (середні РГВ в межах 10,5-16,5 м від поверхні). За розчленуванням річного гідрографа річки частка ґрунтового живлення склала близько 37%, **глибокого** підземного живлення – 39%, поверхневого живлення лише 24%, що

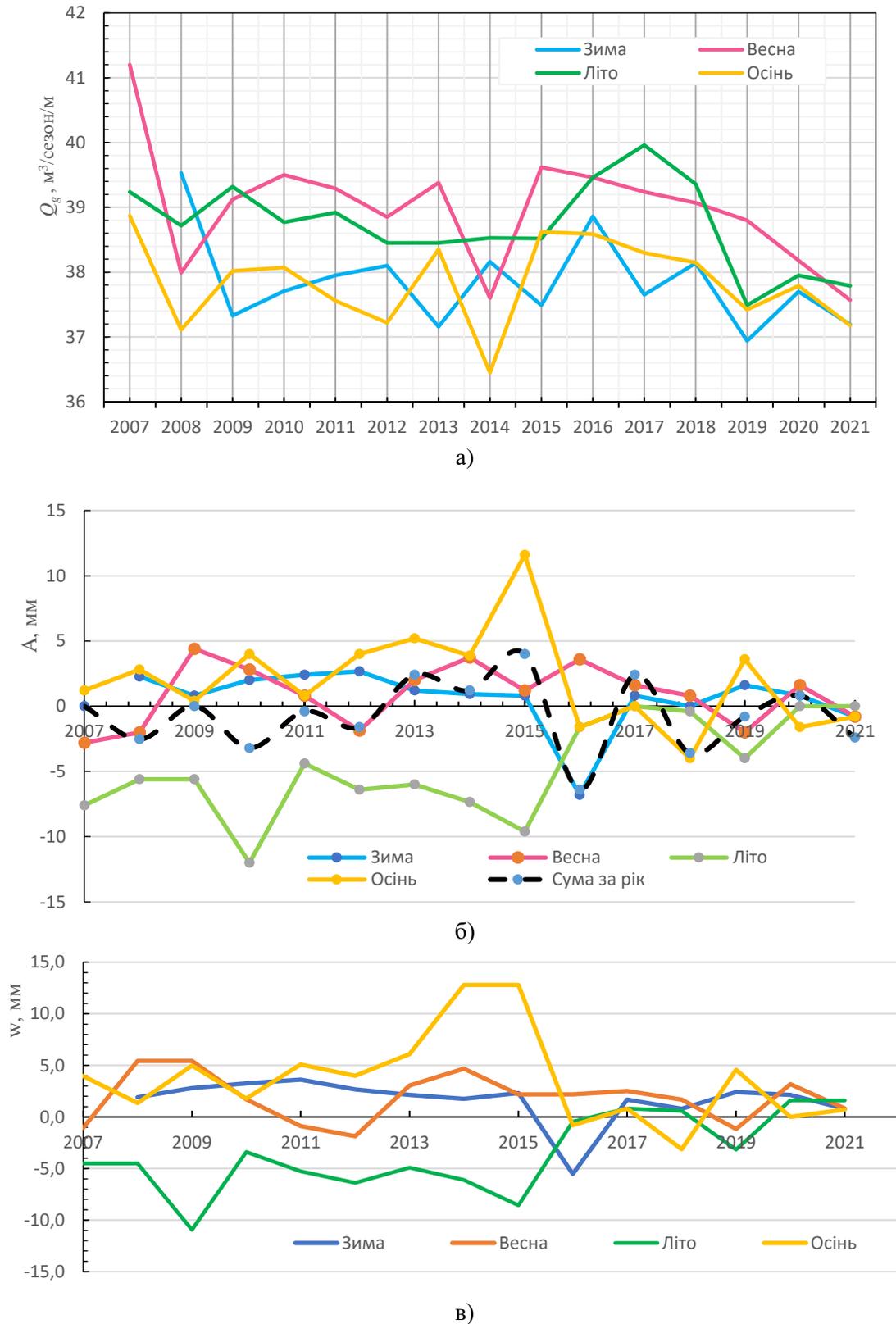
Після визначення  $\Delta Q$  і  $A$  визначається величина поповнення ґрунтових вод за рахунок інфільтрації ( $w$ ), або витрата ґрунтових вод в зону аерації, в т.ч. на випаровування і транспірацію (якщо значення від'ємне) за період  $\Delta t$ :

$$\Delta w = A - \Delta Q \quad (8)$$

продемонструвало добру сумісність методів а також дало змогу визначити частку **глибокого** живлення, яку не вдалось поррахувати гідродинамічним методом.

Режим ґрунтових вод за РГВ більше 10 м є відносно стабільним. Це проявляється і у **динаміці підземного стоку**. За період з 2007 по 2021 рр. він змінювався неістотно: **максимальне** значення у 156,37 м<sup>3</sup>/рік/метр погонний довжини річки припало на багатоводний 2016 р., коли зимовий стік був одним з найбільших за період спостережень (рис.2а), а підземний стік за весняний та літній сезони – тотожними; **мінімальне** – зафіксоване у 2021 р. (кількість опадів 728 мм, що вище середньобаторічної за період 1961-2022 рр. величини у 692 мм) і склало 149,73 м<sup>3</sup>/рік/м. 2016 р. відзначився максимальним за десять років (до 2021 р.) модулем поверхневого стоку – 5,09 л/с/км<sup>2</sup>. Низькі значення припливу ґрунтових вод до річки були у 2014 та 2019-2020 рр. Максимальне значення бічного припливу весною 2007 р. було наслідком попереднього вологого холодного сезону, а от підвищений приплив ґрунтових вод до річки влітку 2016-2018 рр. є наслідком аномального зростання інфільтраційного живлення в жаркий період (рис. 2).

Спостерігається сезонна підпорядкованість динаміки підземного стоку – здебільшого весняні максимуми та зимові або осінні мінімуми (рис. 2а). Варіації в сезонних коливаннях з року в рік можуть бути значними. До 2018 р. коливання стоку за осінній період практично повторюють зміни стоку весною. Очевидно, що обсяги стоку ґрунтових вод за зимовий та весняний сезони конкурують між собою: збільшення витрат за зимовий сезон призводить до їх зменшення весною і навпаки. Проте після 2016 р. остання закономірність порушується. Літній стік до 2015 р. демонстрував відносну стабільність (рис. 2а).



**Рис. 2** – а) Динаміка бічного припливу ґрунтових вод до р. Головесні;  
 б) зміни запасів ґрунтових вод на водозборі;  
 в) динаміка інфільтраційного живлення ґрунтових вод за 2007-2021 роки  
**Fig. 2** – a) The dynamics of the lateral inflow of groundwater to the Golovesnya River;  
 b) changes of groundwater reserves on the catchment;  
 c) dynamics of groundwater infiltration recharging for 2007-2021

Виконані розрахунки та аналіз результатів доводять правильність викладених вище міркувань щодо істотного впливу на стік ґрунтових вод у посушливі періоди показників  $W_r$ , і  $W_{az}$ . Дійсно, під час гідрологічної посухи, що спостерігалась у 2019-2020 рр. зменшення річкового стоку та, відповідно рівня води в річці призвело до поглиблення бази ерозії та зменшення сезонної різниці у витратах потоку ґрунтових вод до річки. Попередньо, у 2016-2018 рр. відбулось помітне збільшення літніх витрат підземних вод до річки (рис. 2а). Із середньорічними витратами річки за 2011-2020 рр. найкраща кореляція у питомих витрат ґрунтового стоку за весняний (0,67) та літній (0,52) сезони.

Хронологічні графіки *змін запасів ґрунтових вод* (А) до 2016 р. демонструють більш чіткі сезонні закономірності: максимумами характерні переважно для осені, мінімуми – завжди для літа (рис. 2б). Під час маловодного циклу 2007-2021 рр. переважали від'ємні значення у змінах запасів – внаслідок зменшення величин прибуткових (таких як інфільтраційне живлення восени) та більш вагомого збільшення витратних складових балансу, таких як втрати вологи в зону аерації та підземний стік до річки влітку. Зміни запасів помітно реагують на річні суми опадів здебільшого на наступний рік.

Головним чинником втрат води на водозборі є *глибина промерзання ґрунту*, а отже і *температура приземного повітря взимку та на початку весни*. Згідно спостережень за 1960-1985 рр., за глибини промерзання ґрунту взимку від 90 до 149 см втрат стоку під час весняного водопілля не відбувалось [9]. Коли ж промерзання зменшувалось до 82-45 см втрати поверхневого стоку складали від 21 до 61 мм. А за товщини промерзлого шару ґрунту 25-7 см втрати стрімко, проте нелінійно зростали до 72-165 мм [9,21].

*Інфільтраційне живлення ґрунтових вод* (рис. 2в) майже повторює коливання змін запасів (рис. 2б). У багатоводному 2016 році інфільтраційне живлення і запаси ґрунтових вод за осінь та зиму різко зменшуються, набуваючи від'ємних значень (переважають втрати вологи в зону аерації, в т.ч. на випаровування). Ми пов'язуємо це із значним зниженням РГВ наприкінці 2015 р. та ходом зимових температур. Важливе значення для поповнення ґрунтових вод на глибинах 10-15 м взимку відіграє кількість опадів попереднього літньо-осіннього періоду, проте саме у серпні-жовтні 2015 р. кількість опадів була дуже низькою – 43 мм за три

місяці. Листопад був насправді дощовим (майже 103 мм), проте теплим, і випаровування відіграло значущу роль. Грудень 2015 р. відзначився дуже значними і стрімкими коливаннями середньодобової температури, наприклад від +7,4 до -9,3 °C за 5 діб (24-29 грудня), за посередньої та рівномірно розподіленої кількості опадів (40 мм). Причому відбулось чотири похолодання і чотири стрімкі відлиги за місяць, внаслідок чого практично вся волога зійшла по промерзлій поверхні до річки. У січні 2016 р. була достатня кількість опадів (66,7 мм), проте найбільш низькі і стійкі від'ємні температури після 2010 р. Ці опади також не надійшли до ґрунтових вод внаслідок стрімкої відлиги в лютому. Слід сказати, що останній був найтеплішим після 2002 р. (як і у 2022 р.), а переважна кількість опадів (49 мм) випала у другій його половині, тобто пішла на живлення ґрунтових вод у весняно-літній період. Підкреслимо, що значення усіх показників балансу ґрунтових вод зимового періоду приймались не за календарні зимові місяці року а за період грудень попереднього року – січень, лютий поточного. Аномальне зменшення інфільтраційного живлення за зимовий сезон 2016 р. відобразилось у річному багаторічному мінімумі (рис. 3). Для остаточного пояснення цього парадоксу (невідповідності інфільтрації річній кількості опадів) необхідно проаналізувати, крім метеорологічних, гідрофізичні показники (зміни вологості зони аерації, всмоктуючого тиску, електричних потенціалів і т.п.), у тому числі й за попередній період; взяти до уваги витрати струмків та річки Головесні та ін. Цей аналіз буде проведено на наступному етапі та включено до майбутніх публікацій, оскільки саме гідрологічні події 2016 р. дуже важливі для розуміння пролонгованих впливів змін погодно-кліматичних умов, в першу чергу метеорологічних посух (як у 2014-2015 рр.), на режим, баланс та ресурси ґрунтових і поверхневих вод в Поліському регіоні.

Надалі, у 2017-2021 рр. сезонні відмінності у живленні майже нівелюються (див. рис. 2в): роль живлення за літній період зростає, а за весняний та осінній сезони зменшується.

Вплив атмосферних опадів на інфільтраційне живлення та підземний стік за РГВ більших 10 м проявляється із нерівномірним і значним запізненням, зв'язок з інфільтраційним живленням практично відсутній (рис.3), що не дозволяє використати ці показники в розрахункових моделях підземного

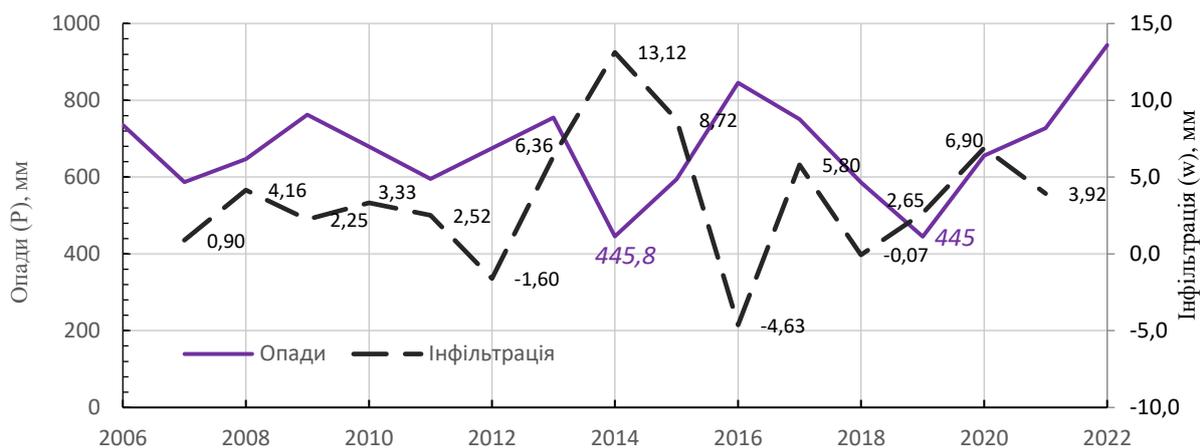


Рис. 3 – Зміни сумарного за рік інфільтраційного живлення у співставленні із річною сумою опадів

Fig. 3 – Changes in the annual total infiltration recharge of groundwater in comparison with the annual amount of precipitation

стоку. Натомість важливими чинниками регулювання режиму ґрунтових вод у маловодні періоди виступають рівень води в дренажі та втрати вологи на насичення зони аерації, а отже і літологічний та гранулометричний склад цієї зони та температура приземного повітря.

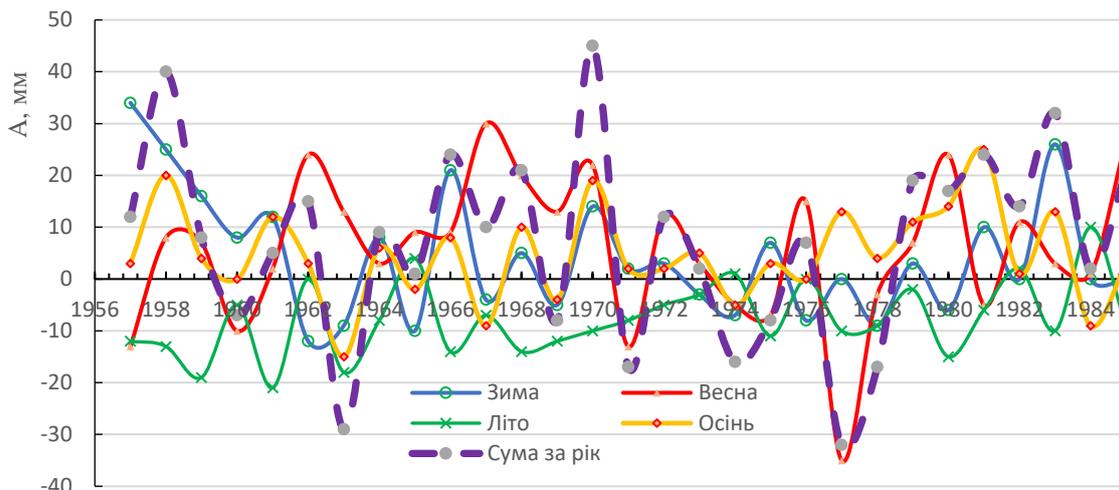
Можна помітити (рис. 3), що обсяги інфільтраційного живлення корелюють із кількістю опадів із запізненням на 1 рік до 2015 року, після якого реакція інфільтрації збільшується до 2 років або стає невпорядкованою.

На перший погляд дивним виглядає стійке збільшення інфільтраційного живлення саме за найтепліший літній сезон починаючи з 2016 р. (рис. 2в). Проте, це не складно пояснити, якщо взяти до уваги аномально високу кількість опадів за 2016 р. – 845,5 мм (метеостанція с. Покошичі, ще більше опадів було хіба що за 2022 р. – 943,6 мм), їх значне надходження саме за теплий період з квітня по серпень – 445 мм та досить високу, як для даної місцевості, середню температуру за той самий період (+17,3 °С, в наступному році, для прикладу, було +16,2 °С). Розподіл опадів у часі забезпечив насичення ними потужної зони аерації (до 10-15 м), складеної переважно неоплейстоценовими делювіальними, озерними та гляціальними суглинками, а значні перепади температури вдень і вночі забезпечили конденсаційний, більш швидкий, порівняно з інфільтраційним, механізм перенесення вологи через поровий простір ґрунтів. Цілком можливо, що вирішальним чинником, який

посприяв зростанню інфільтраційного живлення та підтриманню його високих значень був позитивний знак заряду статичного електричного поля приземного шару атмосфери. Саме такий знак заряду переважав в період весна 2016 - літо 2020 рр. [22]. Достеменно встановлено, що коли напруженість електричного поля приземної атмосфери має додатний знак, формується низхідний рух вологи [23]. Тобто відбувається приріст інфільтраційного живлення ґрунтових вод навіть в роки із меншою кількістю атмосферних опадів: середні РГВ для них більші, ніж в періоди із від'ємними статичними полями (як 2006-2010 рр.).

За попередній період, що не пов'язаний із значними проявами потепління клімату, від'ємний баланс спостерігався переважно влітку, рідше взимку та восени (рис. 4). Зимові позитивні прирости в балансі проявлялись навіть частіше, ніж в період більш частих зимових відлиг 2007-2021 рр. В окремі роки (1971, 1977), коли від'ємні зміни запасів відбувались весною, це призводило до значних негативних значень річного балансу. Значні річні позитивні зміни запасів ґрунтових вод (1958, 1970, 1983 та ін.) завжди були пов'язані із додатним балансом зимового сезону.

Найкраще корелювали в 1957-1985 рр. із річним балансом зміни запасу ґрунтових вод за осінній сезон (коефіцієнт кореляції 0,6), найменше – за літній, зимові та весняні зміни приблизно порівну – відповідно, 0,54 і 0,53. За період 2008-2021 рр. значуща кореляція залишилась лише із осіннім (0,57) та зимовим (0,5) сезонами.



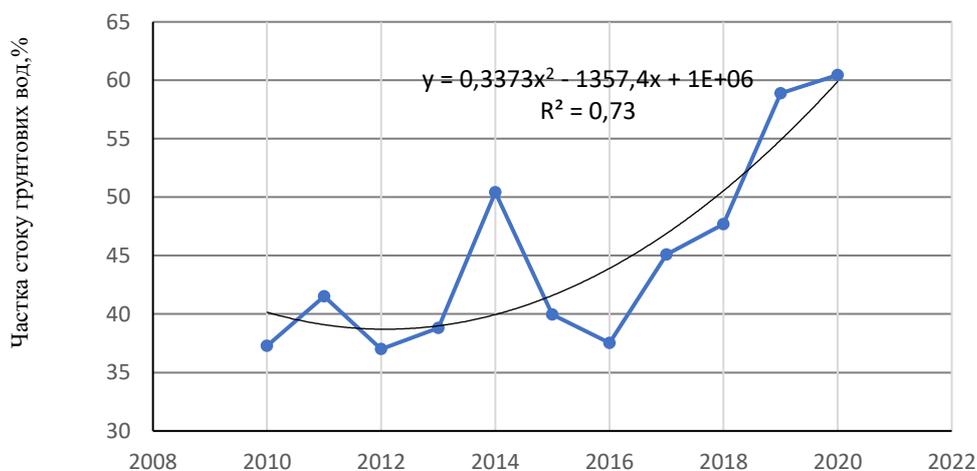
**Рис. 4** – Зміни запасів ґрунтових вод на водозборі р. Головесня за 1957-1985 рр.  
**Fig. 4** – Changes in groundwater reserves on the Golovesnya River catchment for 1957-1985

Більша захищеність підземного стоку, порівняно з поверхневим, від впливу метеорологічної посухи та його вагома роль для стоку р. Головесні (рис. 5) проявляється також в істотно менших змінах витрат: за період 2019-2021 рр. зменшення підземного стоку відбулось на 1,0...2,2%, а поверхневого – на 28,5...35,0%.

Найбільша амплітуда коливань РГВ спостерігається на вододільній частині водозбору, як і зниження рівня під час посухи. За ознаками зниження рівня найбільш захищеними від посухи за природних умов (без впливу водозаборів) можна вважати низькі річкові тераси та високі заплави де наявне напірне живлення ґрунтових вод. Також в

багаторічному плані слабо реагують на брак інфільтраційного живлення і підвищення температури ґрунтові води на глибинах більше 3,0 м, хоча зміни в їх циклічності, пов'язані із чередуванням маловодних та багатоводних циклів, також помітні. За цими критеріями недоцільно розміщувати великі водозабори на перші та другі від поверхні водоносні горизонти на вододілах. Берегові водозабори в області розвантаження ґрунтових та глибоких напірних вод повинні мати мінімальний негативний вплив на стійкість водообмінної системи в умовах гідрологічної посухи.

Отже, гідрогеологічні дослідження в форматі водно-балансових станцій, на яких проводяться одночасні спостереження за



**Рис. 5** – Розрахункова частка участі ґрунтових вод в загальному стоці річки Головесня за період відчутних кліматичних змін 2010-2020 рр.

**Fig. 5** – Estimated share of groundwater participation in the total runoff of the Golovesnya River during the period of significant climate changes 2010-2020

великою кількістю метеорологічних, гідрологічних та гідрогеологічних показників [9], дозволяють виявити цікаві залежності, важливі для розуміння особливостей впливу погодно-кліматичних умов на режим та баланс

грунтових вод. У подальших дослідженнях варто провести поглиблений аналіз залежностей РГВ, живлення та витрат ґрунтових вод від аномальних метеорологічних подій, їх частоти та тривалості.

### Висновки

Підземне, в першу чергу глибоке напірне живлення річок, виконує важливу компенсуючу функцію в маловодні роки та під час тривалої гідрологічної посухи. Важливими чинниками регулювання режиму ґрунтових вод у маловодні періоди в долинах річок (окрім опадів) є рівні та витрати води в річці а також втрати вологи на насичення зони аерації, а отже, - літологічний та гранулометричний склад цієї зони. Втрати в зону аерації є також важливим регулюючим чинником балансу та річкового стоку в масштабах водозбору р. Десна. Найбільше значення стоку ґрунтових вод до річки Головесні за період 2007-2021 рр. встановлене для багатоводного 2016 р., найменше – у 2021 р., – після закінчення посушливого циклу, на початку вологого, що свідчить про інерцію зниження РГВ та стоку після закінчення посухи.

До 2016 р. хронологічні графіки демонструють більш чіткі сезонні закономірності в динаміці бічного відтоку ґрунтових вод до річки, ніж в період поглиблення метеорологічної посухи 2017-2021 рр. До 2016 р. максимальні значення запасів та інфільтраційного живлення ґрунтових вод були характерні переважно для осені, мінімальні – завжди для літа. У 2016 р. *інфільтраційне живлення і запаси* ґрунтових вод за *осінь та зиму* різко зменшуються набуваючи від'ємних значень (переважають втрати вологи в зону аерації, в т.ч. на випаровування). За *літо бічний приплив* ґрунтових вод до річки був найвищим у 2016-2018 рр., коли середньомісячні температури зросли до 20 °С і більше. Надалі (2017-2021 рр.) сезонні відмінності у живленні майже нівелюються: роль живлення за літній період зростає, а за весняний та осінній сезони зменшується.

Зважаючи на 1-2 річне запізнення реакції інфільтраційного живлення глибоких ґрунтових вод (РГВ > 10 м від поверхні) на зміни кількості опадів, можна із впевненістю казати, що зміни в балансі ґрунтових вод з 2016 р. відбулись під впливом аномально низької кількості річних опадів та підвищеної температури в 2014-2015 рр. Цей період можна трактувати як *метеорологічну посуху*. Від'ємний баланс ґрунтових вод за 2018-2021 рр. (в цілому -6 мм) та низька кількість опадів у 2019 р. (445 мм) призвели до *гідрологічної посухи* у 2019-2020 рр. – коли були зафіксовані найменші за багаторіччя об'єми (2,65-2,49 тис. м<sup>3</sup>/рік) та модулі (2,85-2,68 л/с/км<sup>2</sup>) поверхневого стоку. Тим не менш, значна кількість опадів у 2022 р. дозволяє сподіватись, що такі зміни не є надто глибокими та незворотними.

Завдяки особливостям водозбору та гідрогеологічних умов, що визначають високу частку участі субнапірних ґрунтових (36,5-60,5%) та більш глибоких напірних підземних вод в стоці річки (загалом 70-85%), режим р. Головесні можна вважати захищеним від несприятливих впливів метеорологічної посухи, що зокрема проявились у 2019-2020 рр.

Виявлено чіткі ознаки впливу змін клімату в фазі загострення посухи на режим та баланс ґрунтових і поверхневих вод: зменшення інфільтраційного живлення восени і взимку (на відміну від першої фази потепління 1980-1998 рр.) та його збільшення влітку – вірогідно за рахунок конденсаційного механізму вологоперенесення; збільшення втрат вологи в зону аерації та підземного стоку до річки влітку, домінування від'ємних значень річного балансу (змін запасів) ґрунтових вод; зростання частки живлення річок ґрунтовими водами до

### Конфлікт інтересів

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

### Список використаної літератури

1. Van Loon A.F. Hydrological drought explained. *WIREs Water*. 2015. Vol. 2. N 4. 359-392. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
2. Mirchi A., Di Baldassarre G., Madani K., Alborzi A. Anthropogenic Drought: Definition, Challenges, and Opportunities. *Reviews of Geophysics*. 2021. Vol. 59. N 2. P.1-23. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019RG000683>

3. Шевченко О.Л., Лободзінський О.В., Наседкін І.Ю., Чорноморець Ю.О., Шкляренко В.В. Розчленування гідрографів річок з врахуванням даних гідрогеологічних спостережень. *Геологічний журнал*. 2024. № 1. С. 32-46. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.1.288190>
4. Conrad L., Fernald A., Guldan S., Ochoa C. A water balancing act: water balances highlight the benefits of community-based adaptive management in Northern New Mexico, USA. *Hydrology*. 2022. Vol. 9. N 64. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology9040064>
5. Saha G., Quinn M. Integrated surface water and groundwater analysis under the effects of climate change, hydraulic fracturing and its associated activities: a case study from North western Alberta, Canada. *Hydrology*. 2020. Vol. 7. 70. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology7040070>
6. Chang S., Chung I. Water budget analysis considering surface water–groundwater interactions in the exploitation of seasonally varying agricultural groundwater. *Hydrology*. 2021. Vol. 8. 60. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology8020060>
7. Othman A. Monitoring the response of Saudi Arabia's largest fossil aquifer system to climate variability. *Journal of Taibah University for Science*. 2024. Vol. 18. N 1. 2331991. DOI: <https://doi.org/10.1080/16583655.2024.2331991>
8. Shevchenko O.L., Streltsov A.O. Principles of calculations and arrangement of local drainage systems in private building territories. *Land reclamation and water management*. 2023. Vol. 2. P.38-49. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202302-364>
9. Многолетние характеристики гидрометеорологического режима малых водосборов Украины (материалы наблюдений Придеснянской ВБС, Богуславской ПЭГБ, Велико-Анадольской ВБС) под ред. Ю.В. Швейкина, Н.Д. Ещенко, И.И. Швейкиной. 1986. 612 с.
10. Osypov V., Osadcha N., Hlotka D., Osadchy V. The Desna river daily multi-site streamflow modeling using SWAT with detail snow melt adjustment. *Journal of Geography and Geology*. 2018. Vol. 10. N 3. P.92-110. DOI: <https://doi.org/10.5539/jgg.v10n3p92>
11. Геологическая карта СССР, Масштаб 1:200000, серия Днепрово-Донецкая, М-36-III. Пояснительная записка. Цимба О.Н., Голубицкая А.А. и др. Киев. 1974.
12. Mc Donald M.G., Harbaugh A.W. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey. 1988. DOI: <https://doi.org/10.3133/twri06A1>
13. El-Rawy M., Batelaan O., Buis K., Anibas C., Mohammed G., Zijl W., Salem A. Analytical and Numerical Groundwater Flow Solutions for the FEMME-Modeling Environment. *Hydrology*. 2020. Vol. 7. N 2. 27. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology7020027>
14. Шевченко О.Л., Козицький О.М., Наседкін І.Ю., Рябцева Г.П., Бублясь В.М. та ін. Закономірності міграції техногенних радіонуклідів на меліоративних системах Чорнобильської зони відчуження (за результатами досліджень 1986-2004 рр.), Херсон: Олді-плюс. 2011. 416 с.
15. Шпак И.С. Режим почвенных и грунтовых вод бассейна р. Головесни. *Труды УкрНИГМИ*. 1961. Т.30. С.53-66.
16. Ещенко Н.Д. Водный баланс малых водосборов Придеснянской стоковой станции. *Труды УкрНИГМИ*, 1967. № 66. С. 24-34.
17. Van Lanen H.A.J., Wanders N., Tallaksen L.M. & Van Loon A.F. Hydrological drought across the world: impact of climate and physical catchment structure. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2013. Vol. 17. P.1715–1732. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-1715-2013>
18. Pechlivanidis I.G., Arheimer B., Donnelly C., Hundecha Y., Huang S., Aich V., Samaniego L., Eisner S., Shi P. Analysis of hydrological extremes at different hydro-climatic regimes under present and future conditions. *Clim. Chang*. 2017. Vol. 141. P.467–481. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1723-0>
19. Лободзінський О.В., Данько К.Ю. Визначення та оцінка зміни типів живлення річок басейну р. Горинь. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2023. Т.2. № 68. С.33-42. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.4>
20. Чорноморець Ю.О., Гребінь В.В. Багаторічна динаміка режиму живлення р. Десна. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т.3. № 20. С.59-67. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge\\_2010\\_3\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2010_3_8)
21. Блищик І.А. Умови формування стоку весняної повені на малих водозборах Придеснянської водно-балансової станції. Бакалаврська кваліф. робота. Одеса. Одеський державний екологічний університет. 2019. URL: [http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/6146/1/BlishchikIA\\_Umomy\\_formuvannya\\_B\\_2019.pdf](http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/6146/1/BlishchikIA_Umomy_formuvannya_B_2019.pdf)
22. Шевченко О., Бублясь В., Ошурок Д. Аналіз геофізичних, метеорологічних та гідрогеологічних даних для пояснення невідповідностей між інфільтрацією та атмосферними опадами. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Геологія)*. 2023. Т. 1. № 100. С.111-123. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.13>
23. Бублясь В.М. Електричні явища атмосфери і літосфери та їх роль у геологічних процесах. Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука і виробництво: матеріали IV міжнар. геол. форуму до 60-річчя УкрДГПІ. 2017. Київ. 19-24. URL: [https://geonews.com.ua/uploaded\\_files/geoforum\\_2017.pdf](https://geonews.com.ua/uploaded_files/geoforum_2017.pdf)

Стаття надійшла до редакції 18.04.2024

Стаття рекомендована до друку 23.05.2024

**O. L. SHEVCHENKO<sup>1</sup>**, DSc (Geology)

Chief Researcher of the Laboratory of Research of Climate Change Impact on Water Resources

e-mail: [shevch62@gmail.com](mailto:shevch62@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5791-5354>

**V. V. SHKLIARENKO<sup>1</sup>**,

PhD Student, Junior Researcher

of the Laboratory of Research of Climate Change Impact on Water Resources

e-mail: [valentin.shkliarenko@gmail.com](mailto:valentin.shkliarenko@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-9866-558X>

<sup>1</sup> *Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine*

*and the National Academy of Sciences of Ukraine,*

*Nauki Ave., 37, Kyiv, 03028, Ukraine*

## **FEATURES OF UNDERGROUND FLOW FORMATION TO THE GOLOVESNYA RIVER (DESNIA BASIN) DURING THE DRY PERIOD 2007-2021**

**Purpose.** To analyze the peculiarities of the dynamics of underground flow on the catchment of the Golovesnya River, a right-bank tributary of the Desna River, during the dry period of 2007-2021 in comparison with the period of 1960-1985 - before the beginning of noticeable climatic changes.

**Methods.** The hydrodynamic finite-difference method of calculating the specific consumption of groundwater based on the data of routine observations of the levels of groundwater and surface water, the hydrodynamic method of calculating the components of the groundwater balance.

**Results.** The specific flow of groundwater to the Golovesnya River was calculated based on the data of observations for 2007-2021; the share of groundwater flow in the total flow of the river was determined, changes in the dynamics of infiltration nutrition and the inflow of groundwater to the river were revealed, which can be associated with the sign of the charge of the static electric field of the surface layer of the atmosphere, an increase in air temperature, and an increase in the volume of moisture retention in the aeration zone after reducing GWT.

Underground flow to the river largely compensates for the losses and stabilizes the river flow in low-water years and during prolonged hydrological drought. Important factors in the regulation of the groundwater regime in low-water periods (in addition to precipitation) are the level and flow of water in the river, as well as the loss of moisture due to the saturation of the aeration zone, and therefore, the lithological and granulometric composition of this zone. Losses in the aeration zone are also an important regulatory factor of balance and river flow in the scale of the Desna River catchment. The largest volumes of underground runoff to the Golovesnya River for 2007-2021 were set for the multi-water year 2016, the smallest - for 2021. By 2016, the chronological graphs show clearer seasonal patterns: repeatability of underground flow fluctuations in the spring and autumn seasons; opposite flow fluctuations in winter and spring and a relatively stable summer flow; typical for autumn are maximum, and for summer always minimum values of reserves and infiltration recharge of groundwater. In the abundant water year of 2016, infiltration recharge and groundwater reserves during autumn and winter sharply decrease and acquire negative values due to a significant decrease in GWT in the previous period, an unfavorable course of temperature and precipitation distribution, and increased outflow to the river. In 2017-2021, the seasonal differences in the recharge of the river with groundwater are almost equalized: the role of recharge increases during the summer period, and decreases during the spring and autumn seasons. The role of the condensation mechanism of moisture transfer in the aeration zone is increasing. During the summer, the lateral inflow of groundwater to the river was the highest in 2016-2018.

**Conclusions.** Calculations and analysis of the dynamics of infiltration feeding and groundwater flow to the Golovesnya River have been performed. Changes in groundwater supply and discharge, especially in the period after 2015, have been identified, which can be interpreted as the consequences of adverse weather and climate conditions in 2014-2015. In 2018-2021, there was a decrease in groundwater and surface water resources, which corresponds to signs of hydrological drought.

**KEY WORDS:** *underground runoff, groundwater, river runoff, specific flows, drought, seasonality, balance, runoff layer, moisture loss, infiltration nutrition, groundwater level*

### **References**

1. Van Loon, A.F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2 (4), 359-392. <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
2. Mirchi, A., Di Baldassarre, G., Madani, K., & Alborzi, A. (2021). Anthropogenic Drought: Definition, Challenges, and Opportunities. *Reviews of Geophysics*, 59 (2), 1-23. <https://doi.org/10.1029/2019RG000683>
3. Shevchenko O.L., Lobodzynskyi O.V., Nasedkin I.Yu., Chornomorets Yu.O., & Shkliarenko V.V. (2024). Decomposition of river hydrographs taking into account data of hydrogeological observations. *Geological journal*, 1, 32-46. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.1.288190> (In Ukrainian)

4. Conrad, L., Fernald, A., Guldán, S., & Ochoa, C. (2022). A water balancing act: water balances highlight the benefits of community-based adaptive management in Northern New Mexico, USA. *Hydrology*, 9, 64. <https://doi.org/10.3390/hydrology9040064>
5. Saha, G., & Quinn, M. (2020). Integrated surface water and groundwater analysis under the effects of climate change, hydraulic fracturing and its associated activities: a case study from North western Alberta, Canada. *Hydrology*, 7, 70. <https://doi.org/10.3390/hydrology7040070>
6. Chang, S., & Chung, I. (2021). Water budget analysis considering surface water–groundwater interactions in the exploitation of seasonally varying agricultural groundwater. *Hydrology*, 8, 60. <https://doi.org/10.3390/hydrology8020060>
7. Othman, A. (2024). Monitoring the response of Saudi Arabia's largest fossil aquifer system to climate variability, *Journal of Taibah University for Science*, 18 (1), 2331991, <https://doi.org/10.1080/16583655.2024.2331991>
8. Shevchenko, O.L., & Streltsov, A.O. (2023). Principles of calculations and arrangement of local drainage systems in private building territories. *Land reclamation and water management*, 2, 38-49. <https://doi.org/10.31073/mivg202302-364>
9. Shveikina, Yu.V., Eshchenko, N.D., & Shveikina, I.I. (Eds.). (1986). Long-term characteristics of the hydro-meteorological regime of small catchment areas in Ukraine (observation materials from the Desnyanskaya WBS, Boguslavskaya FEHB, Veliko-Anadolskaya WBS). (In Russian)
10. Osypov V., Osadcha N., Hlotka D., & Osadchy V. (2018). The Desna river daily multi-site streamflow modeling using SWAT with detail snow melt adjustment. *Journal of Geography and Geology*. 10 (3), 92-110 <https://doi.org/10.5539/jgg.v10n3p92>
11. Geological map of the USSR, Scale 1:200000, Dneprovo-Donetskaya series, M-36-III. (1974). Kyiv. (In Russian)
12. Mc Donald, M.G., & Harbaugh, A.W. (1988). A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/twri06A1>
13. El-Rawy, M., Batelaan, O., Buis, K., Anibas, C., Mohammed, G., Zijl, W., & Salem, A. (2020). Analytical and Numerical Groundwater Flow Solutions for the FEMME-Modeling Environment. *Hydrology*, 7, 27. <https://doi.org/10.3390/hydrology7020027>
14. Shevchenko, O.L., Kozytskyi, O.M., Nasedkin, I.Yu., Ryabtseva, G.P., Bublyas, V.M., Ivanushkina, N.I., Osadcha, N.M., & Syzonenko, V.P. (2011). Patterns of migration of man-made radionuclides on reclamation systems of the Chernobyl Exclusion Zone (based on research results from 1986-2004). Kherson: Ukraine. (In Ukrainian)
15. Shpak, I.S. (1961). Regime of soil moisture and groundwater in the Golovesnya river basin. *Proceedings of UkrNIHMI*, 30, 53-66. (In Russian)
16. Yeshchenko, N.D. (1967). Water balance of small catchment areas of the Pridesnyanskaya runoff station. *Proceedings of UkrNIHMI*, 66, 24-34. (In Russian)
17. Van Lanen, H.A.J., Wanders, N., Tallaksen, L.M. & Van Loon, A.F. (2013). Hydrological drought across the world: impact of climate and physical catchment structure. *Hydrol Earth Syst Sci*, 17, 1715–1732. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1715-2013>
18. Pechlivanidis, I.G., Arheimer, B., Donnelly, C., Hundecha, Y., Huang, S., Aich, V., Samaniego, L., Eisner, S., & Shi P. (2017). Analysis of hydrological extremes at different hydro-climatic regimes under present and future conditions. *Clim. Chang.*, 141, 467–481. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1723-0>
19. Lobodzinskyi O.V., & Danko K.Yu. (2023). Determination and assessment of changes in the types of recharging of the rivers of the Horyn river basin. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. 2(68), 33-42. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.4> (In Ukrainian)
20. Chornomoret, Yu.O., & Grebin', V.V. (2010). Long-term dynamics of the recharging regime of the Desna River. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 3 (20), 59-67. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/gghge\\_2010\\_3\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/gghge_2010_3_8) (In Ukrainian)
21. Blyshchyk, I.A. (2019). Conditions for the formation of spring flood runoff in small catchments of the Prydesnian water balance station. Work on Bachelor's degree. Odesa. Odessa State Environmental University. Retrieved from [http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/6146/1/BlishchikIA\\_Umomy\\_formuvannya\\_B\\_2019.pdf](http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/6146/1/BlishchikIA_Umomy_formuvannya_B_2019.pdf) (In Ukrainian)
22. Shevchenko, O., Bublyas, V., & Oshurok, D. (2023). Analysis of geophysical, meteorological and hydrogeological data to explain discrepancies between infiltration and precipitation. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University (Geology)*. 1 (100), 111-123. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.100.13> (In Ukrainian)
23. Bublyas, V.M. (2017). Electrical phenomena of the atmosphere and lithosphere and their role in geological processes. Actual problems and prospects for the development of geology: science and production: Materials of the IV International. geol. forum for the 60th anniversary of UkrDGRI. Kyiv: Ukraine. 19-24. Retrieved from [https://geonews.com.ua/uploaded\\_files/geoforum\\_2017.pdf](https://geonews.com.ua/uploaded_files/geoforum_2017.pdf) (In Ukrainian)

The article was received by the editors 18.04.2024

The article is recommended for printing 23.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-02>

УДК: 556.1(477.43/44)

**А. М. ШУВАР** д-р с-г. наук, с.н.с.,  
завідувач кафедри агробіотехнологій  
e-mail: [antin@ukr.net](mailto:antin@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6016-0896>

*Західноукраїнський національний університет*  
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46025, Україна

**М. Р. ПИТУЛЯК**, канд. геогр. наук,  
доцент кафедри географії та методики її навчання  
e-mail: [myroslava.pytuliak@gmail.com](mailto:myroslava.pytuliak@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5565-4915>  
*Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка*

вул. М. Кривоноса, 2, м. Тернопіль, 46027, Україна

**М. В. ПИТУЛЯК**, канд. геогр. наук,  
доцент кафедри агробіотехнологій  
e-mail: [mykola.pytuliak@gmail.com](mailto:mykola.pytuliak@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9446-9859>

*Західноукраїнський національний університет*  
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46025, Україна

**С. І. ГУНЬКО**

заступник директора навчально-наукового інституту інноватики,  
природокористування та інфраструктури, викладач кафедри агробіотехнологій  
e-mail: [s.i.gunko@ukr.net](mailto:s.i.gunko@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-5129-0266>

*Західноукраїнський національний університет*  
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46025, Україна

**І. Р. КУЗИК**, доктор філософії,  
асистент кафедри геоєкології та методики навчання екологічних дисциплін  
e-mail: [kuzyk@tnpu.edu.ua](mailto:kuzyk@tnpu.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4491-1071>

*Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка*  
вул. М. Кривоноса, 2, м. Тернопіль, 46027, Україна

## ВОДНІ РЕСУРСИ ПОДІЛЬСЬКОГО РЕГІОНУ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

**Мета.** Проаналізувати стан водних ресурсів Подільського регіону та територіальні особливості водокористування з метою оптимізації їх використання.

**Методи.** Методи системно-структурного аналізу, статистичні, картографічний, моделювання.

**Результати.** Проаналізовано сучасний стан та особливості використання водних ресурсів на території адміністративних районів Подільського регіону за показниками загального водозабору із природних водних об'єктів, використання свіжої води загалом та галузеву структуру водокористування. Основними споживачами водних ресурсів в регіоні є промислові підприємства і житлово-комунальне господарство. Найбільша частка підземного водозабору у Тернопільській області, а найменша у Вінницькій, що пов'язане з природними запасами підземних вод. Найбільші обсяги водозабору з природних водних об'єктів та використання свіжої води спостерігається у Хмельницькій області, а найменші – у Тернопільській області. Аналіз динаміки показників водокористування впродовж 2020-2022 рр. визначив зменшення обсягів водозабору води, особливо у 2022 р., у всіх областях регіону. Найбільша частка води використовується в областях регіону на виробничі потреби.

**Висновки.** Динаміка водоспоживання у всіх областях регіону має тенденцію до зменшення обсягів водозабору. Простежуються певні відмінності у величині поверхневого і підземного водозабору. Для багатьох адміністративних районів та територіальних громад є актуальною проблема раціонального використання водних ресурсів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** водні ресурси, водокористування, водозабір, поверхневі води, підземні води, галузева структура водокористування

**Як цитувати:** Шувар А. М., Питуляк М. Р., Питуляк М. В., Гунько С. І., Кузик І. Р. Водні ресурси Подільського регіону та їх використання. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2024. Вип. 41. С. 19-32. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-02>

© Шувар А. М., Питуляк М. Р., Питуляк М. В., Гунько С. І., Кузик І. Р., 2024



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

**In cites:** Shuvar, A. M., Pytulyak, M. R., Pytulyak, M. V., Hunko, S. I., & Kuzyk, I. R. (2024). Water resources of the Podilia region and their use. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (41), 19-32. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-02> (in Ukrainian)

### **Вступ**

В умовах глобальних змін клімату спостерігається ряд проблем пов'язаних із забезпеченням водними ресурсами багатьох регіонів країни [1]. Оптимізація використання і збереження водних ресурсів є актуальною для Подільського регіону, як району із переважанням аграрного природокористування [2, 3].

Теоретико-методологічні, методичні та прикладні еколого-економічні аспекти організації використання, відтворення і охорони водних ресурсів досліджено в наукових працях [4 – 10], де запропоновано використання систем багатовимірного імітаційного моделювання для розробки планів управління водними ресурсами.

Характеристику внутрішніх вод Тернопільської області подано в монографії «Географія Тернопільської області. Природні умови і ресурси» [11] та публікації Свинка Й. М. [12]. Аналіз та дослідження поверхневих та підземних вод Вінницької області висвітлено в монографії Сивого М. Я. [13]. Дослідження

водного потенціалу областей Подільського регіону як невід'ємної складової природно-ресурсного потенціалу представлено у працях Руденка В. П. [14], Журби І. Є. [15]. Комплексне дослідження водних ресурсів Хмельницької області проведено у публікації Питуляк М. Р., Питуляк М. В. [16]. Водогосподарсько-екологічні проблеми Хмельницької області проаналізовано у праці Калин Б. М., Непиталюк С. А. [17]. Антропогенне навантаження водних екосистеми Тернопільської області досліджував Файфура В. В. [18]. Рекреаційне використання водних ресурсів представлено у публікаціях Чернюк Г., Царика Л. [19], Новицької С. Р. [20]. Аналіз та значення гідрологічних заповідних об'єктів Тернопільського Придністер'я подано у публікації Питуляк М. Р та інших [21, 22]. Дослідження водокористування в адміністративних районах Подільського регіону проведено Кузиком І.Р., Бицурою Л.О. [23, 24].

### **Об'єкт та методи дослідження**

Об'єктом дослідження є сучасний стан та особливості використання водних ресурсів Подільського регіону. Для дослідження водних ресурсів регіону використано загальнонаукові та спеціальні методи: системно-структурного аналізу, статистичний, узагальнення і систематизації, порівняльно-географічний, геоінформаційний, картографічний та моделювання.

Використання статистичного методу дає можливість проаналізувати динаміку використання водних ресурсів регіону та особливості галузевого водокористування.

### **Результати та обговорення**

Водні ресурси Подільського регіону представлені поверхневими і підземними водами. Аналіз використання водних ресурсів проведений на основі таких показників як водозабір з природних джерел, частка поверхневого підземного водозабору, використання свіжої води, структура використання водних ресурсів для різних потреб. Показники обсягів загального забору води у 2022 році в областях Подільського регіону знизилися в порівнянні з 2021 роком і стано-

Картографічний метод використаний для побудови картографічних моделей «Структура водозабору в Подільському регіоні», «Структура використання свіжої води», на їх основі проаналізувати територіальні відмінності у водокористування в межах регіону. Комплексне використання різних методів і підходів для дослідження водних ресурсів забезпечило досягнення поставленої мети.

Мета статті – дослідження стану водних ресурсів Подільського регіону та територіальних особливостей водокористування з метою оптимізації їх використання.

вили у Хмельницькій області – 96,9 млн. м<sup>3</sup>, у Тернопільській – 37,5 млн. м<sup>3</sup>, у Вінницькій – 88,1 млн. м<sup>3</sup>. Основною причиною зниження показників водозабору стало повномасштабне вторгнення країни агресора і зміна певних видів господарської діяльності.

Загальний забір води в областях Подільського регіону у 2021 році становив у Хмельницькій області – 111 млн. м<sup>3</sup>, у Тернопільській – 40,3 млн. м<sup>3</sup>, у Вінницькій – 94, 2 млн. м<sup>3</sup>. Такі показники очевидно

пов'язані як певними відмінностями в площі цих адміністративних одиниць, а також особливостями розвитку господарства (рис. 1).

Аналіз динаміки цього показника за 2020 – 2022 рр. визначає, що у Хмельницькій і Тернопільській областях у 2021 р. відбулося незначне зростання обсягів загального забору води, відповідно у 2022 р. – спад.

Така тенденція спостерігалася у всіх областях, що пов'язано, очевидно, з початком війни на території України (рис. 1).

Водні ресурси Подільського регіону формуються за рахунок підземного і поверх-

невого стоку. На території Хмельницької і Вінницької областей поверхневий водозбір здійснюється з басейнів рік Дніпра, Дністра, Південного Бугу.

У Хмельницькій області найбільший водозбір з р. Дніпро – 68,6 млн. м<sup>3</sup>, а у Вінницькій з Південного Бугу – 94,5 млн. м<sup>3</sup>. У Тернопільській області водозбір здійснюється з двох річкових басейнів (річок Дністер і Дніпро) – найбільший з басейну р. Дністер (30,7 млн. м<sup>3</sup>) [25 – 27].

Водні ресурси використовуються на різні потреби як з поверхневих так і підземних

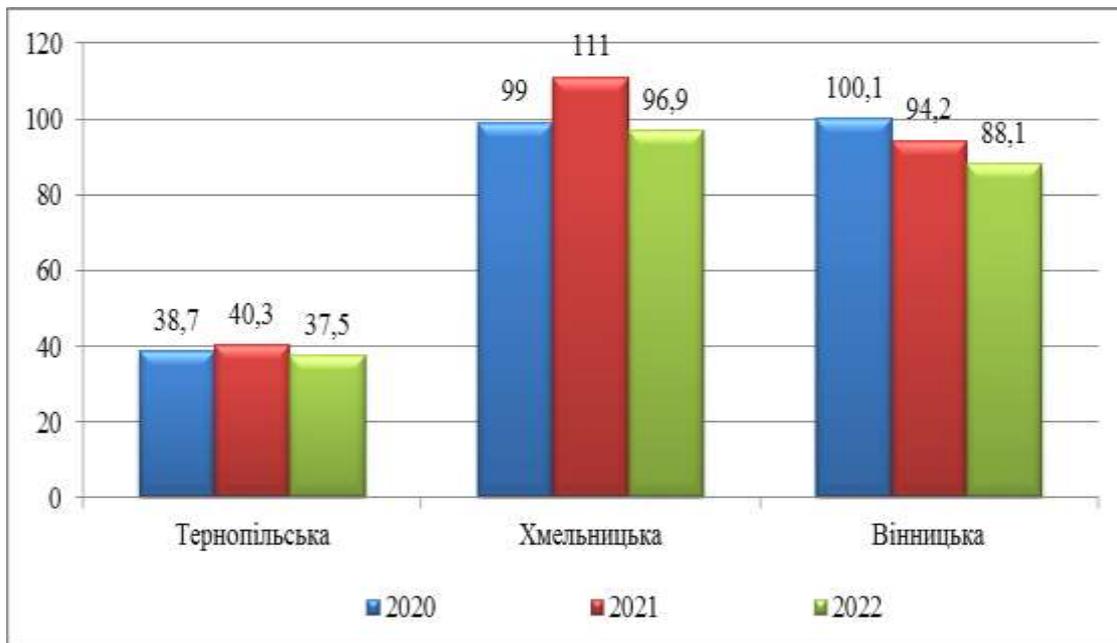


Рис. 1 - Динаміка забраної води з природних джерел (млн. м<sup>3</sup>) [ 25 – 27]  
Fig. 1 - Dynamics of water withdrawal from natural sources (million m<sup>3</sup>) [25 – 27]

джерел водопостачання. Найбільша частка вод з підземних джерел використовується у Тернопільській області і становить 54,4%. Цей показник нижчий у Хмельницькій області – 40,4%, найменше води з підземних джерел використовується у Вінницькій області – 17,3% (станом на 2022 р.) (рис. 2).

У Тернопільській області величина підземного водозбору впродовж 2020-2022 рр. залишалась майже незмінною – 21,4-20,1 млн. м<sup>3</sup> (54-52%). У Хмельницькій області обсяги підземного водозбору у два рази більші ніж у Тернопільській (39,1-40,4 млн. м<sup>3</sup>). Хоча частка в загальній структурі водозбору становить 40,4%. У Вінницькій області обсяги підземного водозбору також незначні, в порівнянні із Тернопільською областю, вони ще менші і становлять 15,0-15,3 млн. м<sup>3</sup> (рис. 3).

Відповідно, частка від загального водозбору становить всього 16,3%.

У Тернопільській області спостерігаються певні територіальні відмінності щодо структури водозбору з природних джерел. У Тернопільському і Чортківському районах переважає частка підземних вод у структурі водозбору (68,5 і 54,4%, відповідно). Найменша частка водозбору з підземних джерел у Кременецькому районі – 14,8%.

Тернопільська область виділяється величиною прогнозних ресурсів прісних підземних вод (ПРПВ) порівняно з іншими подільськими областями. Величина ПРПВ Тернопільщини значно перевищує показники Хмельницької та Вінницької областей (2206, 1963 і 885 тис. м<sup>3</sup>/добу відповідно). Водопостачання населених пунктів області

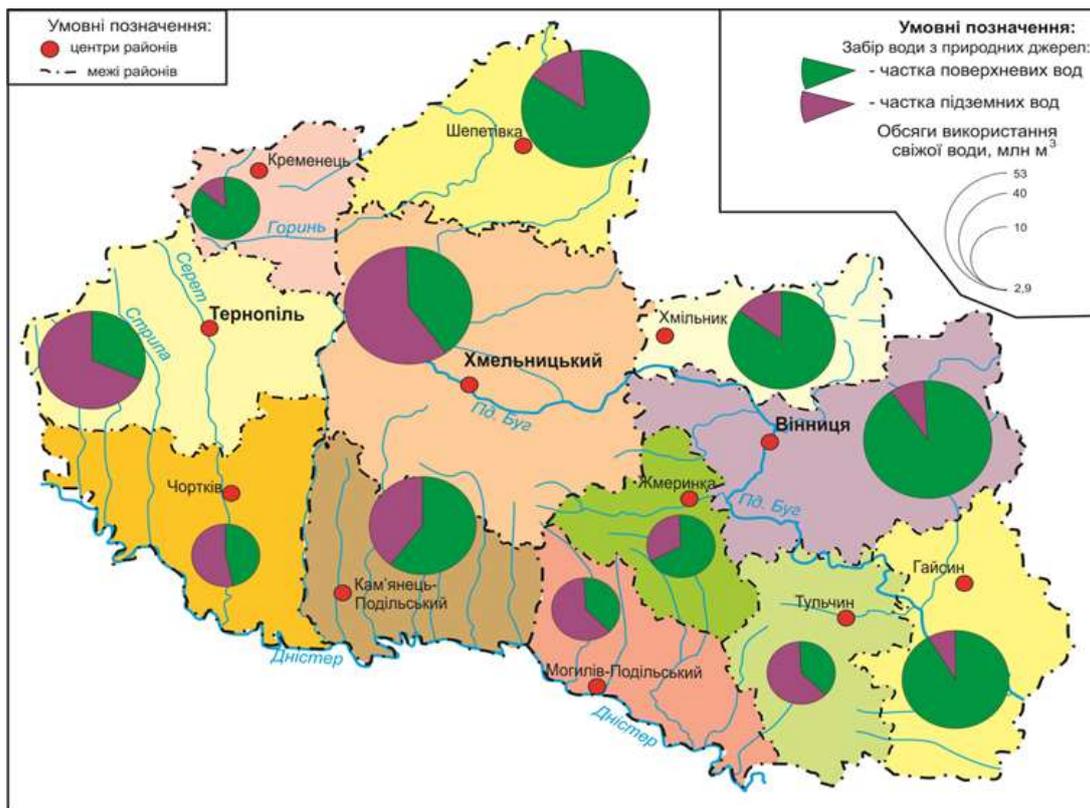


Рис. 2 – Структура водозабору адміністративних районів Подільського регіону

Fig. 2 – Water intake structure of the Podilia region administrative districts

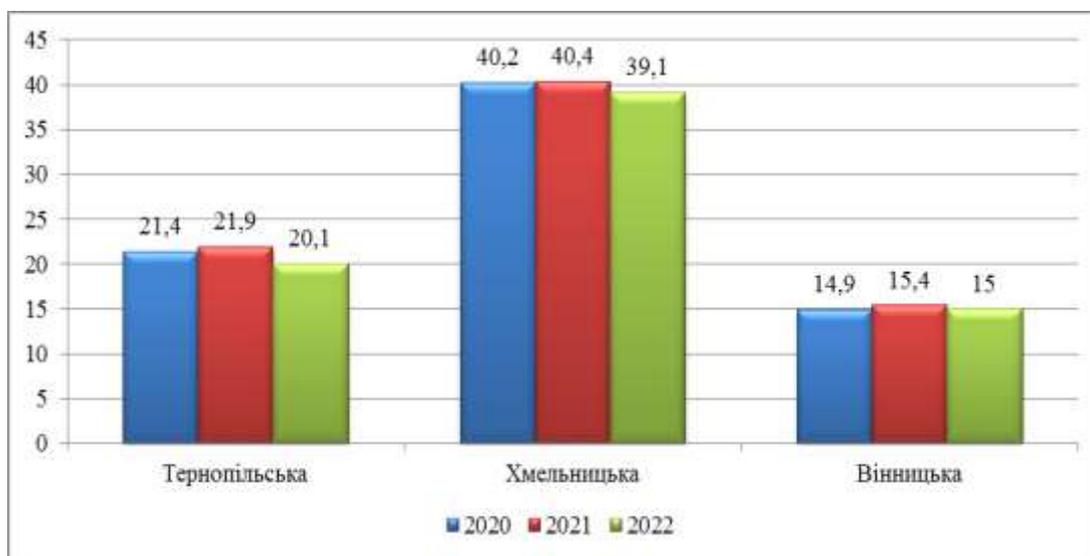


Рис. 3 – Динаміка підземного водозабору в адміністративних областях Подільського регіону (млн. м<sup>3</sup>)

Fig. 3 – Dynamics of groundwater intake of the Podilia region administrative areas (million m<sup>3</sup>)

здійснюється в основному з експлуатаційних запасів (на 89%). Найбільше підземних вод споживають такі міста як Тернопіль, Бережани, Борщів, Ланівці, Кременець [13].

Основним водоносним горизонтом, за рахунок якого в області здійснюється центра-

лізоване водопостачання є мергельно-крейдяна товща верхньої крейди, у меншій мірі силурійський та неогеновий горизонти [13].

У межах Волино-Подільського артезіанського басейну забруднення підземних вод носить локальний характер і спостері-

гається у свердловинах, побутових колодязях та каптованих джерелах. Підземні води четвертинного та неогенового водоносних горизонтів забруднені, в основному, нітрами, вміст яких в окремих колодязях сягає 500 мг/дм<sup>3</sup> при ГДК – 45 [13].

У Хмельницькій області більша частка води використовується за рахунок поверхневих вод (59,6%) і 40,4% становить водозабір з підземних джерел. На території області також прослідковується певна диференціація щодо водозабору підземних вод – у Шепетівському районі – 14,4%, Кам'янець-Подільському – 37%. В центральній частині області цей показник досить високий – 67,4% води використовується з підземних джерел. Динаміка цього показника в Хмельницькій області наступна: 40,2 млн. м<sup>3</sup> (2020 р.), 40,4 млн. м<sup>3</sup>, (2021 р.), 39,2 млн. м<sup>3</sup> (2022 р.). таким чином у 2022 р. спостерігається незначне зменшення водозабору за рахунок підземних вод, але й загальні обсяги водозабору за 2022 р. також зменшилися.

У Вінницькій області значна частка вод використовується для різних потреб за рахунок поверхневого водозабору. Лише 16,3% припадає на підземні води. В межах області підземні води використовуються в різному обсязі. Найбільша частка підземних вод використовується у Могилів-Подільському (63%) і Тульчинському (62%) районах, а найменша – у Гайсинському районі (8,1%). Якщо аналізувати обсяги підземних вод в області від загального водозабору то

найбільший він у Вінницькому – 4,3 млн. м<sup>3</sup> і Тульчинському – 3,0 млн. м<sup>3</sup> районах.

У межах регіону простежуються певні відмінності щодо обсягів та динаміки забору свіжої води, яка використовується на різні потреби. У 2021 році найбільше свіжої води використано у Хмельницькій області – 89,9 млн. м<sup>3</sup>, а найменше – у Тернопільській – 31,2 млн. м<sup>3</sup>. Така ж ситуація спостерігалась і 2022 році, хоча у Хмельницькій і Вінницькій областях загальне споживання свіжої води було на рівні 76,9 млн. м<sup>3</sup> і 69,2 млн. м<sup>3</sup> відповідно (рис. 4).

Вода витрачається різними споживачами на найрізноманітніші потреби. Однак переважна більшість цих витрат може бути зведена до основних категорій:

- витрата на господарсько-комунальні потреби;
- витрата на виробничі потреби.

Вагома частка води, що забирається комунальним господарством, повертається у водні об'єкти у вигляді стічних вод.

Перше місце за кількістю забраної води займають промислові об'єкти, адже вони є практично в кожному населеному пункті. Це і невеличкі заводи, наприклад цегельний, і заводи-велетні, вони можуть працювати і у три зміни [28].

Структура споживання свіжої води характеризується регіональними особливостями як в межах всього Подільського регіону так і в межах кожної області зокрема. У Вінницькій області найбільша частка свіжої

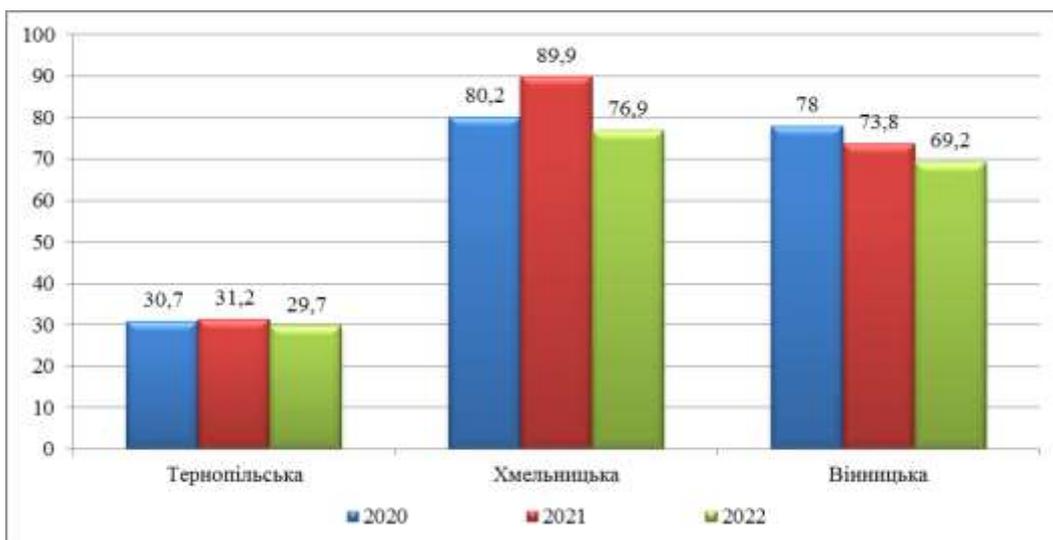


Рис. 4 – Динаміка використання свіжої води в Подільському регіоні (млн. м<sup>3</sup>) [ 25 – 27]

Fig. 4 – Dynamics of fresh water use in the Podolia region (million m<sup>3</sup>) [25 – 27]

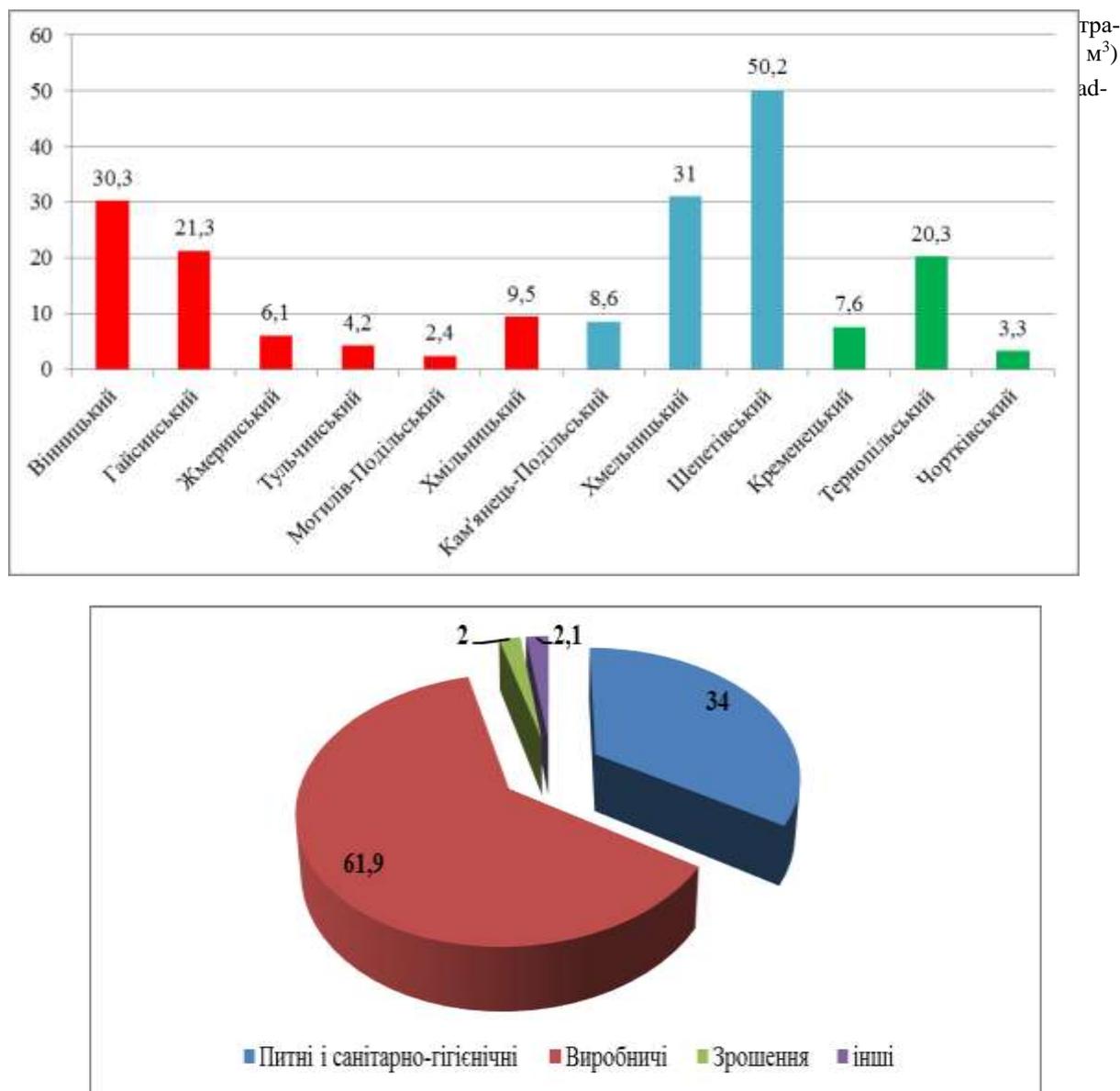


Рис. 6 – Структура використання свіжої води у Вінницькій області, % [25]

Fig. 6 – Structure of fresh water use in the Vinnytsia region, % [25]

води використовується на виробничі потреби – 61,9% (45,7 млн. м<sup>3</sup>), менша на питні та санітарно-гігієнічні потреби – 34,0% (25,1 млн. м<sup>3</sup>). На зрошення використовується 2% (1,5 млн. м<sup>3</sup>) (рис. 6) [29].

У Хмельницькій області спостерігається така ж закономірність: частка, свіжої води, яка використовується на виробничі потреби є найбільшою і становить 68,8% (61,8 млн. м<sup>3</sup>), на питні і санітарно-гігієнічні потреби – 29,1% (26,1 млн. м<sup>3</sup>). На зрошення в області використовується 0,8 млн. м<sup>3</sup> (0,9%) (рис. 7) [29].

У Тернопільській області співвідношення між цими складовими майже однако-

ве – 51,1% (115,97 млн. м<sup>3</sup>) води використовується на виробничі потреби і 47,7% (14,9 млн. м<sup>3</sup>) – на питні і санітарно-гігієнічні потреби. Незначна частка води використовується на зрошення: у Вінницькій області 2,0% від загального обсягу, у Хмельницькій і Тернопільській вона є меншою і ставить 0,9 і 0,6% відповідно (рис. 8) [29].

В межах Тернопільської області спостерігаються певні відмінності у структурі використання свіжої води. Так, у Кременецькому районі обсяг води, яка використовується на виробничі потреби є найбільшою – 6,7 млн. м<sup>3</sup> і становить (88,1%). У Тернопільському районі значна кількість води використовується на виробничі потреби –

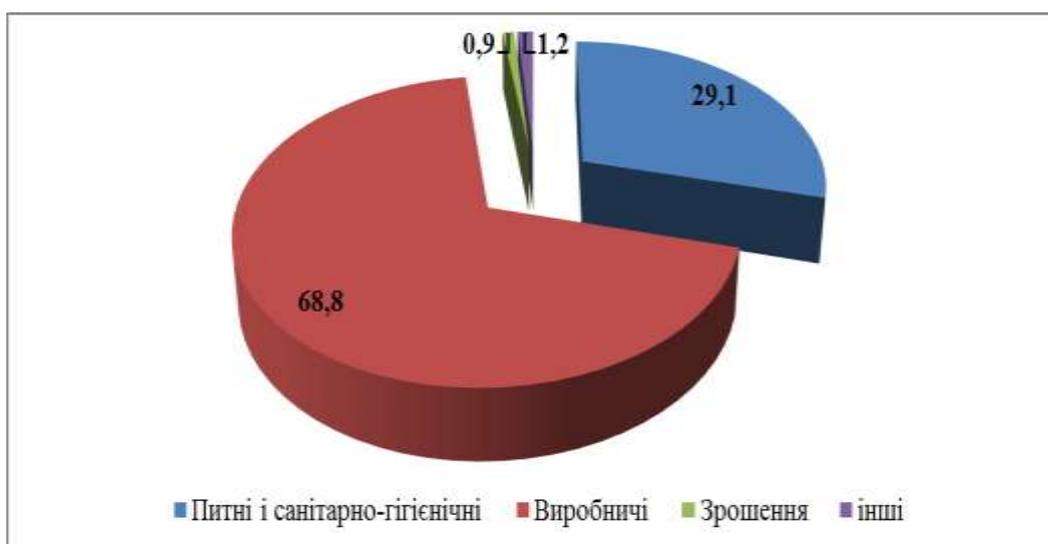


Рис. 7 – Структура використання свіжої води у Хмельницькій області, % [27]

Fig. 7 – Structure of fresh water use in the Khmelnytskyi region, % [27]

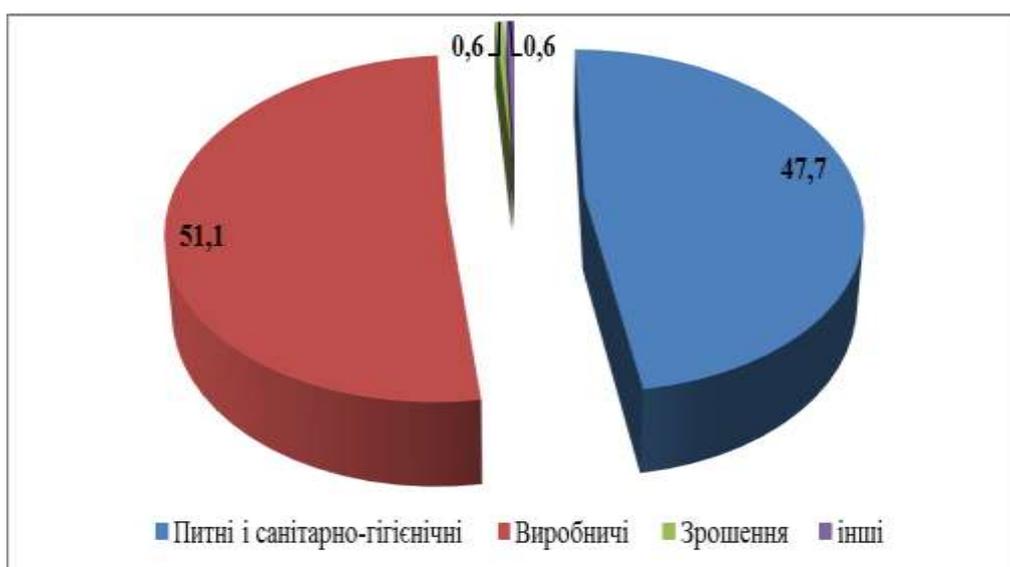


Рис. 8 – Структура використання свіжої води у Тернопільській області, % [26]

Fig. 8 – Structure of fresh water use in the Ternopil region, % [26]

7,7 млн. м<sup>3</sup> (37,8%). Деяко більший обсяг води у цьому районі використовується на питні і санітарно-гігієнічні потреби – 12,5 млн. м<sup>3</sup> (62,2%) (рис. 9) [29].

У Чортківському районі співвідношення між основними складовими використання води майже однакове: на питні і санітарно-гігієнічні потреби використовується 1,53 млн. м<sup>3</sup> (46,6%), а на виробничі – 1,57 млн. м<sup>3</sup> (47,8%). Але в цьому районі 5,5% (0,2 млн. м<sup>3</sup>) води використовується також на зрошення (рис. 9) [29].

На території Хмельницької області є також певні відмінності щодо структури використання свіжої води. В області найбільше води на виробничі потреби використовується у Шепетівському районі – 44,8 млн. м<sup>3</sup> (89,2%), менше у Хмельницькому – 15,4 млн. м<sup>3</sup> (49,6%) і найменше в Кам'янець-Подільському – 17,0 млн. м<sup>3</sup> (19,4%). У Кам'янець-Подільському районі на питні і санітарно-гігієнічні потреби використовується найбільша частка води – 73,3%, а в Шепетівському найменша – 10,3%. Найбільша частка води на

зрошення використовується в Кам'янець-Подільському районі – 6,8% (рис. 9) [29].

Використання води на потреби галузей господарства Подільського регіону в 2022 році становила 76,9 млн. м<sup>3</sup>, в тому числі: промисловість – 38,3 млн. м<sup>3</sup>; сільське господарство – 20,7 млн. м<sup>3</sup>; комунальне господарство – 16,1 млн. м<sup>3</sup>; інші галузі – 1,8 млн. м<sup>3</sup> [29].

В суббасейні річки Прип'ять (басейн Дніпра) найбільші об'єми забору поверхневої води впродовж року здійснювали ВП «Хмельницька АЕС», ТОВ «Понінківська картон-

но-паперова фабрика – Україна», ПрАТ «Теодіпольський цукровий завод», комунальне підприємство «Полонне тепловодопостачання», ТОВ «Зелений парк» м. Ізяслав, ПрАТ «Хмельницькрибгосп» та інші [27].

Найбільшими користувачами підземних вод в суббасейні річки Прип'ять (басейн Дніпра) є ВП «Хмельницька АЕС», Старокостянтинівське КП ВКГ «Водоканал», Шепетівське КП ВКГ, Красилівське КПВКГ, Славутське УВКГ, Теодіпольське ВУЖКГ [27].

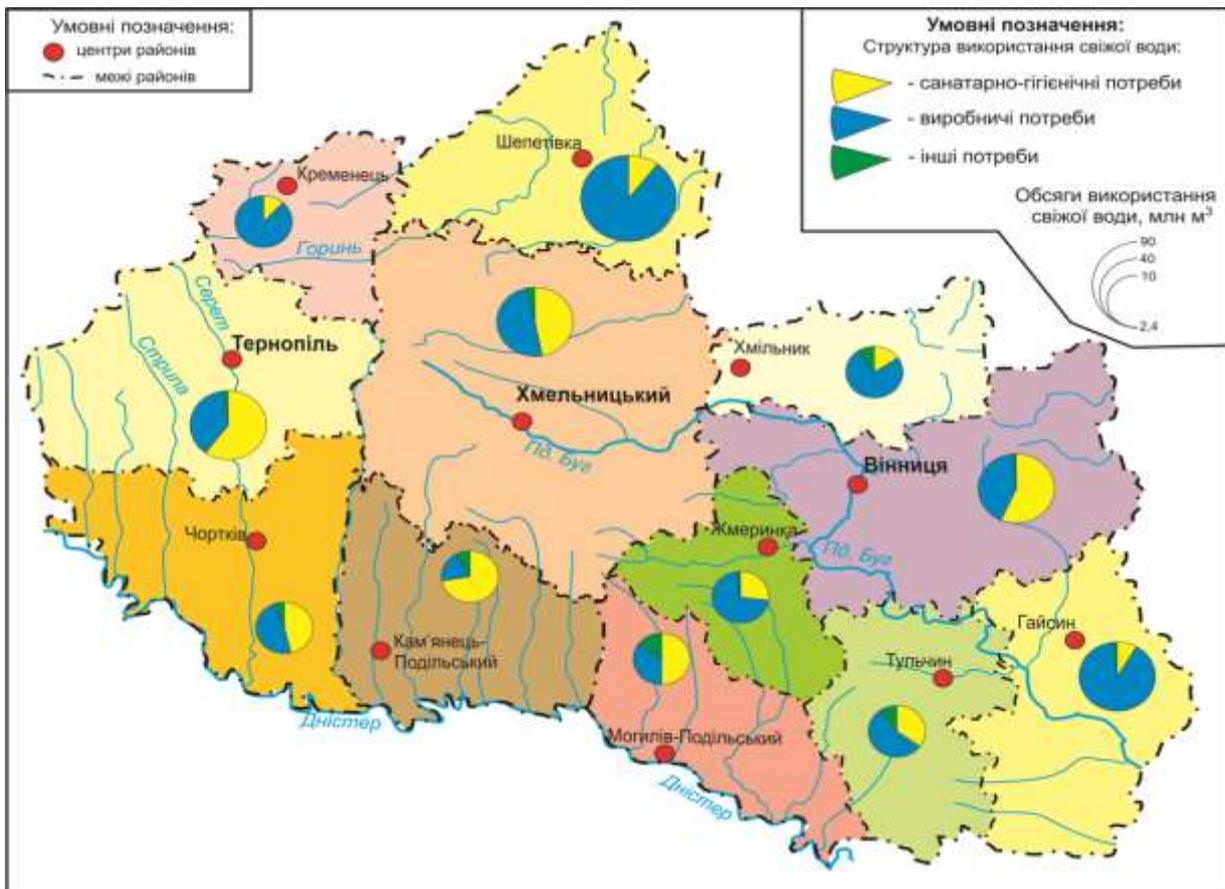


Рис. 9 – Структура використання свіжої води в адміністративних районах Подільського регіону

Fig. 9 – Structure of fresh water use of the Podilia region administrative districts

В басейні Дністра найбільші забори поверхневої води впродовж року здійснюють КП «Міськтепловоденергія» м. Кам'янець-Подільський, ТДВ «Городоцьке», ТОВ «Максфарм» с. Бабшин Кам'янець-Подільського району, ПрАТ «Хмельницькрибгосп», орендарі ставків та комунальні підприємства міст: «Міськтепловоденергія» м. Кам'янець-Подільський, Волочиське КП ВКГ «Джерело», КП «Міськводоканал» м. Дунаївці, КП «Городокомунсервіс», солодовий завод ПрАТ «Оболонь» смт Чемерівці,

філія «Птахофабрика «Авіс» ПрАТ «Агрохолдинг Авангард» с. Гуменці Кам'янець-Подільського району [27].

В сільській місцевості водоспоживання, в основному, здійснюється з криниць та в меншій мірі із комунальних водопроводів. Проте, у зв'язку із сухим літньо-осіннім періодом, останні кілька років в регіоні спостерігається дефіцит води в криницях, активізувався процес будівництва сільських водопроводів. Населення регіону забезпечується питною підземною водою, але в Придністер'ї яке

відноситься до районів з дефіцитом підземних вод та на території Хмельницького Полісся (Шепетівський район), де великий вміст у підземних водах радонових сполук, водопостачання питною водою проводиться за рахунок поверхневих водозаборів, міста Кам'янець-Подільський та Полонне [27].

У Вінницькій області найбільша частка води використовується на виробничі потреби і становить 61,9%. В області найбільші об'єми води на виробничі потреби використовуються у Гайсинському – 19,2 млн. м<sup>3</sup> (90,2%) і Вінницькому 12,1 млн. м<sup>3</sup> (40%) районах. На питні і санітарно-гігієнічні потреби найбільша частка води використовується у Вінницькому – 57,4% і Могилів-Подільському – 50,6% районах. На зрошення максимальна частка води використовується у Могилів-Подільському – 9,0% і Хмельницькому – 7,4% районах [25].

Найбільшими водоспоживачами у Вінницькій області є КП «Вінницяоблводоканал» м. Вінниця, яке використовує 21% води від загального використання, ПАТ «ДТЕК «Західенерго» ВП Ладизинська ТЕС м. Ладизин – 15%, філія «Птахокомплекс» ТОВ «Вінни-

цька птахофабрика» с. Оляниця Тростянецького району – 4% [25].

У розрізі басейнів річок найбільше води використовують у басейні річки Південний Буг. В розрізі підприємств: КП «Вінницяоблводоканал» м. Вінниця (26% від загального обсягу водокористування; ПАТ «ДТЕК «Західенерго» ВП Ладизинська ТЕС м. Ладизин (18%), філія «Птахокомплекс» ТОВ «Вінницька птахофабрика» с. Оляниця Тростянецького району (5%). У басейні річки Дністер в розрізі підприємств найбільшими водокористувачами є ТОВ «АМГ Миронівське» с. Петрашівка Ямпільського району, яке використовує 11% від загального обсягу водокористування, у Могилів-Подільському – 9% ТОВ «Агрокомплекс «Зелена долина» смт. Томашпіль, ТОВ «Український волосський горіх» с. Кременне Могилів-Подільського району та ТОВ «Наталка» с. Цекинівка Ямпільського району по 2%. У басейні річки Дніпро є підприємство «Погребищерибгосп», яке використовує 40% від загального використання, ВП Київське ТУ філія ЦБМЕС ПАТ «УЗ» м. Козятин – 18%.

### Висновки

Встановлено, що сучасний стан водних ресурсів Подільського регіону представлений міждержавними, регіональними, національними і місцевими ресурсами. Водні ресурси Подільського регіону включають поверхневі та підземні води. Обсяги загального водозабору в адміністративних областях Подільського регіону мають певні відмінності: у Хмельницькій і Вінницькій областях вони значно більші ніж у Тернопільській (2,7-2,8 рази). Найбільші показники загального водозабору за період 2020-2022 років зафіксовано у 2021 році у Хмельницькій області – 111,0 млн. м<sup>3</sup>, а найнижчий у Тернопільській – 40,3 млн. м<sup>3</sup>.

Аналіз динаміки забраної води з природних джерел упродовж цього періоду дає підстави стверджувати про незначний спад обсягів водозабору у всіх областях у 2022 р. (на 2,8 млн. м<sup>3</sup> у Тернопільській області, на 14,1 млн. м<sup>3</sup> – у Хмельницькій і на 0,6 млн. м<sup>3</sup> – у Вінницькій).

Дослідження структури забраної води з різних джерел (поверхневих, підземних) також дало можливість з'ясувати певні відмінності як в регіоні так і в межах окремих областей. У Тернопільській області частка забраної води з підземних джерел становить 54,4% і є найвищою у Подільському регіоні. У Східній частині Поділля – у Вінницькій області

вона найменша – 16,3%, що пов'язано з прогнозними запасами прісних підземних вод. У Хмельницькій області обсяги використання підземних вод є найвищими і становлять 39-40 млн. м<sup>3</sup>. Найнижчі показники підземного водозабору спостерігаються у Вінницькій області – 15,3 млн. м<sup>3</sup>.

В межах адміністративних областей Подільського регіону спостерігаються певні відмінності щодо загальних обсягів використання свіжої води, а також її використання на різні потреби. Найбільші обсяги споживання свіжої води простежуються у Хмельницькій області. У 2021 році цей показник становив 89,9 млн. м<sup>3</sup>. Найменші обсяги використання свіжої води у Тернопільській області 29,7-31,2 млн. м<sup>3</sup>. Щодо динаміки цього показника упродовж 2020-2022 років, то максимальні показники спостерігалися у 2021 р. Найбільше свіжої води використано у 2022 році, у Шепетівському (33,6 млн. м<sup>3</sup>), Хмельницькому (34,1 млн. м<sup>3</sup>), Вінницькому (27,4 млн. м<sup>3</sup>), Гайсинському (20,3 млн. м<sup>3</sup>) і Тернопільському (19,4 млн. м<sup>3</sup>) районах. У всіх цих районах значна частка була використана на виробничі потреби: у Гайсинському – 90,2%, Шепетівському – 89,2%, Хмельницькому – 49,6%, Кременецькому – 88,1%. Це пов'язано з функціонуванням на території зазначених адміні-

стративних районів промислових та енергетичних об'єктів. Максимальна частка води на санітарно-гігієнічні потреби використана у Вінницькому – 57,4%, Кам'янець-Подільському – 72,3%, Тернопільському – 61,2% і Могилів-Подільському – 50,6% районах. Галузева структура споживання води у Поділь-

ському регіоні має свої особливості і територіальні відмінності, які залежать від соціальних та економічних чинників. Вплив цих чинників на формування водогосподарської галузі регіону залишається перспективою подальших досліджень.

### Конфлікт інтересів

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

### Список використаної літератури

1. Хільчевський В. К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. 2021. №1(59). С. 17-27. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.2>
2. Кілінська К.Й., Заячук М.Д., Сухий П.О., Смик О.С., Брик С.Д., Тіміш Р.Я. Перспективна модель природно-господарської різноманітності Карпато-Подільського регіону України у контексті державних і регіональних інтересів, *Журнал з геології, географії та екології*. 2024. 32(4), С. 774-786. DOI: <https://doi.org/10.15421/112369>
3. Tsaryk L. P., Kovalchuk I.P., Tsaryk P.L, Zhdaniuk B.S., Kuzyk I R. Basin systems of small rivers of Western Podillya: state, change tendencies, perspectives of nature management and nature protection optimization. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2020. Vol. 29. N 3. P. 606-620. DOI: <https://doi.org/10.15421/112055>
4. Grasso S., Claps P., Ganora D., Liberto A. (2021). A Web-based open-source geoinformation tool for regional water resources assessment. *Water Resources Management*. Vol. 35. P.675–687. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02750-x>
5. Liu X., Wang X., Guo H., An X. Benefit allocation in shared water-saving management contract projects based on modified expected Shapley value. *Water Resources Management*. 2021. Vol. 35. P.39–62. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02705-2>
6. Pallavi S., Yashas S., Anilkumar K., Shahmoradi B., Shivaraju H. Comprehensive understanding of urban water supply management: towards sustainable water-socio-economic-health-environment Nexus. *Water Resources Management*. 2021. Vol. 35. P. 315–336. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02734-x>
7. Dalcin A. P., Marques G. F. Integrating water management instruments to reconcile a hydro-economic water allocation strategy with other water preferences. *Water Resources Research*. 2020. Vol. 56. N 5. e2019WR025558. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019WR025558>
8. Mortazavi-Naeini M., Bussi G., Elliott J. A., Hall J. W., Whitehead P. G. Assessment of risks to public water supply from low flows and harmful water quality in a changing climate. *Water Resources Research*. 2019. Vol. 55. N12. P. 10386-10404. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018WR022865>
9. Hall J. W., Mortazavi-Naeini M., Borgomeo E., Baker B., Gavin H., Gough M., Harou J. J., Hunt D., Lambert C., Piper B., Richardson N., Watts G. Risk-based water resources planning in practice: a blueprint for the water industry in England. *Water and Environment Journal*. 2019. Vol. 34. N3. P. 441-454. DOI: <https://doi.org/10.1111/wej.12479>
10. Wu D. Research and application of neural network-based intelligent water-saving systems. *Water and Environment Journal*. 2024. Vol. 38. N 2. P. 329-340. DOI: <https://doi.org/10.1111/wej.12918>
11. *Географія Тернопільської області: монографія: в 2-х т. Т. 1. Природні умови та ресурси. 2-е вид., перероблене і доповнене. Тернопіль. Осадца Ю. В., 2020. 520 с.*
12. Свинко Й. М. *Нарис про природу Тернопільської області: геологічне минуле, сучасний стан*. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2007. 192 с.
13. Сивий М. Я. *Мінеральні ресурси Поділля: конструктивно-географічний аналіз і синтез*. Монографія. Тернопіль: Підручники і посібники, 2004. 656 с.
14. Руденко В. П. *Географія природно-ресурсного потенціалу України. У 3-х частинах*. Чернівці: Чернівецький національний університет, 2010. 552 с.
15. Журба І. Є. Головні напрями раціонального використання природно-ресурсного потенціалу Хмельницької області в умовах трансформації економічної системи України. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2023. №1(100). С. 10-18.

- ного університету. *Економічні науки*. 2016. №2(1). С. 205-209. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/handle/123456789/4772>
16. Питуляк М. Р. Питуляк М. В. Сучасний стан та особливості використання водних ресурсів Хмельницької області. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: географія*. 2019. № 2 (47). С. 156-163. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.19.3.19>
  17. Калин Б. М., Непиталюк С. А. Аналіз водогосподарсько-екологічних проблем Хмельницької області. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2020. №92. С. 87-92. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9215>
  18. Файфура В. Обґрунтування критичних меж антропогенного навантаження на водні екосистеми Тернопільської області. *Регіональні аспекти розвитку продуктивних сил України*, 2014, №19. С. 58-63. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/5485/1.pdf>
  19. Царик Л., Чернюк Г. *Природні рекреаційні ресурси: методи оцінки та аналізу (на прикладі Тернопільської області)*. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 188 с.
  20. Новицька С. Водні рекреаційні ресурси: еколого-географічний аналіз і оцінювання. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2007. №1. С. 158-168. URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/24904/1/Novitsca.pdf>
  21. Питуляк М.Р., Питуляк М.В., Кузик І.Р., Стецько Н.П., Хом'як Н.В., Жулканич Б.М. Гідрологічні заповідні об'єкти Тернопільського Придністер'я: екологічна роль та використання. *Науково-практичний журнал Екологічні науки*. 2022. №6 (45). С. 139-143. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.22>
  22. Царик Л., Царик П., Царик В. Заповідні гідрологічні об'єкти: їх стан і роль в умовах посиленого антропогенезу і аридизації клімату. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: географія*, 2020. №2. С. 194-204. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.20.2.20>
  23. Кузик І. Р., Бицюра Л. О. Порівняльний аналіз структури водокористування адміністративних районів Подільського регіону. *Подільські читання-2023: комунікаційні стратегії для реалізації геоecологічних ініціатив та проєктів: матеріали міжнародної наук.-практ. конф. присвяченої 30-річчю першого набору на спеціальність «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» у Тернопільському національному педагогічному університеті ім. В. Гнатюка (2-3 листопад 2023 р.)*. За ред. проф. Л.П. Царика. Тернопіль: ТНПУ, 2023. С. 95-99. URL: [http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/30994/1/23\\_Kyzuk\\_Butsyra.pdf](http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/30994/1/23_Kyzuk_Butsyra.pdf)
  24. Кузик І., Мельник Ю. Водокористування як чинник формування екологічної безпеки басейну річки Нічлава. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2023. №1. С. 240-247. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.26>
  25. *Екологічний паспорт Вінницької області*. 2023. URL: <https://www.vin.gov.ua/upr-ter/stan-dovkillia/239-ekolohichni-pasporty> (дата звернення 12.03.2024)
  26. *Екологічний паспорт Тернопільської області*. 2022. URL: [https://ecology.te.gov.ua/media/uploads\\_2022.pdf](https://ecology.te.gov.ua/media/uploads_2022.pdf) (дата звернення 23.03.2024)
  27. *Екологічний паспорт Хмельницької області*. 2022. URL: <https://www.adm-km.gov.ua/wp-content/uploads/2022/> (дата звернення 22.03.2024)
  28. Левківський С. С., Падун М. М. *Раціональне використання і охорона водних ресурсів: підруч. для студ. вузів*. Київ: Либідь, 2006. 280 с.
  29. Державне агентство водних ресурсів України. *Державний облік водокористування*. 2020. URL: <https://www.davr.gov.ua/derzhavnij-oblik-vodokoristuvannya> (дата звернення 25.03.2024).

Стаття надійшла до редакції 22.04.2024

Стаття рекомендована до друку 26.05.2024

**A. M. SHUVAR**, DSc (Agriculture),

Head of the Department of Agribiotechnology

e-mail: [antin@ukr.net](mailto:antin@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6016-0896>

*Western Ukrainian National University*

11, Lvivska str, Ternopil, 46025, Ukraine

**M. R. PYTULYAK**, PhD (Geography),

Associate Professor of the Department of Geography and its Teaching methods

e-mail: [myroslava.pytuliak@gmail.com](mailto:myroslava.pytuliak@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5565-4915>

*Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University*

2, Махыма Крывоніса str., Ternopil, 46027, Ukraine

**M. V. PYTULYAK**, PhD (Geography),

Associate Professor of the Department of Agribiotechnology

e-mail: [mykola.pytuliak@gmail.com](mailto:mykola.pytuliak@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9446-9859>

*Western Ukrainian National University*

11, Lvivska str, Ternopil, 46025, Ukraine

**S. I. HUNKO**, Deputy Director

Educational and Scientific Institute of Innovation, Natural Resource Management, and Infrastructure,

Lecturer at the Department of Agribiotechnology

e-mail: [s.i.gunko@ukr.net](mailto:s.i.gunko@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-5129-0266>

*Western Ukrainian National University*

11, Lvivska str, Ternopil, 46025, Ukraine

**I. R. KUZYK**, PhD,

Assistant of the Department of Geoecology and Methods of Teaching Environmental Sciences

e-mail: [kuzyk@tnpu.edu.ua](mailto:kuzyk@tnpu.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4491-1071>

*Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University*

2, Махыма Крывоніса str., Ternopil, 46027, Ukraine

## WATER RESOURCES OF THE PODILIA REGION AND THEIR USE

**Purpose.** To analyze the state of water resources of the Podilsk region and the territorial features of water use in order to optimize their use.

**Methods.** Methods of system-structural analysis, statistical, cartographic, modeling.

**Rresults.** The current state and peculiarities of the use of water resources in the territory of the administrative districts of the Podilsk region were analyzed according to the indicators of total water intake from natural water bodies, the use of fresh water in general and the sectoral structure of water use. The main consumers of water resources in the region are industrial enterprises and housing and communal services. The largest share of underground water intake is in Ternopil Oblast, and the smallest in Vinnytsia, which is related to natural reserves of underground water. The largest volumes of water intake from natural water bodies and the use of fresh water are observed in the Khmelnytskyi region, and the smallest - in the Ternopil region. The analysis of the dynamics of water use indicators over the period 2020-2022 determined a decrease in the volume of water intake, especially in 2022, in all regions of the region. The largest share of water is used in the regions of the region for production needs.

**Conclusions.** The dynamics of water consumption in all regions of the region has a tendency to decrease the volume of water intake. There are certain differences in the amount of surface and underground water intake. For many administrative districts and territorial communities, the problem of rational use of water resources is relevant.

**KEY WORDS:** *water resources, water use, water intake, surface water, ground water, sectoral structure of water use*

### References

1. Khilchevskiy, V. K. (2021). Modern characteristics of the water bodies in Ukraine: watercourses and reservoirs. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, (1(59)), 17-27. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.2> (in Ukrainian)
2. Kilinska, K., Zaiachuk, M., Sukhyj, P., Smyk, O., Bryk, S., & Timish, R.A promising model of natural-economic diversity in the Carpathian-Podillia region in Ukraine in the context of national and regional interests. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 32(4), 774-786. <https://doi.org/10.15421/112369>
3. Tsaryk, L.P., Kovalchuk, I.P., Tsaryk, P.L., Zhdaniuk, B.S., & Kuzyk, I. R.. (2020). Basin systems of small rivers of Western Podillya: state, change tendencies, perspectives of nature management and nature

- protection optimization. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(3), 606-620. <https://doi.org/10.15421/112055>
4. Grasso S., Claps P., Ganora D., & Libertino A. (2021). A Web-based open-source geoinformation tool for regional water resources assessment. *Water Resources Management*, 35, 675–687. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02750-x>
  5. Liu, X., Wang, X., Guo, H., & An, X. (2021). benefit allocation in shared water-saving management contract projects based on modified expected Shapley value. *Water Resources Management*, 35, 39–62. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02705-2>
  6. Pallavi, S., Yashas, S., Anilkumar, K., Shahmoradi B., & Shivaraju H. (2021). Comprehensive understanding of urban water supply management: towards sustainable water-socio-economic-health-environment Nexus. *Water Resources Management*, 35, 315–336. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02734-x>
  7. Dalcin, A. P., & Marques, G. F. (2020). Integrating water management instruments to reconcile a hydro-economic water allocation strategy with other water preferences. *Water Resources Research*, 56(5), e2019WR025558. <https://doi.org/10.1029/2019WR025558>
  8. Mortazavi-Naeini M., Bussi G., Elliott J. A., Hall J. W., Whitehead P. G. (2019). Assessment of risks to public water supply from low flows and harmful water quality in a changing climate. *Water Resources Research*, 55(12), 10386-10404. <https://doi.org/10.1029/2018WR022865>
  9. Hall, J. W., Mortazavi-Naeini, M., Borgomeo, E., Baker, B., Gavin, H., Gough, M., Harou, J. J., Hunt, D., Lambert, C., Piper, B., Richardson, N., & Watts, G. (2019). Risk-based water resources planning in practice: a blueprint for the water industry in England. *Water and Environment Journal*, 34(3), 441-454. <https://doi.org/10.1111/wej.12479>
  10. Wu, D. (2024). Research and application of neural network-based intelligent water-saving systems. *Water and Environment Journal*, 38(2), 329-340. <https://doi.org/10.1111/wej.12918>
  11. *Geography of the Ternopil region: monograph: in 2 vols. Vol. 1: Natural conditions and resources.* (2020). Ternopil. Osadtsa. (in Ukrainian)
  12. Svyenko, Y. M. (2007). *Essay on the nature of the Ternopil region: geological past, current state.* Ternopil: Educational book – Bogdan. (in Ukrainian)
  13. Syvyi, M. Ya. (2004). *Mineral resources of the Podillia: constructive and geographical analysis and synthesis.* Monograph. Ternopil: Textbooks and manuals. (in Ukrainian)
  14. Rudenko, V.P. (2005). *Geography of the Ukraine natural resource potential.* In 3 parts. Chernivtsi: Chernivtsi National University. (in Ukrainian)
  15. Zhurba, I. (2016). Main trends of the management of natural resource potential of the Khmelnytsky region in conditions of the transformation of Ukraine's economic. *Bulletin of Khmelnytsky National University. Economic Sciences*. 2(1), 205-209. Retrieved from <https://elar.khmnmu.edu.ua/handle/123456789/4772> (in Ukrainian)
  16. Pytuliak, M. R., & Pytuliak, M. V. (2019). Current state and peculiarities of water resources use in Khmelnytskyi region. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, (2), 156-163. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.19.3.19> (in Ukrainian)
  17. Kalyn, B. M., & Nepytyaliuk, S. A. (2020). Analysis of water-ecological problems of Khmelnytsk region. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences*, (92), 87-92. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9215> (in Ukrainian)
  18. Faifura, V. (2014). Substantiation of critical limits of anthropogenic load on aquatic ecosystems of Ternopil region. *Regional aspects of the development of productive forces of Ukraine*, 19, 58-63. Retrieved from <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/5485/1.pdf> (in Ukrainian)
  19. Tsaryk, L., & Cherniuk, G. (2001). *Natural recreational resources: methods of assessment and analysis (on the example of Ternopil region).* Ternopil: Textbooks and manuals. (in Ukrainian)
  20. Novytska, S. (2007). Waters recreational resources: ecologi-geographical analysis and evaluation. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, (1), 158-168. Retrieved from <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/24904/1/Novytska.pdf> (in Ukrainian)
  21. Pytuliak, M.R., Pytuliak, M.V., Kuzyk, I.R., Stetsko, N.P., Homyak, N.V., & Zhulkanych, B.M. (2022). Hydrological protected areas of Ternopil region: ecological role and use. *Scientific and practical journal Ecological Sciences*, (6(45)), 139-143. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.22> (in Ukrainian)
  22. Tsaryk, L., Tsaryk, P., & Tsaryk, V. (2020). Reserved hydrological objects: their condition and role in the conditions of enhanced anthropogenesis and climate aridization. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, 2, 194-204. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.20.2.20> (in Ukrainian)
  23. Kuzyk, I., & Bytsura, L. (2023). Comparative analysis of the structure of water use in the administrative districts of the Podillia region. *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference Dedicated to the 30th anniversary of the First Enrolment in the Speciality «Ecology, Environmental Protection and*

- Sustainable Nature Management» at TNPU: Podilski readings-2023: communication strategies for the implementation of geo-environmental initiatives and projects.* L.P. Tsaryk (Ed.). Ternopil. 95-99. Retrieved from [http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/30994/1/23\\_Kyzuk\\_Butsyra.pdf](http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/30994/1/23_Kyzuk_Butsyra.pdf) (in Ukrainian)
24. Kuzyk, I., & Melnyk, Y. (2023). Pollution of the Nichlava river as a factor of ecological safety of its basin. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, (1), 240-247. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.26> (in Ukrainian)
25. *Ecological passport of the Vinnytsia region.* (2023). Retrieved from <https://www.vin.gov.ua/upr-ter/stan-dovkillia/239-ekolohichni-pasporty> (in Ukrainian)
26. *Ecological passport of the Ternopil region.* (2022). Retrieved from [https://ecology.te.gov.ua/media/uploads\\_2022.pdf](https://ecology.te.gov.ua/media/uploads_2022.pdf) (in Ukrainian)
27. *Ecological passport of the Khmelnytskyi region.* (2022). Retrieved from <https://www.adm-km.gov.ua/wp-content/uploads/2022/> (in Ukrainian)
28. Levkivsky, S. S., & Padun, M. M. (2006). *Rational use and protection of water resources: a textbook for university students.* Kyiv: Lybid. (in Ukrainian)
29. *State accounting of water use.* (2020). State Agency of Water Resources of Ukraine. Retrieved from <https://www.davr.gov.ua/derzhavnij-oblik-vodokoristuvannya> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 22.04.2024

The article is recommended for printing 26.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-03>

УДК 504.062

**А. О. АЧАСОВА** канд. біол. наук, доц.,  
науковий співробітник лабораторії дистанційного зондування та педометрики  
e-mail: [achasova.alla@vumop.cz](mailto:achasova.alla@vumop.cz) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6294-2445>

*Науково-дослідний інститут меліорації та охорони ґрунтів*  
вул. Забовжеска, 250, м. Прага, 15600, Чеська Республіка

**А. Б. АЧАСОВ**, д-р с.-г. наук, проф.,  
в.о. завідувача кафедри екології та менеджменту довкілля  
e-mail: [achasov.ab@gmail.com](mailto:achasov.ab@gmail.com) ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5009-7184>

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

## ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ЗЕЛЕНИЙ КУРС ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ

З січня 2020 року Європейський Союз розпочав реалізацію Європейської зеленої угоди - комплексної програми переходу до нових екологічних стандартів у всіх сферах економіки з метою зробити Європу першим вуглецево нейтральним континентом. З огляду на Європейські амбіції України, для неї важливо розуміти вимоги зеленої угоди і оцінювати можливості врахування цих вимог при повоєнній відбудові країни.

**Мета.** Розглянути вимоги та актуальні досягнення в реалізації Європейського зеленого курсу з огляду на перспективи повоєнного відновлення України.

**Результати.** На базі нормативних документів Європейського Союзу, поточних тематичних звітів, статистичних даних та інших публікації з відкритих джерел проводиться аналіз основних складових Європейської Зеленої Угоди в контексті планів та актуальних досягнень з їх реалізації за наступними напрямками: законодавче забезпечення, система торгівлі викидами, механізм регулювання викидів вуглецю на кордоні ЄС, транспорт, енергетика, будівництво, сільське господарство та землекористування, відтворення екосистем та біорізноманіття, фінансове забезпечення та екологічна освіта та наука. Розглядаються деякі перспективні напрями повоєнного відновлення України в контексті зеленого курсу.

**Висновки.** Незважаючи на гостру критику Європейського зеленого курсу, він є життєво необхідним для подолання найгострішої в історії екологічної кризи, що загрожує сталому розвитку, а можливо й самому існуванню людства. За перші 3 роки впровадження Зеленої Угоди вже досягнуто значних успіхів по скороченню викидів парникових газів, хоча й існують певні труднощі та перешкоди. Україна, має значний потенціал щодо повоєнного відновлення енергетики та промисловості із урахуванням екологічних вимог, однак це буде потребувати значних інвестицій.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *Європейський зелений курс, зміна клімату, зелене зростання, скорочення викидів, альтернативна енергетика, екологічна освіта, вуглецеве землеробство, сталий розвиток*

**Як цитувати:** Ачасова А. О., Ачасов А. Б. Європейський зелений курс та перспективи для України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 33-56. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-03>

**In cites:** Achasova, A. O., & Achasov, A. B. (2024). The European Green Deal and prospects for Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (41), 33-56. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-03> (in Ukrainian)

### **Вступ**

The European Green Deal (EGD) - Європейський зелений курс, або ж в іншому перекладі «зелена угода», був прийнятий Європейським парламентом 11.12.2019 [1]. EGD це комплекс взаємопов'язаних політичних

ініціатив, висунутих Європейською Комісією із загальною метою зробити Європейський континент кліматично нейтральним до 2050 року шляхом кардинальної трансформації фактично всіх галузей економіки.

© Ачасова А. О., Ачасов А. Б., 2024



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

Основною метою Зеленого курсу, яка декларується, є поступове скорочення сумарних викидів парникових газів (GHG) на 55% до 2030 року та до 2050 року досягнення повної кліматичної нейтральності, тобто нульового рівня викидів. Проміжною метою є скорочення викидів на 90% к 2040 року. «Кліматично нейтральний» та «нульові викиди» - це поняття, які мають на увазі не повну відсутність надходження парникових газів в атмосферу, бо це за законами природи неможливо, а нульовий баланс викидів. Тобто кількість речовин, що надходять до атмосфери, має дорівнювати кількості зв'язаних (поглинутих) речовин за той самий період часу в перерахунку на певні умовні одиниці. Для оцінки викидів парникових газів використовують перерахунок на еквівалент CO<sub>2</sub> з використанням коефіцієнтів відповідності, запропонованим міжнародною групою експертів зі змін клімату IPCC [2].

### *Результати та обговорення*

Чому Європа вирішила стати першим кліматично нейтральним континентом? Зелена угода почала свою дію ще до оприлюднення результатів 6 оціночного звіту IPCC в якому провідні науковці світу на основі фактичних спостережень та кліматичних моделей довели, що світ наблизився до точки необернення, коли людству вже неможливо буде суттєво вплинути на глобальну зміну клімату та боротися із глобальним потеплінням [4]. Однак вже попередні 5 циклів експертних оцінок IPCC та сукупність всіх наявних даних кліматичних спостережень, зведені у поточні звіти IPCC вказували на гостру кліматичну екологічну кризу в якій опинилося людство у зв'язку із неухильним зростанням глобальних температур у 21 сторіччі. Вже стало зрозумілим, що як і кожна глобальна криза, зміна клімату ставить людство перед жорстким вибором – або змінювати звичний спосіб існування переходячи на принципово новий рівень виробництва, або незмінним шляхом рухатись до загибелі.

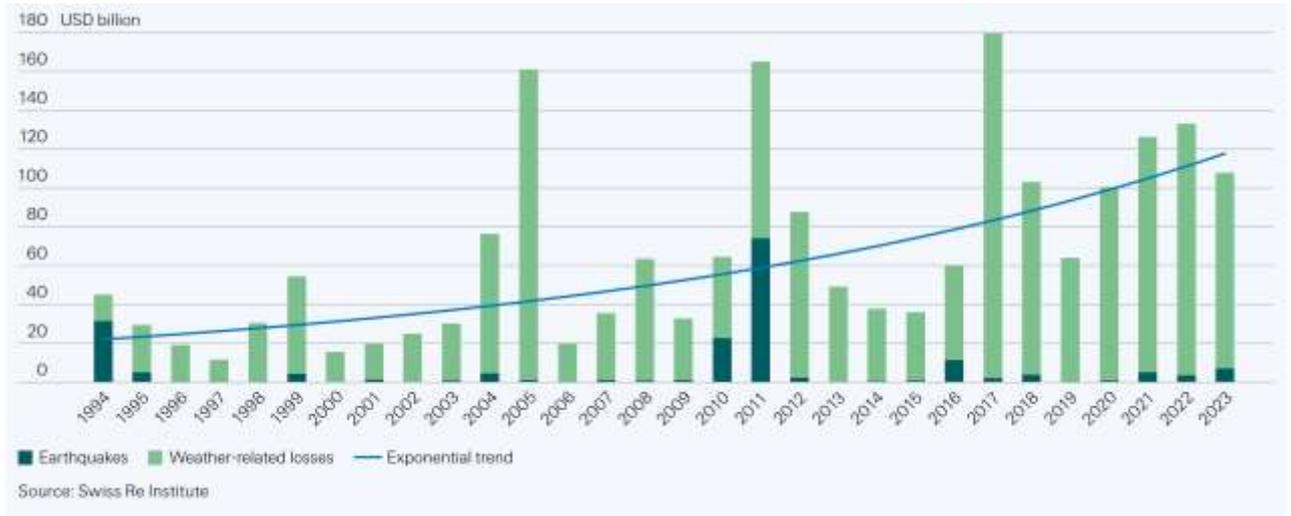
Оновлені результати оцінок глобальних перспектив змін клімату та імовірних наслідків цих змін для людства, представлені в 6 оціночному звіті IPCC в 2022 році підтверджують це занепокоєння. Зокрема, в резюме для політиків 6 синтетичного звіту IPCC вказано: «З дуже високою впевненістю можна сказати, що зміна клімату є загрозою для добробуту людей

Зрозуміло, що така амбітна мета може бути досягнута лише шляхом послідовних і досить кардинальних кроків спрямованих на зміну всього звичного способу життя європейців, тобто встановлення нової парадигми розвитку Європейського Союзу яку визначають як «Зелене зростання» [3] Отже, фактично, Зелений Курс визначає та буде визначати не лише екологічну, а й економічну та, значною мірою, соціальну політику Європи принаймні на найближчі 30 років. Відповідно до цього, якщо Україна бачить себе в майбутньому європейською державою у складі ЄС, вона має враховувати вимоги Зеленого курсу в усіх аспектах повоєнного відновлення країни.

Метою є розгляд основних вимог Європейської зеленої угоди, поточних досягнень та проблем на шляху її реалізації з огляду на перспективи повоєнного відновлення України

та здоров'я планети. Поки що існує вікно можливостей для забезпечення придатного для життя і сталого майбутнього для всіх, але воно швидко закривається... Рішення та дії, здійснені протягом цього десятиліття, з високою імовірністю матимуть вплив зараз і протягом тисячоліть» [4]. Вже зараз наслідки глобального потепління відчуваються по всьому світі як зростання рекордних температур, більш часті катастрофічні погодні явища такі як шторми, буревії, зливи, паводки та посухи [5, 6]. Негативні наслідки глобального потепління торкаються фактично всіх сфер життя та в сумі призводять до зниження якості життя населення та загострення економічних та соціальних проблем [7, 8, 9].

За даними Swiss Re Institute [5] в 2023 році загальні економічні збитки від природних катастроф в світі становили 280 млрд. USD, з яких 40% (108 млрд. USD) була покрита страхуванням та становила так звані «страхові збитки». Страхові збитки в 2023 році що були на 19 млрд USD більше середнього рівня за останнє десятиріччя (рис.1). Основна частина збитків була спричинена тропічними ураганами та сильними конвективними штормами (SCS) кількість та руйнівна сила яких постійно зростає в останні роки, причому темпи зростання втрат від SCS в Європі найвищі в світі [5].



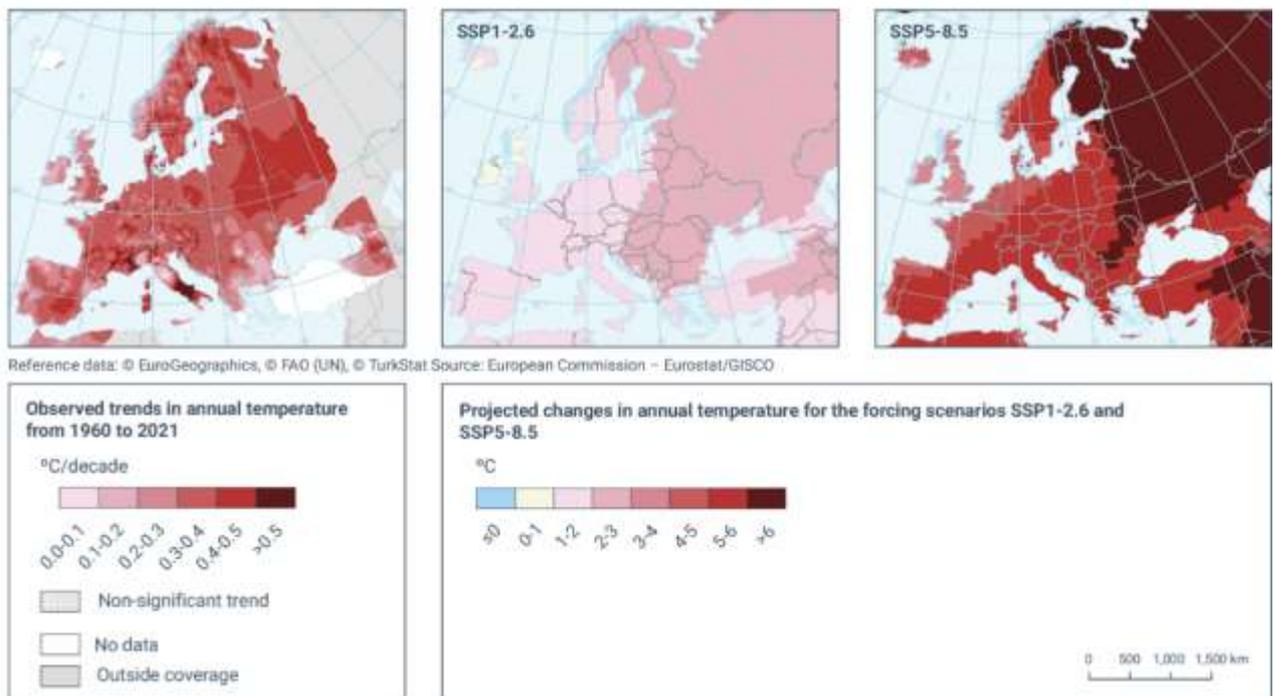
**Рис. 1** – Зростання глобальних страхових збитків спричинених природними катастрофами (млрд. USD в цінах 2023 р.) [5]

**Fig. 1** – Growth in global insured losses caused by natural catastrophes (USD billion in 2023 prices) [5]

За даними кліматичних спостережень [10, 11] якщо глобальна середня приземна температура повітря у період між 2013 і 2022 роками була на 1,13–1,17 °C вищою за доіндустриальний рівень, то температура суші в Європі зросла за цей період на 2,04–2,10 °C, залежно від використаного набору даних

(рис. 2). Тобто темпи зростання приземних температур в Європі вдвічі вищі за середні значення для земної кулі.

Поступове зростання приземних температур та пов’язаної з цим посушливості вже призводить до масштабних негативних наслідків.



**Рис. 2** – Тренд середньорічної температури з 1960 по 2022 рік (ліва панель) і прогнозована зміна температури в 21 столітті за різними сценаріями SSP (права панель) в Європі [10]

**Fig. 2** – Observed annual mean temperature trend from 1960 to 2022 (left panel) and projected 21st century temperature change under different SSP scenarios (right panels) in Europe [10]

Так, у вже згадуваному вище звіті Swiss Re Institute [5] вказано, що в 2023 році тільки страхові збитки від SCS в Європі склали 8,5 млрд USD. За оцінками Sammalleri та ін. [12] втрати від посухи в Європейському Союзі (ЄС) становлять близько 9 млрд євро щорічно. При тому, що це, вочевидь, далеко не повна оцінка втрат, оскільки, як вказано у [13,14], вона враховує головним чином галузеві втрати - сільського господарства, енергетики та громадського водопостачання, які становлять лише частину фактичних наслідків посухи. Непрямі, нематеріальні або малопомітні впливи в цих оцінках не враховуються, оскільки їх складніше ідентифікувати та кількісно оцінити, наприклад, негативний вплив на екосистемі послуги та здоров'я людей.

Результати моделювання глобальних змін клімату за різних сценаріїв соціально-економічного розвитку, що були представлені в 6 оціночному звіті IPCC [4, 11], показали, що утримати глобальне потепління на рівні 1,5%, як передбачено Паризькою угодою, навряд чи вдасться, бо для цього потрібне повне припинення викидів парникових газів. Очевидно, що загострення кліматичної кризи вже неможливо далі ігнорувати і воно потребує термінового вжиття заходів щодо зниження вмісту парникових газів в атмосфері. Однак ці заходи потребують докорінної перебудови як стандартів виробництва так і звичного способу життя населення, що потребує значних матеріальних витрат, а відповідно, й розвинутої економіки для їх покриття а також досить високого рівня освіти свідомості громадян для сприйняття необхідності такого кардинального перетворення.

Крім того, для досягнення помітного ефекту будь-яких заходів, що мають на меті вплив на глобальні кліматичні процеси необхідні узгоджені та цілеспрямовані дії різних країн. Нажаль, на глобальному рівні це наразі неможливо зробити. Але Європейський союз має всі передумови для реалізації єдиної загальноєвропейської кліматичної політики – спільне законодавче поле та високий рівень соціально-економічного розвитку. Отже саме тому Європейський союз поставив перед собою амбітне завдання стати світовим лідером у сфері стійкого розвитку та зеленого зростання, для чого була прийнята та послідовно реалізується Зелена Угода.

Зелена Угода - це комплексна програма «зеленого переходу» до нового екологічного способу життя яка включає в себе:

1. Створення законодавчих основ «зеленої» перебудови економіки.

2. Перехід до циркуляційної економіки як ключ до зниження кількості відходів та зменшення енергоємності виробництва та, в результаті, кількості викидів GHG.

3. Перебудову виробничого сектору з метою зниження обсягу викидів та підвищення енергоефективності.

4. Перебудову енергетичного сектору в напрямку зменшення використання викопного палива, розширення використання відновлюваних джерел енергії та, відповідно, зниження викидів.

5. Зміну стандартів виробництва в транспортній галузі, вимог до виробництва та використання палива та структури перевезень.

6. Зміну стандартів будівництва з метою зменшення енерговитрат, використання відновних джерел енергії та скорочення викидів GHG.

7. Зміну технологій в аграрному секторі з метою зниження кількості викидів відтворення ґрунтів та стимулювання секвестрації вуглецю.

8. Програми соціальної підтримки малого бізнесу та вразливих категорій громадян.

9. Відновлення природних екосистем та збільшення частки багаторічних насаджень як поглиначів вуглецю.

10. Боротьбу із забрудненням довкілля як шлях до відновлення екосистем та підвищення їх стійкості до змін клімату

11. Впровадження широкого спектру освітніх ініціатив, спрямованих на формування у населення знань та навичок потрібних для існування в нових умовах «зеленого світу».

12. Розвиток наукових досліджень, що мають забезпечити «зелене зростання».

Розглянемо ці пункти дещо докладніше.

**Законодавство.** Фундаментом зеленого переходу є зміна законодавства. З метою реалізації Зеленої Угоди та встановлення відповідності ніж існуючими положеннями законодавства в різних галузях та Європейським кліматичним законодавством [15], був розроблений так званий пакет «Fit for 55», який був представлений Європарламенту в липні 2021 року. Він складався з 13 взаємопов'язаних пропозицій для перегляду діючих законів ЄС про клімат і енергетику, а також шести нових законодавчих пропозицій. Всі пропозиції, крім Директиви про оподаткування енергоносіїв були прийняті або погоджені Європейським парламентом і Радою ЄС. Останні рішення з цього пакету були ухвалені 9.10.2023 року.

Згідно з європейським кліматичним законодавством досягнення кліматичної мети

ЄС щодо скорочення викидів ЄС щонайменше на 55% до 2030 року є юридичним зобов'язанням країн-членів, тобто всі 27 країн-членів зобов'язані виконувати відповідні директиви Зеленої Угоди, перебудовуючи свлю економіку та знижуючи викиди відповідно до загальноєвропейських цілей. Отже й Україна, маючи європейські амбіції, плануючи своє повоєнне відновлення та подальший розвиток, має виходити з необхідності врахування цих обов'язкових кліматичних цілей.

Загальний пакет юридично обов'язкових кліматичних цілей Зеленої Угоди включає [15]:

- оновлену систему торгівлі викидами (EU ETS), щоб обмежити викиди, встановити ціну на забруднення та залучити інвестиції в зелений перехід;
- скорочення викидів у широкому діапазоні секторів;
- механізм регулювання викидів вуглецю на кордоні ЄС;
- оновлені цілі щодо відновлюваних джерел енергії та енергоефективності;
- збільшення природного поглинання вуглецю наземними екосистемами, в тому числі ґрунтами;
- соціальну підтримку громадян і малого бізнесу щоб забезпечити рівні умови для європейських компаній.

Незважаючи на те, що законодавчий пакет «Fit for 55» є центральною частиною Європейської Зеленої Угоди, наразі триває робота над іншими законодавчими актами та пропозиціями, які очікують на розгляд, а також щодо впровадження законодавства в державах-членах ЄС.

**Система торгівлі викидами ЄС.** Система торгівлі квотами на викиди ЄС - European Union Emissions Trading System (EU ETS) — це вуглецевий ринок, заснований на системі обмеження та торгівлі квотами на викиди для енергоємних галузей промисловості та сектору виробництва електроенергії. EU ETS була запущена в Європі в 2005 році та проходила в декілька фаз з деякими змінами відповідно до зміни стран-учасників та загальної кліматичної політики ЄС [16]. Зараз система перебуває на четвертій фазі торгівлі (2021-2030). Законодавча база Європейської торгівлі викидами викладена в Директиві ETS [17]. Система торгівлі квотами на викиди застосовується в усіх державах-членах ЄС, країнах Європейської асоціації вільної торгівлі (Ісландія, Ліхтенштейн і Норвегія), а також у Північній Ірландії для виробництва електроенергії.

EU ETS має змушувати забруднювачів платити за свої викиди парникових газів, допомагаючи зменшити викиди та генерувати доходи для фінансування екологічного переходу ЄС. Одна квота дорівнює 1 т CO<sub>2</sub>-еквіваленту (CO<sub>2</sub>e) викидів. На даному етапі EU ETS охоплює викиди від близько 10000 установок в енергетичному секторі та обробній промисловості, а також операторів повітряних суден, які здійснюють рейси в межах ЄС і відправляються до Швейцарії та Сполученого Королівства, що в цілому становить 37% всього обсягу викидів ЄС [18]. Планується, що з 2024 року вона також буде охоплювати й викиди від морського транспорту.

За даними [19] у 2022 році загальні чисті викиди парникових газів в ЄС скоротилися на 1,3% у порівнянні з 2021 роком, до 3,2 мільярда метричних тон CO<sub>2</sub>e (GtCO<sub>2</sub>e) або на 31% порівняно із 1999 р. Викиди від стаціонарних джерел, на які поширюється дія EU ETS з моменту заснування системи у 2005 році також суттєво скоротилися. В 2022 році це скорочення становило 37% порівняно з рівнем 2005 року [19]. Як вказано в аналізі Європейської агенції з навколишнього середовища [19], основними факторами довгострокового скорочення викидів були зростання ціни на вуглець, встановлення плати за викиди, зміна цін на паливо (що стимулювало часткову відмову від викопного палива) та політика у сфері відновлюваної енергетики, яка сприяє декарбонізації енергетичного сектору. Також відіграло ключову роль зниження попиту на електроенергію внаслідок впровадження заходів з підвищення енергоефективності, зменшення попиту на певні промислові товари та глобальні події, такі як економічна криза 2008 року та пандемія COVID-19 [18].

Ефективність системи торгівлі викидами в з моменту її введення дещо знижувалась внаслідок великої обсягу безкоштовних квот, що розподілялися на перших етапах впровадження ETS. Однак важливою рисою екологічної політики ЄС є поступове нарощування вимог для того, щоб дати можливість економіці та населенню адаптуватись до цих змін та зробити їх взагалі можливими. Тому, як вказує [20] заплановано, що дозволена кількість викидів GHG буде зменшуватися поступово. Повільно в 2024-2026 роках, та швидше з 2027 року. Метою EU ETS буде скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 62% у 2030 році порівняно з 2005 роком. Кількість доступних квот на викиди буде щорічно скорочуватись, та з 2039 р квоти більше не будуть доступні.

У рамках перегляду Директиви ETS, в 2023 році було створено нову систему торгівлі викидами під назвою ETS2, окрему від існуючої ETS ЄС [21]. Ця нова система охоплюватиме викиди CO<sub>2</sub> від спалювання палива в будівлях, на автомобільному транспорті та інших секторах (переважно для малих підприємств, які не охоплені діючою ETS EU).

Планується [21], що ETS2 почне працювати в повному обсязі в 2027 році. У разі надзвичайно високих цін на газ або нафту в 2026 році, початок роботи системи ETS2 може бути відкладено на 2028 рік. Незважаючи на те, що це буде система «обмеження та торгівлі», як і існуюча ETS ЄС, ETS2 охоплюватиме викиди «знизу вгору». Тобто контролювати та звітувати про свої викиди будуть постачальники палива, а не кінцеві споживачі, такі як домогосподарства чи користувачі автомобілів. Ці організації будуть зобов'язані віддати достатню кількість квот для покриття своїх викидів. Регульовані установи будуть купувати ці квоти на аукціонах. Обмеження ETS2 буде встановлено для зниження викидів на 42% до 2030 року порівняно з рівнем 2005 року [21].

Згідно з вимогами кліматичного законодавства, доходи від торгівлі викидами країни ЄС мають витратити на проекти, пов'язані з кліматом та енергетикою, а також на соціальну підтримку зеленого переходу. За даними звіту про хід виконання Зеленої угоди [19] вказується, що з 2005 року система торгівлі викидами принесла понад 152 млрд євро доходів від аукціонів, які держави-члени в основному використали для підтримки проектів у сфері відновлюваної енергетики, енергоефективності та транспорту з низьким рівнем викидів а також для подолання негативного впливу енергетичної кризи на споживачів та промисловість. Так, за даними [19] у 2022 році доходи від аукціонів ETS загалом склали близько 38,8 млрд євро. З них 29,7 млрд євро надійшли безпосередньо до 27 країн-членів ЄС. У середньому 76% доходів було витрачено на кліматичні та енергетичні цілі. Близько 25% доходів держав-членів призначені для конкретних кліматичних та енергетичних заходів, 27% надійшли до спеціальних екологічних фондів, а 48% - до національних бюджетів.

Впровадження плати за викиди межах ЄС створює нерівні умови для виробників в середині ЄС та за його межами, що провокує так званий «виток карбону» - винесення виробництв, відповідальних за найбільшу кількість викидів, за межі ЄС та подальший імпорт готової продукції цих галузей. Виток карбону, вочевидь, заважає зниженню обсягу викидів в

глобальному масштабі, а отже одним із завдань, що вирішується в межах зеленої угоди є боротьба із витоком карбону.

**Механізм регулювання викидів вуглецю на кордоні ЄС (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM).** Впровадження CBAM почалося з 1 жовтня 2023 року. CBAM має поступово замінити існуючі механізми ЄС для усунення ризику витоку карбону, зокрема безкоштовний розподіл квот на викиди в ЄС. CBAM передбачає плату за ввезення в ЄС продукції, при виробництві якої в межах ЄС виробники мають сплачувати за викиди карбону на відміну від виробників поза межами ЄС. Тобто CBAM має забезпечити, щоб імпортована продукція також сплачувала ціну на викиди вуглецю при перетинанні кордону. Це дозволяє вирівнювати умови для виробників незалежно від місця розміщення виробничих потужностей та розглядається [22] як цінний інструмент для сприяння глобальному скороченню викидів і залучення ринку ЄС для досягнення глобальних кліматичних цілей

На початковому етапі CBAM буде націлений на імпорт продукції шести найбільш «карбононебезпечних» галузей промисловості – чавуну та сталі, цементу, добрив, алюмінію, електроенергії та водню. З 1.10.2023 іноземні компанії в цих секторах повинні будуть збирати дані про викиди та повідомляти про них у тимчасовий реєстр, який веде Європейська комісія, щоб продовжувати експорт до Європи. CBAM буде застосовуватися в своєму остаточному режимі з 2026 року, тоді як поточний перехідний етап триватиме між 2023 і 2026 роками.

Це поступове впровадження CBAM узгоджується з поетапним припиненням розподілу безкоштовних квот в рамках системи торгівлі викидами ЄС для підтримки декарбонізації промисловості ЄС. Наразі в ЄС триває громадське обговорення законопроектів, які регулюють впровадження CBAM під час його перехідної фази, яке триватиме до кінця 2025 року. В подальшому Європейська комісія планує ухвалити 13 підзаконних актів, які наберуть чинності перед повноцінним запуском CBAM у 2026 році.

**Зниження викидів від всіх видів транспорту.** Транспорт становить приблизно 5% ВВП ЄС. В той же час транспортні викиди GHG становлять близько 25% від загального обсягу викидів. На вантажні перевезення припадає 30% від загального обсягу транспортних викидів. Понад 50% вантажів у ЄС перевозиться автомобільним транспортом (дані 2020

року). Прогнозується [23], що якщо не буде вжито заходів щодо декарбонізації, вантажні перевезення зростуть приблизно на 25% до 2030 року та на 50% до 2050 року. Як показано [24] транспорт сьогодні є одним з найбільш проблемних секторів щодо скорочення викидів, в якому зниження викидів є дуже нестійким та повільним. В 2022 році це був єдиний сектор, де викиди зросли проти 2021 року (рис. 3).

Зелений Курс передбачає скорочення викидів транспорту на 90% до 2050 року, але з реалізацією цих планів є певні складнощі. Достатньо сказати, що невдоволення вимогами Зеленої Угоди було однією з основних причин масштабних протестів серед Європейських фермерів на початку 2024 року.

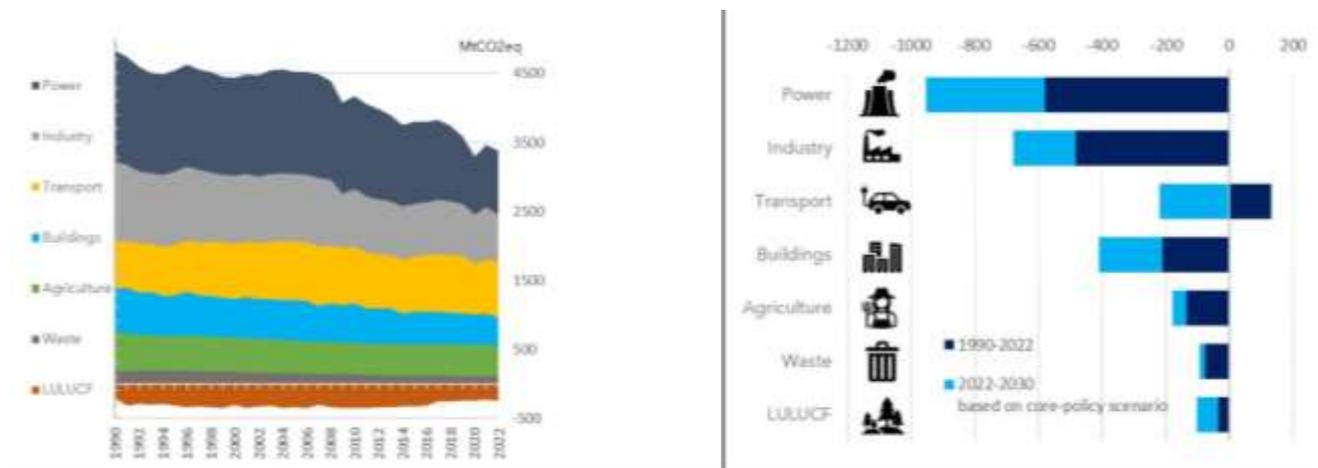


Рис. 3 – Викиди та поглинання парникових газів в ЄС за секторами, минулі тенденції та необхідні скорочення [24]

Fig. 3 – EU GHG emissions and removals by sector, past trends and required reductions [24]

Для стимулювання скорочення викидів транспорту та переходу на альтернативні види палива передбачається введення плати на викиди для всіх видів транспорту. На даний час плата на викиди вуглецю вже застосовувалась до авіаційного сектору а з 2024 року поширена і на морський сектор. З 2027 року планується поширення плати на викиди і на автомобільний транспорт.

З новими стандартами CO<sub>2</sub> до 2035 року всі нові автомобілі та фургони, зареєстровані в ЄС, матимуть нульовий рівень викидів. Зменшення сумарної кількості викидів транспорту буде відбуватися за рахунок використання газових, електричних та водневих двигунів та біопалива. Наприклад, для зниження викидів авіації 9 жовтня 2023 р. був прийнятий новий регламент щодо авіаційної

Для зниження обсягу викидів транспорту передбачається дія за такими напрямками:

1. Зміна структури транспортних перевезень зі збільшенням частки залізничного транспорту в перевезенні вантажів а також стимулювання використання громадського транспорту та велосипедів замість приватних автомобілей у населених пунктах;

2. Підвищення енергоефективності транспортних засобів з метою зменшення використання пального в том числі за рахунок покращення аеродинамічних властивостей конструкцій та вдосконалення двигунів;

3. Повна або принаймні часткова заміна традиційного палива на основі переробки нафти газом та нетрадиційними видами палива. Використання транспорту з водневими та електричними двигунами.

ініціативи «ReFuelEU» [25], що є частиною вищезгаданого пакету «Fit for 55».

Згідно цього Регламенту, починаючи з 2025 року, паливо, яким заправляють літаки в аеропортах ЄС, повинно містити принаймні 2% так званого «стійкого авіаційного палива» (Sustainable Aviation Fuel або SAF). Цей відсоток поступово збільшуватиметься щороку, та має складати 6% до 2030 року, 20% до 2035 року і 70% до 2050 року. Ці вимоги застосовуватимуться до всіх рейсів, що відправляються з ЄС. З 2030 року 1,2% палива також має становити синтетичне паливо а у 2050 році його обсяг має зрости до 35% [25]. SAF — це альтернативне паливо, виготовлене з нафтової сировини, в тому числі з частини твердих побутових відходів, деревини, олії тощо [26]. SAF можна змішувати з традиційним паливом з обмеженнями від 10% до 50%,

залежно від вихідної сировини та способу виробництва палива.

Однак сама можливість ЄС виконати встановлені зобов'язання викликає неабиякий скептицизм, оскільки це буде потребувати значних зусиль та суттєво підвищить вартість авіаперельотів. На даний час, як вказують [27], відновлювані види палива в два-чотири рази дорожчі, ніж традиційне викопне паливо. Частка SAF наразі складає лише 0,1 відсотка всього палива, що використовується в авіації ЄС. Виробництво SAF все ще перебуває в зародковому стані - поточні потужності з виробництва SAF в ЄС оцінюються приблизно в 10% від його обсягу, необхідного для досягнення проголошених рівнів 2030 року. Відповідно, виконання директиви потребує будівництва нових виробничих потужностей та пошуку технологій, що дозволять знизити вартість виробництва SAF в найближчі роки.

Отже, зниження викидів транспорту це нетривіальне завдання, що потребує структурних змін економіки, створення нових виробництв та вдосконалення технологій. При цьому, «зелений перехід» буде відчуватися пересічними громадянами як «погіршення умов життя» оскільки буде супроводжуватись зростанням витрат та потребувати обмеження споживання.

**Використання відновних джерел енергії та підвищення енергоефективності.** Виробництво електроенергії є одним з основних джерел викидів парникових газів в ЄС (рис. 3). В 2022 році енергетика була відповідальна за 26,6% викидів, на внутрішній транспорт припадало 23,1%, промисловість спричинила 19,1% викидів а сільське господарство лише 10,5% викидів [28]. Значний обсяг викидів пов'язаний із використанням вугілля, нафтопродуктів та газу для отримання енергії в багатьох країнах Європи.

Використання викопного палива для отримання електроенергії для ЄС має дві важливі складові. Викопне паливо для Європи не тільки найпотужніше джерелом викидів, а ще й залежність від імпорту енергоносіїв, в першу чергу російських. Саме тому початок російської агресії проти України змусив ЄС переглянути плани щодо повільного нарощування використання відновних джерел енергії та прискорити декарбонізацію енергетики. З метою позбавлення від енергозалежності від російського викопного палива в 2022 році ЄС був розроблений та прийнятий до впровадження план REPowerEU [29] сутність якого

полягає в трьох основних напрямках діяльності з декарбонізації енергетики:

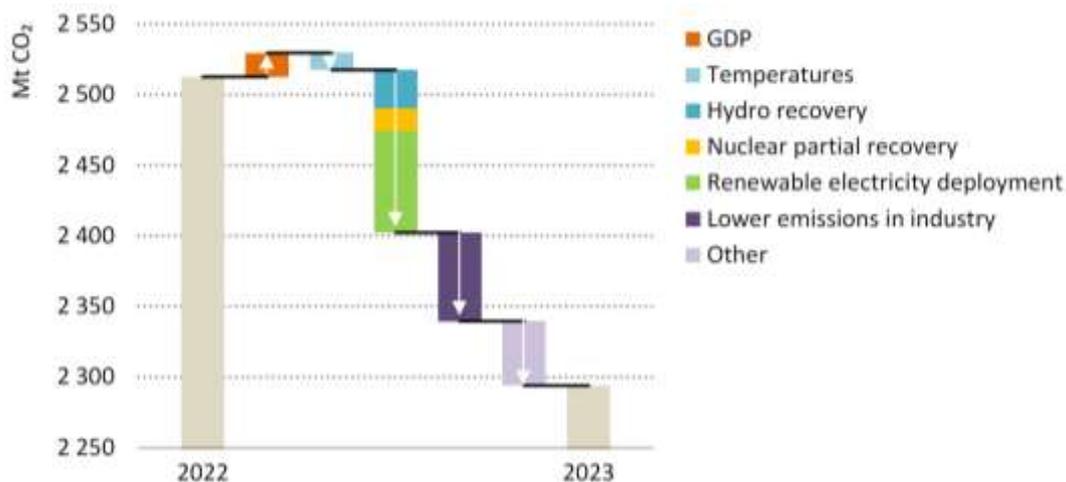
1. Зниження споживання енергії за рахунок підвищення енергоефективності виробництва та попередження втрат енергії в тому числі тепла а також економного споживання енергії. Ця політика має непогані результати, зокрема у 2023 році споживання енергії впало на 18% проти 2022 року.

2. Диверсифікація постачання енергії. Це завдання, яке вирішується як першочергове, доки не вдасться суттєво знизити потреби енергетики у викопному паливі. Вона полягає у відмові від російських енергоносіїв та пошуку нових джерел для закупівлі палива та зниженні загальної частки енергії на основі викопного палива в загальній кількості енергії, що виробляється.

3. Розвиток альтернативної енергетики та вироблення «чистої» енергії. В цьому аспекті атомна енергетика також вважається більш безпечною, ніж паливна теплоенергетика, а атомна енергія є «чистою» з огляду на обсяг викидів GHG, хоча й найдорожчою з усіх видів енергії.

Незважаючи на те, що не всі поставлені короткострокові цілі REPowerEU досягнуті в заплановані терміни [30], вже 2023 рік продемонстрував значне скорочення викидів CO<sub>2</sub> та тлі відновлення та деякого зростання економіки ЄС після пандемії COVID-19 (рис. 4). Як показано на рис. 4, тільки незначна частка цього скорочення пояснюється відносно теплим зимовим періодом, а основний вплив на зниження викидів мало саме використання альтернативних джерел енергії.

Переломним роком для альтернативної енергетики можна вважати 2015 рік, коли, як показано в аналізі SolarPower Europe [32], вартість електроенергії виробленої сонячними та вітровими електростанціями вперше стала нижчою за енергію, вироблену вугільними ТЕС. З прийняттям Зеленої угоди, а особливо плану REPowerEU, нарощування потужностей сонячних та вітрових електростанцій ще більше прискорилось і 2024 рік, як вказують [33], став першим роком в історії, коли частка енергії, виробленої в ЄС за рахунок викопного палива склала менше чверті (23%) а на долю відновних джерел енергії припало більше половини (54%) виробленої енергії, з яких третину склала енергія сонячних та вітрових електростанцій. Це призвело до подальшого скорочення викидів, які за перші 4 місяці 2024 року були на 18% нижчими за аналогічний період 2023 року.



**Рис.4** – Чинники зниження викидів парникових газів від процесів спалювання в ЄС в 2023 році порівняно із 2022 роком [31].

**Fig. 4** – Change in total CO<sub>2</sub> emissions from combustion in the European Union by driver, 2022-2023 [31]

Як і в усіх інших аспектах Зеленої угоди, загальні рекомендації ЄС є рамковими, що встановлюють певні орієнтовні цілі, досягнення яких очікується від кожної країни. Але внутрішні умови та можливості в кожній з країн ЄС суттєво різняться. В кожній країні розробляються власні національні енергетичні і кліматичні плани, які мають на меті відповідність встановленим на рівні ЄС цілям щодо використання відновлюваних енергетичних ресурсів та зниження викидів, але з урахуванням специфіки кожної конкретної держави. Тому розвиток альтернативної енергетики та зниження кількості викидів в різних країнах іде нерівномірно. Хоча «вуглецева інтенсивність» виробництва енергії, тобто обсяг викидів CO<sub>2e</sub> на одиницю виробленої енергії порівняно з 1990 роком, суттєво знизилась в усіх країнах ЄС [34], однак існують великі розбіжності в структурі виробництва енергії між різними країнами та приблизно в половині країн ЄС вуглецева інтенсивність енерговиробництва вища за середню.

Вуглецева інтенсивність залежить в першу чергу від типу використовуваних енергоносіїв та є найвищою в країнах із переважанням енергії викопного палива в енергетичній структурі, як, наприклад, в Польщі чи Естонії, та найнижчою - в країнах з використанням альтернативних джерел енергії, таких як гідроенергетика (Австрія та Швеція) або атомна енергетика (Франція, Фінляндія, Словачія, Бельгія).

Досить високою лишається вуглецева інтенсивність енергії в Німеччині, незважа-

ючи на високі темпи нарощування використання вітрової та сонячної енергії. За даними [35] в 2023 році темпи нарощування потужностей сонячних електростанцій в Німеччині досягли рекордного рівня 14280 МВт, що було вдвічі вище за показник 2022 року. В 2023 році виробництво сонячної енергії досягло в Німеччині 55 ТВт-год, що складало 12% від загального попиту.

Однак, проблема сонячної енергетики полягає в часовій нерівномірності вироблення енергії. Основне виробництво припадає на денні часи влітку, коли попит на електроенергію мінімальний. Це стримує подальший розвиток сонячної енергетики. Як свідчить дослідження SAB [35], різке нарощування виробництва сонячної енергії в 2023 році в Німеччині призвело до перевищення можливостей споживання в пікові години вироблення та різкого падіння вартості виробленої енергії у пікові години з 70,6 до 9,1 EUR/MWh. Подібні тенденції щодо перевиробництва сонячної енергії відмічені також у Китаї, який в останні роки став світовим лідером у нарощуванні потужностей сонячних електростанцій [32]. Тобто це принциповий чинник, який спрямовує подальший розвиток сонячної енергетики на пошук нових технологічних та організаційних рішень щодо раціонального розподілу та накопичення виробленої в пікові години електроенергії. Вирішення проблеми надвиробництва енергії у пікові години дозволить продовжувати ефективно нарощування потужностей в сонячній енергетиці.

Україна до початку повномасштабного російського вторгнення, яке фактично зруйнувало діючу систему виробництва та передачі електроенергії, мала показник вуглецевої інтенсивності енергетики на рівні близькому до середнього для ЄС (рис. 5), що був суттєво нижчий за аналогічні показники для Німеччини, Польщі чи Чехії [35]. Відносно низький середній показник вуглецевої інтенсивності забезпечувався значною часткою вироблення енергії за рахунок атомних та гідроелектростанцій (рис. 6).

В той же час, рівень виробництва сонячної та вітрової енергії в Україні був значно нижчий, ніж в Європейських країнах (рис. 7). Так, в 2021 році частка виробництва сонячної та вітрової енергії в Україні становив 4,51 та 2,51% відповідно, а з початком російської агресії 24.02.2022 року відбувалась лише втрата потужностей внаслідок бойових дій та руйнування енергетичної інфраструктури України. У той час як в ЄС середня частка сонячної енергії від загального виробництва у 2023 році становила 9,19% а вітрової – 17,45% [35].

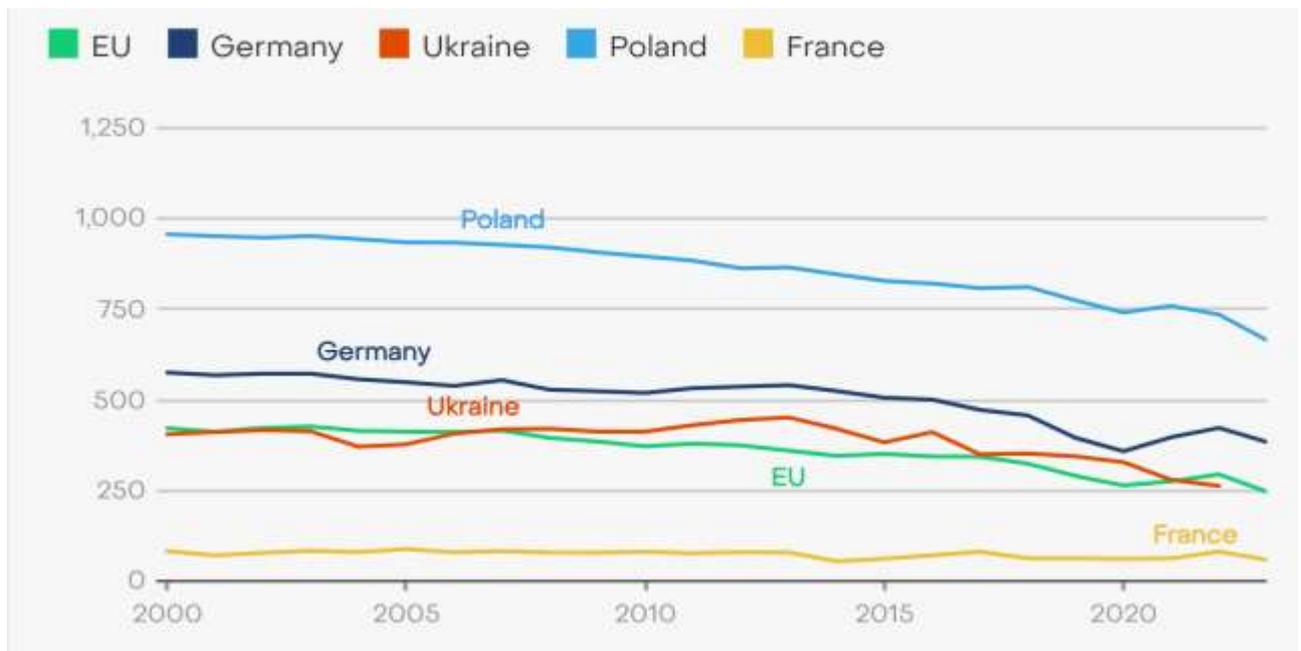


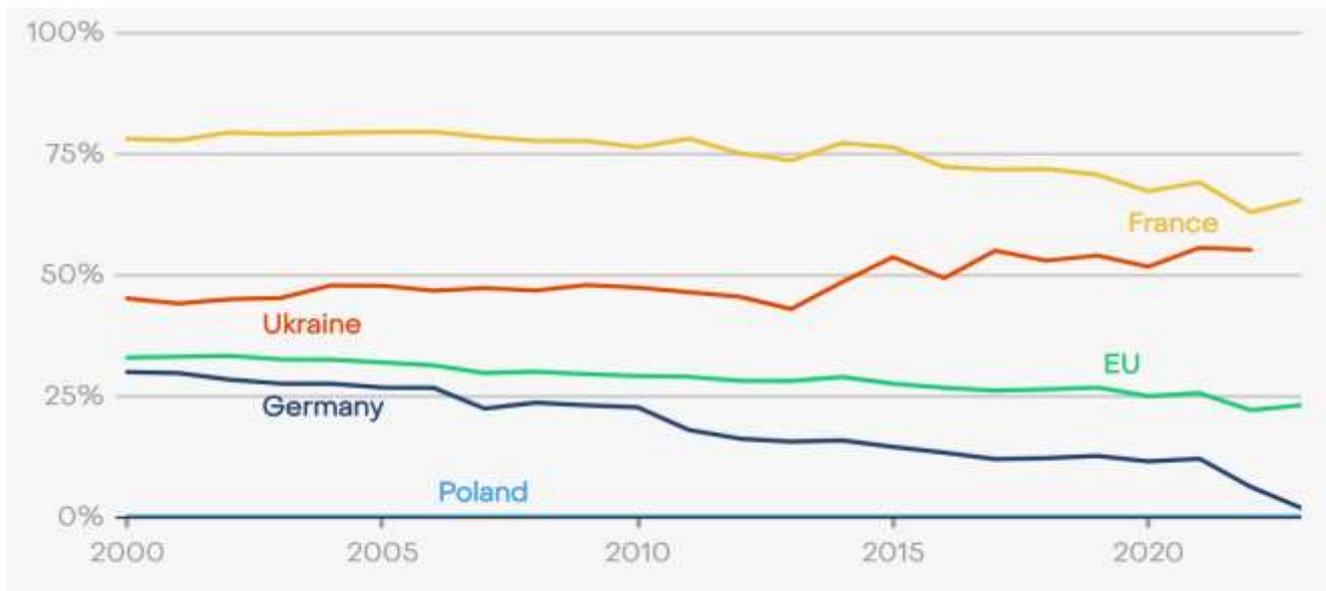
Рис. 5 – Вуглецева інтенсивність енерговиробництва (gCO<sub>2</sub>e/kWh) в Україні порівняно із деякими країнами ЄС за період 2000-2022 рр) [356]

Fig. 5 – Carbon emissions intensity (gCO<sub>2</sub>e per kWh) in Ukraine compared to some EU countries for the period 2000-2022) [36]

Як показує аналіз динаміки вартості вироблення електроенергії [32], починаючи з 2015 року, виробництво сонячної та вітрової енергії є найдешевшим серед всіх видів електроенергії. У 2023 році середньосвітова вартість виробництва сонячної енергії була вдвічі нижча за вартість енергії, що виробляється на вугільних ТЕЦ, та втричі дешевша за енергію атомних електростанцій. Отже, в повоєнному відновленні енергетичного сектору України велику роль має відігравати саме сонячна енергетика, особливо на територіях, де порушення та забруднення ґрунтів внаслідок бойових дій не дадуть змогу швидко відтворити безпечне агропромислове виробництво. Сонячні панелі мають ще одну надважливу перевагу в умовах війни – вони можуть швидко встановлюватися на дахах будівель компенсуючі

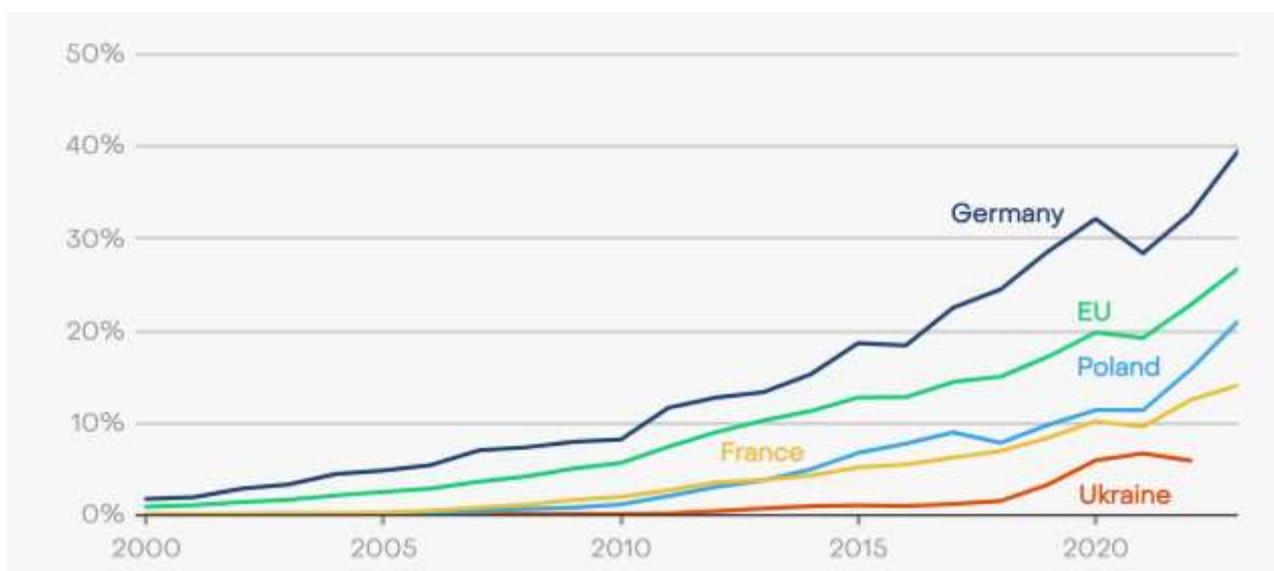
зруйновані російськими атаками електростанції, при цьому відсутність концентрації виробництва ускладнює його руйнування новими атаками. Однак для найбільш ефективного використання сонячної енергії необхідно поєднувати нарощування потужностей виробництва (фотоелектричних панелей) та систему накопичення та перерозподілу виробленої енергії.

**Будівництво та реконструкція будівель.** Опалення будівель та нагрівання води для водопостачання є одним з найбільших чинників викидів парникових газів в ЄС. На будівлі припадає 40% кінцевого енергоспоживання в ЄС і 36% пов'язаних з енергетикою викидів парникових газів, при цьому 75% будівель ЄС вважаються енергоефективними [37]. Основним законодавчим документом



**Рис. 6** – Частка електроенергії (%), що вироблялась атомними електростанціями в Україні та ЄС [36]

**Fig. 6** – Share of electricity (%) generated by nuclear power plants in Ukraine and the EU in 2000-2022 [36]



**Рис. 7** – Сумарна частка сонячної та вітрової електроенергії (%) що вироблялась в Україні та деяких країнах ЄС у період 2000-2022 рр [36]

**Fig. 7** – Total share of solar and wind electricity (%) generated in Ukraine and some EU countries in 2000-2022 [36]

ЄС що регулює діяльність з підвищення енергоефективності будівель є Директива з енергоефективності будівель (англ. Directive on the energy performance of buildings, EPBD) [37] яка була прийнята наприкінці 2002 року та у подальші роки декілька разів оновлювалась відповідно до змін кліматичної політики ЄС.

Актуальна редакція Директиви 2024 [37] встановлює нульовий рівень викидів як новий стандарт будівництва. Усі нові житлові та нежитлові будинки повинні мати нульові викиди від викопного палива, починаю-

чи з 1 січня 2028 року для державних будівель і з 1 січня 2030 року для всіх інших нових будівель, з можливістю окремих винятків. Для досягнення нульового рівня викидів від викопного палива покриття енергетичних потреб будівель може відбуватися за рахунок відновлюваних джерел енергії (сонячна теплова та фотоелектрична енергія, геотермальна енергія, теплові насоси, гідроелектростанції та спалювання біомаси або біогазу), ефективного централізованого опалення та

охолодження, а також енергії з інших безвуглецевих джерел [37].

Вимоги до підвищення енергоефективності існуючих будівель для житлових та нежитлових будівель дещо відрізняються. Що стосується житлових будинків, то кожна держава-член ухвалює власну національну траєкторію, щоб зменшити середнє споживання первинної енергії житловими будинками на 16% до 2030 року та на 20-22% до 2035 року. Національні заходи повинні гарантувати, що принаймні 55% зменшення середнього споживання первинної енергії буде досягнута шляхом реконструкції будівель з найнижчою енергоефективністю, але держави-члени можуть вільно обирати, на які будівлі орієнтуватися, та які заходи вживати. Реконструкція будівель розглядається не лише як засіб подолання енергозалежності, а і як шлях до покращення умов життя людей та економічного зростання, оскільки 95% робіт з реконструкції будівель проводиться мікропідприємствами, що забезпечує роботою значну частину населення. Для нежитлових будівель, переглянута Директива передбачає поступове запровадження мінімальних стандартів енергоефективності для реконструкції 16% будівель з найгіршою ефективністю до 2030 року та 26% будівель з найгіршою ефективністю до 2033 року. Держави-члени ЄС матимуть можливість звільнити певні категорії як житлових, так і нежитлових будівель від цих зобов'язань, у тому числі історичні будівлі чи дачні будинки [37].

**Сільське господарство.** Цілі, які поставлені Зеленою угодою ЄС в аграрній галузі поєднують вимоги економічного зростання, продовольчої безпеки, соціальної підтримки вразливих верств населення та охорони навколишнього середовища. Такими цілями є:

- забезпечення продовольчої безпеки в умовах геополітичної невизначеності, зміни клімату та втрати біорізноманіття;
- зменшення екологічного і кліматичного сліду харчової системи ЄС;
- посилення стійкості продовольчої системи ЄС;
- лідерство ЄС у глобальному переході до конкурентоспроможності фермерських господарств.

Із прийняттям Зеленої угоди у 2021 році була суттєво переглянута спільна сільськогосподарська політика ЄС (Common agricultural policy - CAP). В кожній країні ЄС були розроблені відповідні оновлені національні плани щодо сільськогосподарської політики на період 2023-2027 рр. та з 1 січня 2023

року оновлена CAP вступила в дію [38]. Стратегія Farm to Fork [39], яку називають серцем Green Deal, встановлює як регуляторні, так і нерегуляторні ініціативи, разом із спільною сільськогосподарською та рибальською політикою як ключовими інструментами для підтримки справедливого переходу до нового способу господарювання. Наприклад, ініціатива ЄС щодо вуглецевого сільськогосподарства (carbon farming) була запущена у 2021 році як один з напрямів стратегії Farm to Fork, щоб винагороджувати екологічно безпечні практики сільськогосподарства через механізми субсидій, передбачені CAP, або через інші державні чи приватні ініціативи, пов'язані з вуглецевими ринками. CAP підтримує сталі методи ведення сільськогосподарства, серед яких можна виділити наступні:

- Охорона ґрунтів та регенеративне землеробство – система землекористування, спрямована на покращення здоров'я ґрунту, запобігання його деградації, відтворення родючості ґрунтів. Головні очікувані результати – секвестрація вуглецю та стійке виробництво сільськогосподарської продукції. Напряма дії та конкретні заходи для захисту та відновлення ґрунтів, а також забезпечення їх сталого використання встановлює Ґрунтова стратегія ЄС до 2030 року, прийнята у 2021 році [40];

- Точне землеробство. Використання методів точного землеробства стає дедалі популярнішим серед фермерів в ЄС, оскільки дозволяє мінімізувати використання добрив, пестицидів і води для створення врожаїв. Це зменшує собівартість виробництва та зменшує вуглецевий слід сільськогосподарства, максимізуючи врожайність і мінімізуючи вплив на навколишнє середовище, а отже дозволяє фермерам виконувати вимоги ЄС щодо зниження кількості хімічних засобів, що використовуються, знизити ресурсоемність виробництва та отримувати сталі прибутки;

- Органічне землеробство. Відмова від хімічних засобів захисту рослин та мінеральних добрив зменшує залежність від ресурсів, виробництво яких потребує викопного палива, таких як синтетичні добрива та пестициди. Органічне землеробство сприяє збереженню біорізноманіття, покращує родючість ґрунту та зменшує викиди парникових газів, пов'язані з використанням синтетичних хімічних речовин;

- Агролісомеліорація та багаторічні культури, агролісівництво. Інтеграція дерев та

багаторічних культур у сільськогосподарські ландшафти забезпечує не тільки стійкі джерела їжі та палива, але й поглинання значної кількості вуглецю з атмосфери. Агролісомерація є надійним, перевіреним роками, способом боротьби із ерозійними процесами та пом'якшення наслідків посух та заморозків, що особливо важливо в умовах зміни клімату;

- Застосування відновлюваної енергії в сільському господарстві, в тому числі сонячних панелей та установок для вироблення біогазу з рослинних решток та органічних відходів тваринництва;

- Стале управління тваринництвом: підвищення ефективності кормів, уловлювання метану та пошук альтернативних джерел харчового білку з метою зменшення викидів тваринництва;

- Запровадження принципів циркулярної економіки - використання органічних добрив, анаеробне зброджування органічних відходів і використання біоматеріалів сприяє створенню системи замкнутого циклу, яка мінімізує потребу в додаткових ресурсах.

Треба наголосити, що поняття «органічне землеробство» (organic farming, OF) та «вуглецеве землеробство» (carbon farming, CF) – це абсолютно різні речі. Якщо органічне землеробство – це спосіб виробництва сільськогосподарської продукції, що виключає використання синтетичних хімічних речовин, то вуглецеве землеробство – це широке поняття, яке включає в себе всі напрями господарювання в межах певного землеволодіння, спрямовані на зниження потоків парникових газів без. Згідно [41] вуглецеве землеробство включає видалення вуглецю з атмосфери, уникнення викидів всіх видів парникових газів і скорочення викидів від поточної сільськогосподарської практики. Прикладами практик вуглецевого землеробства, які наводяться в офіційних публікаціях Єврокомісії [42] є:

- заліснення та лісовідновлення, які považають екологічні принципи, сприятливі для біорізноманіття, і покращене стале управління лісами, включаючи практики, сприятливі для біорізноманіття, та адаптацію лісів до зміни клімату;

- агролісомеліорація, агролісівництво та інші форми змішаного землеробства, що поєднують деревну рослинність (дерева або кущі) із системами рослинництва та/або тваринництва на одній землі;

- використання проміжних культур, покритих культур, збереження ґрунту та покращення властивостей ландшафту: захист

ґрунтів, зменшення втрати ґрунту внаслідок ерозії та збільшення вмісту органічного вуглецю в ґрунті на деградованих орних землях;

- цілеспрямоване перетворення орних угідь у перелоги або відведених ділянок у постійні пасовища;

- відновлення торфовищ і заболочених угідь, що зменшує окислення наявних запасів органічного вуглецю та збільшує потенціал секвестрації вуглецю.

Як згадано вище, на сільське господарство припадає приблизно 10% викидів парникових газів ЄС. Однак за структурою викидів сільське господарство принципово відрізняється від інших галузей. По-перше, основна маса викидів в аграрному секторі це не вуглекислий газ, а інші парникові гази –  $\text{CH}_4$  та  $\text{N}_2\text{O}$  (рис. 8).

По-друге, ці викиди неможливо повністю припинити, оскільки значною мірою вони є частиною фізіологічних процесів свійських тварин (так звана внутрішня ферментація) та результатом удобрення ґрунтів. По-третє сільське господарство, та так званий сектор LULUCF (землекористування, зміна землекористування та лісівництво) може виступати не лише як джерело викидів, але і як потужний поглинач вуглекислого газу.

Як видно з рис. 8, основним поглиначем вуглецю за сучасними оцінками є ліси, а отже й діяльність з лісовідновлення сприймається як основний напрям біологічної секвестрації вуглецю, в той же час як ґрунти розглядаються як джерело парникових газів. Однак саме ґрунти, що спроможні накопичувати вуглець у вигляді стійких до розкладання високомолекулярних сполук (гумусу), є одним із найпотужніших поглиначів вуглецю у світі, а відновлення ґрунту є реальним механізмом зменшення видалення вуглецю з атмосфери [44]. Згідно [45] частка вуглецю наземних екосистем, закріплена в ґрунтах, в залежності від кліматичних умов становить 47,7-96,2% і абсолютно переважає в більшості екосистем світу. Зелена угода ставить за мету в секторі землекористування ЄС досягнення до 2030 року 310 Мт  $\text{CO}_2$ -екв чистої абсорбції парникових газів [42]. За нашими оцінками [45], тільки орні землі України потенційно здатні поглинути близько 2,8 Gt  $\text{CO}_2$  вуглецю, що в 9 разів більше цього значення. Тобто ґрунти України мають величезний потенціал щодо секвестрації вуглецю за умов впровадження в Україні методів регенеративного землеробства і

## The EU greenhouse gas emissions from the agriculture and LULUCF sectors in 2022

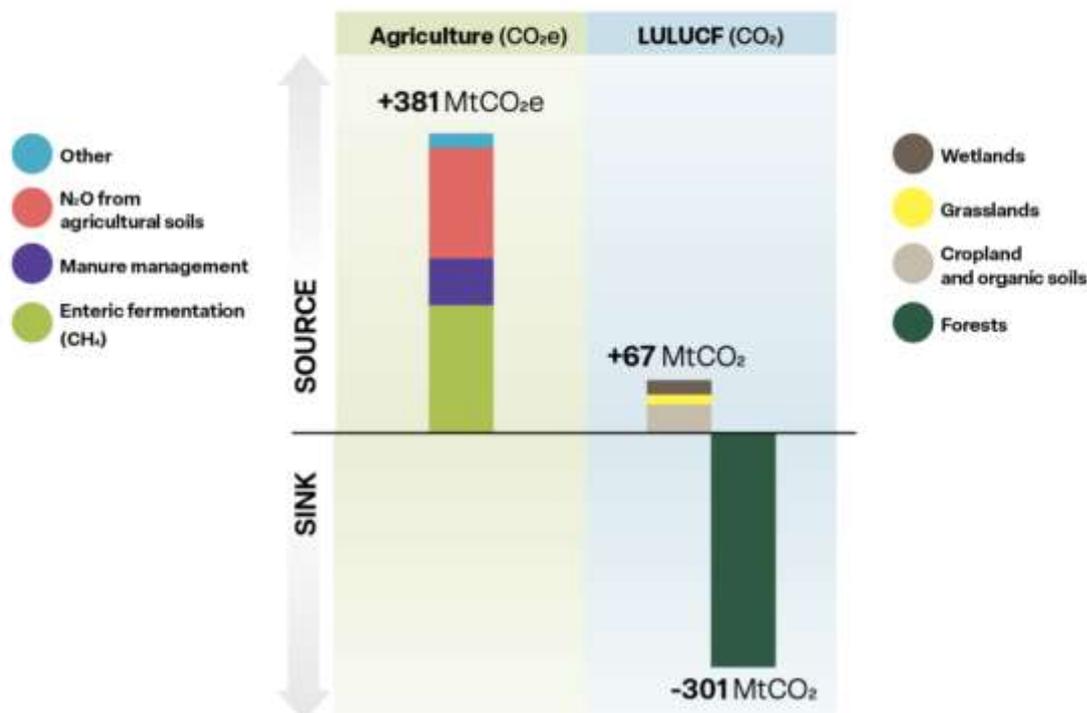


Рис. 8 – Емісія парникових газів в ЄС в результаті сільськогосподарської та лісгосподарської діяльності та інших видів землекористування в 2022 році [43]

Fig. 8 – The emissions caused by agricultural land in the Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) sector in 2022 [43]

водночас, багаті а органічну речовину чорно-земи все ще можуть бути джерелом емісії вуглецю, якщо їхня деградація продовжиться. Крім того, малодослідженим питанням є участь мінеральних солей вуглецю (карбонатів) в поглинанні та емісії вуглецю в системі ґрунт-атмосфера [47]. При зростанні посушливості клімату можлива додаткова акумуляція вуглецю в ґрунтах у вигляді карбонатів, однак більш дослідженою та очевидною є додаткова емісія вуглецю з ґрунтів внаслідок розкладання карбонатів. Емісія вуглекислого газу спричинена вапнуванням ґрунтів є одним з суттєвих чинників, що враховується при оцінці балансу вуглецю в агроєкосистемах в тому числі у стандартах вуглецевої сертифікації агровиробництва [48].

Впровадження програм з добровільного вуглецевого кредитування в аграрному секторі є логічним напрямом розвитку діяльності в межах зеленої угоди. Основною кінцевою метою цих програм є стимулювання переходу агровиробництва на ґрунтоощадні технології, що сприяють секвестрації вуглецю ґрунтами

та попередження надлишкової емісії вуглецю з ґрунту. Фермерські господарства, що переходять з традиційних технологій до регенеративного землеробства, відповідно до вимог вуглецевої програми отримують плату за накопичення вуглецю в ґрунтах у вигляді вуглецевих кредитів, що можуть бути продані зацікавленим компаніям на вуглецевому ринку. Вартість 1 кредиту, що відповідає 1 т видаленого з атмосфери вуглекислого газу, становить залежить від ринкової вартості карбону та попиту в конкретному регіоні. Як вказують [49] у 2023 році європейські кредити коштували в середньому 25,41 USD, що значно перевищує середній світовий показник у 7,59 USD. Незважаючи на те, що практика вуглецевого кредитування викликає справедливий скептицизм [50], оскільки в цій сфері існує велика кількість проблемних питань, експерти прогнозують зростання аграрного вуглецевого ринку в найближчі десятиріччя, що пов'язано як із поступовим зменшенням доступних квот на викиди так із прогнозованим введенням плати за викиди в аграрному секторі.

**Захист природного середовища та припинення деградації екосистем.** Ще одним центральним питанням Зеленої угоди є збереження та відновлення природних екосистем, які є основою стійкого функціонування біосфери в умовах змін клімату. З цією метою був розроблений комплексний, амбітний і довгостроковий план захисту природи та припинення деградації екосистем який викладений у опублікованій в травні 2020 року «Стратегії ЄС щодо біорізноманіття до 2030 року» [51]. Стратегія має на меті вивести біорізноманіття Європи на шлях відновлення до 2030 року та містить конкретні дії та зобов'язання. ЄС та його держави-члени зобов'язалися виконати понад 100 дій по реалізації Стратегії до 2030 року. Для відстеження цього прогресу розроблений спеціальний інструмент - EU Biodiversity Strategy Actions Tracker [51]. Станом на травень 2024 року 49 із запланованих заходів вже виконано, 46 знаходиться на етапі виконання і лише 9 виконуються із затримкою відносно плану. Всі ці заходи спрямовані на досягнення наступних цілей:

- Юридично визнати такими, що охороняються принаймні 30% території ЄС та 30% морських територій
- Відновити деградовані екосистеми на суші та на морі по всій Європі шляхом:
  - підвищення частки органічного землеробства та збагачення біорізноманіття агроландшафтів шляхом створення різноманітної ландшафтної структури на сільськогосподарських землях;
  - стримування падіння популяції запилювачів квітів та її відновлення;
  - відновлення принаймні 25 000 км річок ЄС до стану вільної течії;
  - зменшення використання пестицидів на 50% до 2030 року;
  - висадження 3 мільярдів дерев до 2030 року
- Спрямувати 20 мільярдів євро на рік на цілі біорізноманіття за допомогою різних джерел, включаючи фонди ЄС, національне та приватне фінансування. Інтегрувати питання природного капіталу і біорізноманіття в бізнес-практики;
- Стати одним зі світових лідерів у питаннях біорізноманіття та спрямувати зусилля для створення Глобальної платформи ООН з біорізноманіття.

В Україні наразі відбувається руйнування не лише населених пунктів та промислових об'єктів, а й довкілля внаслідок військових дій. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України шкода довкіллю в результаті російського вторгнення вже оцінюється трільйонами гривень, однак водночас із фіксацією збитків Україна невпинно працює над планами зеленого відновлення України враховуючи вимоги Зеленої угоди [53].

**Соціальний кліматичний фонд (SCF).** Перехід на новий спосіб господарювання та досягнення кліматичних цілей Зеленої угоди вимагає додаткових витрат та обмежень. Політика ЄС спрямована на створення рівних справедливих умов для всіх країн та верств населення, а отже передбачає фінансову підтримку для як для фермерів та мікропідприємств, що переходять на нові екологічно прийнятні технології відповідно до вимог Зеленої угоди, так і для громадян, витрати яких зростають у зв'язку із економічними та соціальними перетвореннями в результаті реалізації зеленої угоди. Якщо, наприклад, для фермерів передбачена система субсидій в межах CAP які покликані стимулювати фермерів виконувати екологічні вимоги ЄС, наприклад щодо відповідності стандартам GAEC (Good Agricultural and Environmental Conditions of Land) [54], та компенсувати потенційні втрати, то для компенсації негативного соціального впливу перетворення економіки створено спеціальний Соціальний кліматичний фонд. Діяльність соціального кліматичного фонду спрямована на вирішення соціального впливу нової системи торгівлі викидами для будівель і автомобільного транспорту та запобігання нерівності [54]. Базуючись на планах діяльності SCF, які розробляються державами-членами, фонд має забезпечити заходи підтримки та інвестиції на користь вразливих домашніх господарств, малих підприємств та користувачів транспорту (у зв'язку із запланованим поширенням плати за викиди на всі види транспорту). Заплановано, що Соціальний кліматичний фонд виділить 65 мільярдів євро з бюджету ЄС і загалом понад 86 мільярдів євро на підтримку найбільш уразливих громадян і малого бізнесу при переході на зелені технології.

**Екологічна освіта.** Перехід до кліматично нейтрального ЄС матиме значні соціальні та економічні наслідки, в тому числі суттєвий вплив на зайнятість. Соціально справедлива

«зелена» трансформація вимагає від людей не просто нових знань та навичок, а що найважливіше, екологічного світогляду, які допоможуть їм не лише приймати зміни, що відбуваються та справлятися з ними, а й сприяти трансформації світу. Отже саме освіта є запорукою сталого економічного зростання та стабільності суспільства в умовах екологічних трансформацій. Екологічна освіта має вирішувати широке коло завдань на всіх освітніх рівнях:

1. Формування «нової екологічно свідомої людини», громадянина зеленого світу - формування нових традицій, правил, суспільних норм, понять прийнятого-неприйнятого. Ці завдання мають вирішуватись на рівні базової екологічної освіти та виховання, в тому числі через екологічну просвітницьку діяльність;
2. Формування нових принципів ведення бізнесу, бізнес-моделей що будуються на сприйнятті екологічних вимог як імперативу будь-якої діяльності. Для цього потрібно як формування екологічного світогляду на рівні базової екологічної освіти та виховання так і подальше набуття знань та навичок в рамках екологічної складової професійної освіти;
3. Формування нових професійних навичок відповідно до нових вимог до виробництва, перепідготовка фахівців, поява нових професій.

Підвищується значення фахової екологічної освіти, спрямованої на підготовку фахівців, які будуть покликані:

— Виконувати спеціальні екологічно спрямовані наукові дослідження;

— Здійснювати фахову екологічну діяльність, наприклад з екологічного аудиту, розробки та експертизи проектів, екологічного моніторингу тощо;

— Здійснювати екологічну освітню діяльність на всіх рівнях, в тому числі шляхом популяризації екологічних ідей (екологічна освіта);

— Впливати на екологічно зважені політичні рішення та формування законодавства.

У сфері освіти та навчання в рамках зеленого курсу ЄС впроваджується широкий спектр ініціатив [56] спрямованих на трансформацію дошкільної, шкільної, вищої та професійної освіти у напрямку відповідності вимогам стійкого розвитку. Зокрема у 2022 році

були оприлюднені рамкові рекомендації ЄС щодо формування навчальних компетенцій у сфері сталого розвитку для учнів будь-якого віку (GreenComp) [58]. Встановлено 4 групи компетенцій: 1) Втілення цінностей сталого розвитку; 2) Врахування складності сталого розвитку; 3) Прагнення до сталого розвитку та 4) Уявлення про стійке майбутнє. В 4 групу компетенцій включені, наприклад, адаптивність та пошукове мислення.

Без екологічної освіти, а ще більше, без екологічної просвіти, всі плани створення нового сталого світу ризикують залишитись лише планами, оскільки будуть зустрічати шалений спротив та звичайне непорозуміння. Зміни не будуть легкими і тому вони будуть можливі лише за підтримки більшості населення. Вдалі перетворення можливі, лише якщо трансформація не є примусом та тиском «зверху», що зазвичай не буває по-справжньому успішним, а є звичною нормою життя, стандартом, шаблоном «правильної», суспільно прийнятної поведінки. Саме це завдання – встановлення та закріплення нових шаблонів сприйняття світу, і має виконувати базова екологічна освіта та просвіта. І в цьому велику роль мають відігравати екоактивісти, екологічні громадські організації, викладачі, студенти-екологи, які мають достатній рівень професійної обізнаності та відповідальності за поширення якісної та правдивої інформації щодо екологічних проблем та їх вирішення.

**Наукові дослідження.** Окремо слід відзначити роль прикладних та фундаментальних наукових досліджень для реалізації Зеленого курсу. Достатньо сказати, що вихід із сучасної екологічної кризи, заради чого й здійснюються всі масштабні трансформації в межах зеленої угоди, неможливий на старому рівні знань та технологій. Необхідна розробка технологій принципово нового рівня на новому рівні наукових знань та розуміння можливості розвитку та подальшого існування людського суспільства. Тому наукові дослідження, спрямовані на пошук нових технологій вироблення та зберігання енергії, енергозбереження, екологічно безпечного транспорту, створення замкнених виробничих циклів, сталих агро та урбоєкосистем, адаптації до змін клімату та пом'якшення їх наслідків тощо є пріоритетними не лише в Європейській науці а й в усьому світі. Можна сказати, що наука покликана дати людству шанс на виживання, створивши можливості для виходу з кризи, а освіта має навчити людей як жити в світі, зміненому завдяки науковими дослідженням.

### Висновки

З 2020 року майже всі аспекти життя країн Європейського Союзу знаходяться під впливом вимог Європейського Зеленого Курсу (EGD). Наука, освіта, технології – тренди їх розвитку задаються прагненням досягти амбітної мети – зробити Європу кліматично нейтральним континентом до 2050 року. Сільське та лісове господарство, транспорт, енергетика, промисловість, будівництво – все має змінитися, переходячи на нові стандарти, покликані зменшити антропогенну емісію парникових газів в атмосферу в намагаючись протидіяти змінам клімату. Трансформаційні зміни потребують величезних фінансових вкладень, що спонукає країни Євросоюзу розробляти відповідні економічні механізми для фінансування кліматично орієнтованих рішень та фінансової підтримки вразливих верст населення. Наполеглива та узгоджена діяльність країн-членів ЄС по реалізації зеленого курсу дозволила досягти помітного скорочення викидів парникових газів та знизити залежність від викопного палива завдяки енергозбереженню та розвитку альтернативної енергетики. Однак, для досягнення поставлених EGD цілей необхідні значні зусилля всіх країн ЄС та, що вкрай важливо, підтримка з боку населення. Однак, як показали наприклад масштабні протести європейських фермерів напочатку 2024 року, сприйняття Зеленої угоди в країнах ЄС є далеко не однозначно позитивним. Вимоги зеленого курсу часто сприймаються населенням та виробниками продукції як надмірне та необов'язкове навантаження, перешкода на шляху економічного зростання. Це дає привід до маніпулятивних популістських заяв опозиційних партій, що викликає побоювання щодо подальшого дотримання Зеленого курсу у випадку політичних змін в Європейських країнах та Європарламенті. Ці проблеми Зеленого курсу аналізуються, наприклад в статті видання *Politico* [58].

Однак, тенденції змін клімату, представлені в дослідженнях IPCC [4] фактично не оставляють людуству вибору – невжиття термінових заходів щодо декарбонізації погрожує загостренням глобальних економічних та соціальних проблем - голоду, зuboжіння, росту захворюваності та смертності, загострення збройних конфліктів тощо. Саме тому, наприклад, США також розроб-

ляє та впроваджує подібні до Європейського зеленого курсу програми трансформації енергетики, промисловості та сільськогосподарського виробництва, що дозволило їм починаючи з 2005 року також поступово зменшувати обсяг викидів [58]. Навіть Китай, незважаючи на традиційне нехтування екологічними питаннями та катастрофічне нарощуванням обсягу викидів парникових газів [58], в останні роки став світовим лідером у розвитку сонячної енергетики [32].

Україна наразі знаходиться у вкрай складному становищі, російська агресія спричиняє масштабні руйнування населених пунктів, промислових об'єктів та інфраструктури, завдає величезну шкоду довкіллю, яка вже оцінюється в трильйони гривень. Однак водночас іде розробка планів повоєнного відновлення України, які повинні враховувати актуальні європейські вимоги щодо декарбонізації економіки.

З цього приводу перспективним напрямом, наприклад, є розвиток сонячної енергетики, яка є найдешевшим на сьогодні способом виробництва енергії, для отримання якої, до того ж, не обов'язково концентрувати виробничі потужності на великих електростанціях, а отже нарощування виробництва енергії за рахунок встановлення сонячних панелей можна вже зараз, не очікуючи закінчення війни. В той же час гідроелектростанції в умовах змін клімату та зростання посушливості не виглядають оптимальним вибором, оскільки вироблення енергії ГЕС залежить від водності річок та знижується в посушливі періоди, до того ж будівництво водосховищ спричиняє додаткові витрати води на випаровування.

Варто також звернути увагу на перспективи участі агровиробників в програмах добровільної вуглецевої сертифікації, оскільки українські ґрунти Лісостепу та Степу мають високу потенційну спроможність щодо накопичення органічного вуглецю [60]. Участь у вуглецевих програмах є найбільш привабливою для господарств із середньо та сильноеродованими ґрунтами, відновлення яких дасть змогу акумулювати значну кількість вуглецю, що конвертується в вуглецеві кредити та дозволяє отримати супутні вигоди у вигляді відтворення родючості ґрунтів та покращення їх екологічних функцій. Для чорноземів України нами розроблений спосіб оцінки просторової неоднорідності

потенціалу секвестрації вуглецю [60] з виділенням ділянок з найвищим потенціалом секвестрації, що найкраще підходять для участі у вуглецевих програмах добровільної сертифікації.

Відновлення лісів, пошкоджених, а подекуди повністю знищених війною, має першочергове значення для відтворення здорового середовища життя. Однак і

заліснення та залуження земель, що були пошкоджені бойовими діями до унеможливлення отримувати сільськогосподарську продукцію прийнятної якості, також може розглядатися не лише як фіторе mediaційний та рекультивацийний захід, а й як діяльність, що сприяє секвестрації вуглецю та збагаченню біорізноманіття, а отже відповідає вимогам Зеленої угоди.

### Конфлікт інтересів

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

### Список використаної літератури

1. Communication from the commission to the European Parliament. The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019. COM/2019/640. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>
2. Forster P., Storelvmo T., Armour K. et al. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021, pp. 923–1054, DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>
3. The 5 Principles of Green Economy. Green Economy Coalition. 2022, January 20. URL: <https://www.greeneconomycoalition.org/news-and-resources/the-5-principles-of-green-economy>
4. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. Summary for Policymakers. In: *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* [Lee, H. & J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023, P. 1-34, DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
5. Banerjee C., Bevere L., Garbers H. et al. Natural catastrophes in 2023. *Sigma*, 01/2024. URL: <https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2024-01.html>
6. Buchholz K. Natural Disasters on the Rise Around the Globe. *Statista*. 2020. URL: <https://www-statista.com/chart/22686/number-of-natural-disasters-globally/>
7. Magnan A.K., Pörtner H.O., Duvat V.K.E. et al. Estimating the global risk of anthropogenic climate change. *Nature Climate Change*. 2021. Vol.11. P.879–885. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01156-w>
8. Simpson, N. P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., et al. A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth*. 2021, Vol. N 4. P.489–501. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ONEEAR.2021.03.005>
9. European climate risk assessment. Executive summary. EEA Report Luxembourg: Publications Office of the European Union, European Environment Agency. 2024. 40 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/european-climate-risk-assessment>
10. Global and European temperatures. *European Environment Agency, the official website* 29.06.2023 URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/global-and-european-temperatures?activeAccordion=546a7c35-9188-4d23-94ee-005d97c26f2>
11. *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press; 2023. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
12. Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L. Global warming and drought impacts in the EU : JRC PESETA IV project : Task 7, Publications Office. European Commission, Joint Research Centre, 2023. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/597045>
13. Blauhut V., Stoelzle M., Ahopelto L. et al. Lessons from the 2018-2019 European droughts: a collective need for unifying drought risk management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2022. Vol. 22. P. 2201–2217. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-22-2201-2022>
14. Erian W., Pulwarty R., Vogt J. V. et al. et al. GAR Special Report on Drought 2021, UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2021, 2.10 p. URL: <https://www.undrr.org/media/49386/download>
15. Regulation 2021/1119 - Framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'). *Official Journal of the European Union*, L 243/1. 9.7.2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>
16. LIFE ETX (2021). СТВ ЄС 101 – Посібник для початківців із системи торгівлі викидами ЄС. 2022. 35 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/02/systema-torgivli-vykydamy-es-posibnyk.pdf>

17. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 Establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC. Official Journal of the European Union, L 275/32. 25.10.2023. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32003L0087>
18. Greenhouse gas emissions under the EU Emissions Trading System. European Environment Agency. Published 24.10.2023. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-under-the>
19. Tiseo I GHG emissions in the EU – Statistics & Facts. *Statista*. Apr 29, 2024. URL: <https://www.statista.com/topics/4958/emissions-in-the-european-union/#topicOverview>
20. Cozijnsen J. Tightening EU ETS leads to zero emissions before 2040. Published 23.02.2023. URL: <https://www.emissierechten.nl/column/tightening-eu-ets-leads-to-zero-emissions-before-2040>
21. ETS2: buildings, road transport and additional sectors. European Commission. URL: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en)
22. Carbon Border Adjustment Mechanism. European Commission. URL: [https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism\\_en#where-to-report](https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en#where-to-report)
23. Green Deal: Greening freight for more economic gain with less environmental impact. 11.07.2023. European Commission. URL: [https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/green-deal-greening-freight-more-economic-gain-less-environmental-impact-2023-07-11\\_en](https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/green-deal-greening-freight-more-economic-gain-less-environmental-impact-2023-07-11_en)
24. EU Climate Action Progress Report 2023. Report from the Commission to the European Parliament and the Council. COM. 653. Brussels, 24.10.2023. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52023DC0653>
25. RefuelEU aviation initiative: Council adopts new law to decarbonise the aviation sector. Council of the EU. Press release 9 October, 2023. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/10/09/refuel-eu-aviation-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-aviation-sector/>
26. Sustainable Aviation Fuel. Alternative Fuels Data Center U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. URL: <https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel>
27. Alexe P., Briggs P. Why REFuel EU may not work? *Bird&Bird*. 21.02.2024. URL: <https://www.twobirds.com/en/insights/2024/global/why-refuel-eu-may-not-work#:~:text=Aviation%20fuel%20suppliers%20are%20mandated,proportions%20gradually%20increasing%20until%202050>
28. Tiseo I. Share of greenhouse gas emissions in the European Union 2022, by sector. *Statista*. URL: <https://www.statista.com/statistics/1325132/ghg-emissions-shares-sector-european-union-eu/>
29. REPowerEU. European Commission URL: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en)
30. Corbeau A-S, Losz, A. REPowerEU Tracker. *Center on Global Energy Policy at Columbia University*/ 16.11.2023. URL: <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/repowereu-tracker/>
31. CO2 Emissions in 2023 A new record high, but is there light at the end of the tunnel? International Energy Agency. 2024. 24 p. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/33e2badc-b839-4c18-84ce-f6387b3c008f/CO2Emissionsin2023.pdf>
32. Hemetsberger, W., Scmela, M., & Cruz-Capellan, T. SolarPower Europe. Global Market Outlook for Solar Power 2023-2027. 2023. URL: <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027/detail>
33. Rangelova K., Fulghum N., Murdoch J., Broadbent, H. EU fossil generation below 25% for the first month ever. *Ember*. 7.05.2024. URL: <https://ember-climate.org/insights/in-brief/eu-fossil-generation-below-25-for-the-first-month-ever/>
34. Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe. *European Environment Agency's Home Page*. 24.10.2023. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1?activeAccordion=546a7c35-9188-4d23-94ee-005d97c26f2b>
35. Schieldrop B. German solar power prices are collapsing as market hits solar saturation. *SEB Research*. 2024. URL: <https://research.sebgroup.com/macro-ficc/reports/49776>
36. European Union. Electricity Transition. *Ember*. URL: <https://ember-climate.org/countries-and-regions/regions/european-union/>
37. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings. URL: [https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj#:~:text=Directive%20\(EU\)%202024/1275%20of%20the%20European%20Parliament%20and%20of%20the%20Council%20of%202024%20April%202024%20on%20the%20energy%20performance%20of%20buildings%20\(recast\)%20\(Text%20with%20EEA%20relevance\)](https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj#:~:text=Directive%20(EU)%202024/1275%20of%20the%20European%20Parliament%20and%20of%20the%20Council%20of%202024%20April%202024%20on%20the%20energy%20performance%20of%20buildings%20(recast)%20(Text%20with%20EEA%20relevance))
38. Chartier, O., Krüger, T., Folkesson Lillo, C. et al. Mapping and analysis of CAP strategic plans – Assessment of joint efforts for 2023-2027, European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development, Publications Office of the European Union, 2023. DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2762/71556>

39. Farm to Fork Strategy. For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. European Commission. 2020. 23p. URL: [https://food.ec.europa.eu/document/download/472acca8-7f7b-4171-98b0-ed76720d68d3\\_en?filename=f2f\\_action-plan\\_2020\\_strategy-info\\_en.pdf](https://food.ec.europa.eu/document/download/472acca8-7f7b-4171-98b0-ed76720d68d3_en?filename=f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf)
40. Soil Strategy for 2030. Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. Communication From the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions EU. 2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699>
41. Radley, G., Keenleyside, C., Freluh-Larsen, A. et al. Technical guidance handbook – Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU – Executive summary, European Commission, Directorate-General for Climate Action, Publications Office of the European Union, 2021. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2834/12087>
42. Communication from the commission to the European Parliament and the Council. Sustainable Carbon Cycles. European Commission. Brussels, 15.12.2021. URL: [https://climate.ec.europa.eu/document/download/26c00a03-41b0-4d35-b670-fca56d0e5fd2\\_en?filename=com\\_2021\\_800\\_en\\_0.pdf](https://climate.ec.europa.eu/document/download/26c00a03-41b0-4d35-b670-fca56d0e5fd2_en?filename=com_2021_800_en_0.pdf)
43. Ahlgren K. Carbon farming - a path to more sustainable agriculture. *Fluxes*. 2023. Vol.2. P. 45-56. ICOS. URL: <https://www.icos-cp.eu/fluxes/2/carbon-farming-path-more-sustainable-agriculture>
44. Lal R, Smith P, Jungkunst H. The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2018. Vol. 73. P. 145A–152A. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.73.6.145>
45. Scharlemann, J. P., Tanner, E. V., Hiederer, R., & Kapos, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*. 2014. Vol. 5. N 1. P. 81–91. DOI: <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>
46. Achasova A., Achasov A., Titenko G., Krivtsov V. Some Approaches to Measuring Soil’s Carbon Sequestration Potential in Ukraine. In Proceedings of the 5th International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence (ISC SAI 2022) - *Sustainable Development and Global Climate Change*. 2022. P. 40-50. DOI: <https://doi.org/10.5220/0011341000003350> ISBN: 978-989-758-600-2
47. Brümmer C., Schrader F., Kolle O. et al. The enigma of a massive carbon imbalance – Two decades of cropland eddy flux measurements at Gebesee, Thuringia, Germany. *EGU General Assembly 2023*, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-15905. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-15905>
48. VM0042 Methodology for Improved Agricultural Land Management, v2.0 - Verra. 2024. URL: <https://verra.org/methodologies/vm0042-methodology-for-improved-agricultural-land-management-v2-0/>
49. The emergence of European nature-based carbon credit markets. *Environmental Finance*. 7.02.2024. URL: <https://www.environmental-finance.com/content/market-insight-the-emergence-of-european-nature-based-carbon-credit-markets.html>
50. Hope R. Soil carbon controversy: Unfounded concerns or healthy skepticism? *S&P Global*, 3.04.2023. URL: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/agriculture/040323-soil-carbon-controversy-unfounded-concerns-or-healthy-skepticism>
51. EU biodiversity strategy for 2030 – Bringing nature back into our lives. European Commission, Directorate-General for Environment. Publications Office of the European Union, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2779/677548>
52. EU Biodiversity Strategy Actions Tracker. URL: <https://dopa.jrc.ec.europa.eu/kcbd/actions-tracker/#Strictly%20protect%20at%20least%20a%20third%20of%20the%20EU%E2%80%99s%20protected%20areas,%20including%20all%20remaining%20EU%20primary%20and%20old-growth%20forests.>
53. Рябчин О., Кулага Д. Зелене відновлення України: керівні принципи та інструменти для тих, хто ухвалює рішення. КСЕ. UNDP. 2023 189 с. URL: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-04/undp-ua-green-recovery-ukr.pdf>
54. Standards on good agricultural and environmental conditions of land – Introductory handbook. FAO. 2021. 28 p. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/979b293d-264d-43c0-b2c8-3b076449814b/content>
55. Regulation (EU) 2023/955 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a Social Climate Fund and amending Regulation (EU) 2021/1060. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/955/oj>
56. Green education initiatives. European Education Area. European Commission. URL: <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/green-education/about-green-education>
57. Bianchi G., Pisiotis U., Cabrera Giraldez M. Green Comp the European sustainability competence framework, Punie, Y. and Bacigalupo, M. (Eds.), EUR 30955 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2760/13286>
58. Berthelsen R. G. Mounting discontent augurs badly for EU Green Deal. *POLITICO*. 2023. URL: <https://www.politico.eu/article/discontent-eu-green-deal-climate-change-backlash/>
59. Ritchie H., Roser M. CO<sub>2</sub> emissions. *Our World in Data*. 2024. URL: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
60. Achasov A., Achasova A., Siedov A. Estimation of carbon sequestration potential by soils of the Forest-Steppe of Ukraine based on the use of geoinformation technologies and remote sensing data. *Proceeding of XVII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”* 7–10 November 2023, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520004>

**A. O. ACHASOVA**, PhD (Biology),

Researcher of the Remote Sensing and Pedometric Laboratory

e-mail: [achasova.alla@vumop.cz](mailto:achasova.alla@vumop.cz) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6294-2445>

*Research Institute for Soil and Water Conservation*

Zabovřeska str, 250, Prague, 15600, Czech Republic

**A. B. ACHASOV**, DSc (Agriculture), Prof.

Head of the Department of Ecology and Management of Environment

e-mail: [achasov.ab@gmail.com](mailto:achasov.ab@gmail.com) ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5009-7184>

*V. N. Karazin Kharkiv National University*

Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

## THE EUROPEAN GREEN DEAL AND PROSPECTS FOR UKRAINE

In January 2020, the European Union launched the European Green Deal, a comprehensive programme for the transition to new environmental standards in all sectors of the economy with the aim of making Europe the first carbon-neutral continent. Given Ukraine's European ambitions, it is important for it to understand the requirements of the Green Deal and assess the possibilities of taking these requirements into account in the post-war reconstruction of Ukraine.

**Purpose.** To examine the requirements and current achievements in the implementation of the European Green Deal with a view to the prospects of Ukraine's post-war recovery.

**Results.** Based on the EU regulations, current thematic reports, statistics and other open-source publications, the article analyses the main components of the European Green Deal in the context of plans and current achievements in their implementation in the following areas: legislative support, emissions trading system, carbon emissions regulation mechanism at the EU border, transport, energy, construction, agriculture and land use, ecosystem and biodiversity restoration, financial support of the green transition, science and education. Some promising directions of post-war recovery of Ukraine in the context of the Green Deal are considered.

**Conclusions.** Despite the harsh criticism of the European Green Deal, it is vital to overcome the most acute environmental crisis in history, which threatens sustainable development and possibly the very existence of humanity. During the first 3 years of the Green Deal implementation, significant progress has already been made in reducing greenhouse gas emissions, although there are still some difficulties and obstacles. Ukraine has a significant potential for post-war restoration of the energy and industry sector in line with environmental requirements, but this will require significant investments.

**KEYWORDS:** *European Green Deal, climate change, green growth, emissions reduction, renewable energy, environmental education, carbon farming, sustainable development*

### References

1. Communication from the commission. The European Green Deal. (2019). Brussels, 11.12.2019. COM/2019/640. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>
2. Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W.,...Shang, H. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Masson-Delmotte, V., P. Shai, A. Pirani, S.L. Connors,... & B. Shou (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 923–1054. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>
3. The 5 Principles of Green Economy. (2022, January 20). Green Economy Coalition. Retrieved from <https://www.greeneconomycoalition.org/news-and-resources/the-5-principles-of-green-economy>
4. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In: *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 and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
5. Banerjee, C., Bevere, L., Garbers, H., Grollmund, B., Lechner, R., & Weigel, F. (2024). Sigma, 01/2024: Natural catastrophes in 2023. Retrieved from <https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2024-01.html>
6. Buchholz, K. (2020). Natural Disasters on the Rise Around the Globe. *Statista*. Retrieved from <https://www.statista.com/chart/22686/number-of-natural-disasters-globally/>

7. Magnan, A.K., Pörtner, H.O., Duvat, V.K.E. Garschagen, M., Guinder, V.A., Zommers, Z., Hoegh-Guldberg, O. & Gattuso, J.-P. (2021). Estimating the global risk of anthropogenic climate change. *Nature Climate Change*, 11, 879–885. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01156-w>
8. Simpson, N. P. , Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., ... & Trisos, C. H. (2021). A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth*, 4(4), 489–501. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005>
9. European climate risk assessment. Executive summary. (2024). EEA Report Luxembourg: Publications Office of the European Union, European Environment Agency. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/european-climate-risk-assessment>
10. Global and European temperatures. (2023, June 29). *European Environment Agency, the official website*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/global-and-european-temperatures?activeAccordion=546a7c35-9188-4d23-94ee-005d97c26f2>
11. Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
12. Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Basselink, B., De Roo, A., & Feyrer, L. (2020). Global warming and drought impacts in the EU: JRC PESETA IV project : Task 7. Publications Office European Union. Luxembourg, ISBN 978-92-76-12947-9 <https://data.europa.eu/doi/10.2760/597045>
13. Blauhut, V., Stoelzle, M., Ahopelto, L. Brunner, M. I., ... & Živković, N. (2022). Lessons from the 2018-2019 European droughts: a collective need for unifying drought risk management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22, 2201–2217. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-2201-2022>
14. Erian, W., Pulwarty, R., Vogt, J. V. et al. et al. (2021). GAR Special Report on Drought 2021, UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2021, 210 p. Retrieved from <https://www.undrr.org/media/49386/download>
15. Regulation 2021/1119 - Framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'). (2021, Jul 9). *Official Journal of the European Union*, L 243/1. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>
16. LIFE ETX (2021). EU ETS 101 - A Beginner's Guide to the EU Emissions Trading System. (2022). Retrieved from <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/02/systema-torgivli-vykydamy-es-posibnyk.pdf> (In Ukrainian)
17. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 Establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC. (2023). *Official Journal of the European Union*, L 275/32. 25.10.2023. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32003L0087>
18. Greenhouse gas emissions under the EU Emissions Trading System. (2023, Oct 24). European Environment Agency. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-under-the>
19. Tiseo, I. (2024, Apr 29). GHG emissions in the EU – Statistics & Facts. *Statista*. Retrieved from <https://www.statista.com/topics/4958/emissions-in-the-european-union/#topicOverview>
20. Cozijnsen, J. (2023, Feb 02). Tightening EU ETS leads to zero emissions before 2040. Retrieved from <https://www.emissierechten.nl/column/tightening-eu-ets-leads-to-zero-emissions-before-2040>
21. ETS2: buildings, road transport and additional sectors. (2023). European Commission. Retrieved from [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en)
22. Carbon Border Adjustment Mechanism. European Commission. (2023). Retrieved from [https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism\\_en#where-to-report](https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en#where-to-report)
23. Green Deal: Greening freight for more economic gain with less environmental impact. (2023, July 11). European Commission. Retrieved from [https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/green-deal-greening-freight-more-economic-gain-less-environmental-impact-2023-07-11\\_en](https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/green-deal-greening-freight-more-economic-gain-less-environmental-impact-2023-07-11_en)
24. EU Climate Action Progress. (2023, Oct 24). Report from the Commission to the European Parliament and the Council. Brussels. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52023DC0653>
25. RefuelEU aviation initiative: Council adopts new law to decarbonise the aviation sector. (2023, Oct 9). Council of the EU. Retrieved from <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/10/09/refueu-aviation-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-aviation-sector/>
26. Sustainable Aviation Fuel. *Alternative Fuels Data Center. U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy*. Retrieved from <https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel>
27. Alexe P., Briggs P. (2024, Feb 21). Why REFuel EU may not work? *Bird&Bird*. Retrieved from <https://www.twobirds.com/en/insights/2024/global/why-refuel-eu-may-not-work#:~:text=Aviation%20fuel%20suppliers%20are%20mandated,proportions%20gradually%20increasing%20until%202050>
28. Tiseo, I. (2024, May 22). Share of greenhouse gas emissions in the European Union 2022, by sector. *Statista*. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/1325132/ghg-emissions-shares-sector-european-union-eu/>

29. REPowerEU. (2022, Oct 3). European Commission Retrieved from [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en)
30. Corbeau, A.-S., & Losz, A. (2024, Nov 16). REPowerEU Tracker. *Center on Global Energy Policy at Columbia University* Retrieved from <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/repowereu-tracker/>
31. CO2 Emissions in 2023. A new record high, but is there light at the end of the tunnel? (2024). International Energy Agency. Retrieved from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/33e2badc-b839-4c18-84ce-f6387b3c008f/CO2Emissionsin2023.pdf>
32. Hemetsberger, W., Scmela, M., & Cruz-Capellan, T. (2023). Global Market Outlook for Solar Power 2023-2027. Retrieved from <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027/detail>
33. Rangelova K., Fulghum N., Murdoch J., & Broadbent, H. (2024, May 7). EU fossil generation below 25% for the first month ever. *Ember*. Retrieved from <https://ember-climate.org/insights/in-brief/eu-fossil-generation-below-25-for-the-first-month-ever/>
34. Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe. (2023, Oct 24). *European Environment Agency's Home Page*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1?activeAccordion=546a7c35-9188-4d23-94ee-005d97c26f2b>
35. Schieldrop, B. (2024, May 21). German solar power prices are collapsing as market hits solar saturation. *SEB Research*. Retrieved from <https://research.sebgroup.com/macro-ficc/reports/49776>
36. European Union. The EU accelerates its electricity transition in the wake of the energy crisis. (2024, May) *Ember*. Retrieved from <https://ember-climate.org/countries-and-regions/regions/european-union/>
37. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings. (2024, May 8). *Official Journal of the European Union. L series*. Retrieved from [https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj#:~:text=Directive%20\(EU\)%202024/1275%20of%20the%20European%20Parliament%20and%20of%20the%20Council%20of%202024%20April%202024%20on%20the%20energy%20performance%20of%20buildings%20\(recast\)%20\(Text%20with%20EEA%20relevance\)](https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj#:~:text=Directive%20(EU)%202024/1275%20of%20the%20European%20Parliament%20and%20of%20the%20Council%20of%202024%20April%202024%20on%20the%20energy%20performance%20of%20buildings%20(recast)%20(Text%20with%20EEA%20relevance))
38. Chartier, O., Krüger, T., Folkesson Lillo, C. et al. (2023). Mapping and analysis of CAP strategic plans – Assessment of joint efforts for 2023-2027. European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2762/71556>
39. Farm to Fork Strategy. For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. (2020). European Commission. Retrieved from [https://food.ec.europa.eu/document/download/472acca8-7f7b-4171-98b0-ed76720d68d3\\_en?filename=f2f\\_action\\_plan\\_2020\\_strategy-info\\_en.pdf](https://food.ec.europa.eu/document/download/472acca8-7f7b-4171-98b0-ed76720d68d3_en?filename=f2f_action_plan_2020_strategy-info_en.pdf)
40. Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. (2021). Communication From the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions EU. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699>
41. Radley, G., Keenleyside, C., Freligh-Larsen, A. et al. (2021). Technical guidance handbook – Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU. Executive summary. European Commission, Directorate-General for Climate Action. Publications Office of the European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2834/12087>
42. Communication from the commission to the European Parliament and the Council. Sustainable Carbon Cycles. (2021, Dec 15). European Commission. Retrieved from [https://climate.ec.europa.eu/document/download/26c00a03-41b0-4d35-b670-fca56d0e5fd2\\_en?filename=com\\_2021\\_800\\_en\\_0.pdf](https://climate.ec.europa.eu/document/download/26c00a03-41b0-4d35-b670-fca56d0e5fd2_en?filename=com_2021_800_en_0.pdf)
43. Ahlgren, K. (2023). Carbon farming - a path to more sustainable agriculture. *Fluxes*, 2, 45-56. ICOS. Retrieved from <https://www.icos-cp.eu/fluxes/2/carbon-farming-path-more-sustainable-agriculture>
44. Lal, R, Smith, P, Jungkunst, H. (2018). The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73, 145A–152A. <https://doi.org/10.2489/jswc.73.6.145>
45. Scharlemann, J. P., Tanner, E. V., Hiederer, R., & Kapos, V. (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5(1), 81–91. <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>
46. Achasova, A., Achasov, A., Titenko, G., & Krivtsov, V. (2022). Some Approaches to Measuring Soil's Carbon Sequestration Potential in Ukraine. Proceedings of the 5th International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence (ISC SAI 2022) - *Sustainable Development and Global Climate Change*, 40-50. ISBN: 978-989-758-600-2 <https://doi.org/10.5220/0011341000003350>
47. Brümmer, C., Schrader, F., Kolle, O. et al. (2023). The enigma of a massive carbon imbalance – Two decades of cropland eddy flux measurements at Gebesee, Thuringia, Germany. *EGU General Assembly 2023*, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-15905, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-15905>
48. VM0042 Methodology for Improved Agricultural Land Management, v2.0 - Verra. (2024, May 30). Retrieved from <https://verra.org/methodologies/vm0042-methodology-for-improved-agricultural-land-management-v2-0/>

49. The emergence of European nature-based carbon credit markets. (2024, Feb 7). *Environmental Finance*. Retrieved from <https://www.environmental-finance.com/content/market-insight/the-emergence-of-european-nature-based-carbon-credit-markets.html>
50. Hope, R. (2023, Apr 3). Soil carbon controversy: Unfounded concerns or healthy skepticism? *S&P Global*. Retrieved from <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/agriculture/040323-soil-carbon-controversy-unfounded-concerns-or-healthy-skepticism>
51. EU biodiversity strategy for 2030 – Bringing nature back into our lives. (2021). European Commission, Directorate-General for Environment. Publications Office of the European Union. Retrieved from <https://data.europa.eu/doi/10.2779/677548>
52. EU Biodiversity Strategy Actions Tracker. (2023). Retrieved from <https://dopa.jrc.ec.europa.eu/kcbd/actions-tracker/#Strictly%20protect%20at%20least%20a%20third%20of%20the%20EU%E2%80%99s%20protected%20areas,%20including%20all%20remaining%20EU%20primary%20and%20old-growth%20forests>
53. Ryabchyn, O., Kulaga, D. (2023). Green recovery of Ukraine: guidelines and tools for decision makers. KSE. UNDP. Retrieved from <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-04/undp-ua-green-recovery-ukr.pdf> (In Ukrainian)
54. Standards on good agricultural and environmental conditions of land – Introductory handbook. (2021). FAO. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/979b293d-264d-43c0-b2c8-3b076449814b/content>
55. Regulation (EU) 2023/955 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a Social Climate Fund and amending Regulation (EU) 2021/1060. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/955/oj>
56. Green education initiatives. (2021). European Education Area. European Commission. Retrieved from <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/green-education/about-green-education>
57. Bianchi, G., Pisiotis, U. & Cabrera Giraldez, M. (2022). GreenComp the European sustainability competence framework, [Punie, Y. & Bacigalupo, M. (Eds.)]. EUR 30955 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/13286>
58. Berthelsen, R. G. (2023, Sep 26). Mounting discontent augurs badly for EU Green Deal. POLITICO. Retrieved from <https://www.politico.eu/article/discontent-eu-green-deal-climate-change-backlash/>
59. Ritchie, H., & Roser, M. (2020). CO<sub>2</sub> emissions. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from <https://ourworldindata.org/co2-emissions> [Online Resource]
60. Achasov, A., Achasova, A., & Siedov, A. (2023). Estimation of carbon sequestration potential by soils of the Forest-Steppe of Ukraine based on the use of geoinformation technologies and remote sensing data. *Proceeding of XVII International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 7–10 November 2023, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520004>

The article was received by the editors 19.04.2024

The article is recommended for printing 21.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-04>

УДК (UDC) 502.3/7 504.062.2 504.062.4

**С. П. СОНЬКО<sup>1</sup>**, д-р географ. наук, проф.,  
професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності  
e-mail: [sp.sonko@gmail.com](mailto:sp.sonko@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7080-9564>

**І. О. ЗОЗУЛЯ<sup>1</sup>**,  
аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності  
e-mail: [ivanov11dfnz@ukr.net](mailto:ivanov11dfnz@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-6024-5498>

<sup>1</sup>Уманський національний університет садівництва  
вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська область, Україна

## ЕКОЛОГІЧНО ЗБАЛАНСОВАНІ АГРОЕКОСИСТЕМИ – ЗАПОРУКА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Зважаючи на масштабне загострення глобальної екологічної проблеми попри майже тридцятирічне впровадження Концепції сталого розвитку, розробленої у Ріо-де-Жанейро (1992), вона потребує сьогодні додаткового дослідження та обґрунтування. Самий факт масштабного загострення глобальної екологічної проблеми примушує засумніватись у методологічній коректності концепції. Оскільки споживання природних ресурсів, а, отже, і екологічний стан навколишнього середовища великою мірою залежить від розуміння екологічної сутності енергетичних відносин в екосистемах, варто орієнтуватись на наукові положення вітчизняної школи фізичної економії, опрацьовані в роботах Сергія Подолинського, Володимира Вернадського, Миколи Руденка, Віктора Письмака. Саме відповідно до цих положень вимагає перегляду система критеріїв-індикаторів сталого розвитку.

Запропоноване нове бачення теоретичних підвалів для розробки таких індикаторів. Сучасне, постіндустріальне розуміння змісту сталого розвитку автори насичують ноосферним змістом. Спираючись на розроблену в попередніх авторських роботах концепцію ноосферних екосистем, також робиться спроба якісно нового обґрунтування цілей і напрямків планетарного розвитку усєї людської популяції.

**Висновки.** Лише в наближенні механізмів природокористування до природних аналогів автори вбачають майбутній тренд реалізації концепції сталого розвитку. Пропонується прикладне впровадження авторських теоретичних положень при реформуванні адміністративно-територіального устрою.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** концепція, критерій-індикатор, ноосфера, енергетичні відносини, планетарний розвиток, сталий розвиток

**Як цитувати:** Сонько С. П., Зозуля І. О. Екологічно збалансовані агроєкосистеми – запорука сталого розвитку. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2024. Вип. 41. С. 57-69. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-04>

**In cites:** Sonko, S.P., & Zozulia, I.O. (2024). Environmentally balanced agroecosystems – key to sustainable development. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (41), 57-69. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-04> (in Ukrainian)

### Вступ

У 2022 році минуло 30 років з дня проведення у Ріо-де-Жанейро конференції ООН зі навколишнього середовища та розвитку. Концепція сталого розвитку (КСР), розроблена тоді, як остання надія мешканців планети на гармонізацію відносин природи і суспільства, пройшла складний шлях від образу світлого майбутнього до повної зневіри у її ідеалах [1]. Чому ж так? Передусім через те, що за ці 30 років задекларо-

ване у 1992 році остаточне вирішення глобальної екологічної проблеми не те що не сталося, ця проблема увесь час загострюється, причому темпами, які людство собі навіть не уявляло до Ріо-1992. «Обмеження зростання» зі стартової роботи Медоуза якось не виходить, бо думати «про ресурси для майбутніх поколінь» не зручно. Життя швидкоплинне і споживати ті самі ресурси хочеться сьогодні і зараз. І якомога

© Сонько С. П., Зозуля І. О., 2024



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

більше. Заклики багатих країн, (з представників яких був скликаний Римський клуб), до «обмеження» споживання ресурсів виглядають блюзнірством, оскільки ці країни чомусь не відмовляються від високих стандартів життя, які власне і забезпечує хижацьке споживання ресурсів [2].

Проте, усвідомлення цих негативних тенденцій поступово приходить. Напевне, сьогодні у світі не існує більш жорстких ніж у багатих країнах того самого «золотого мільярду» законодавчих норм щодо охорони природи, збереження біорізноманіття, обмеження викидів. Навіть більше, на другому форумі у Йоханнесбурзі (2012) у підсумковому документі була «кинута кістка» бідним країнам у вигляді високих стандартів життя запровадженням таких «індикаторів» сталого розвитку як ВВП (валовий внутрішній продукт) та ІЛР (індекс людського розвитку). Мовляв, треба щоб усі жили добре, або, принаймні, до цього прагнули. На нашу думку, саме з того моменту концепція сталого розвитку перетворилась на такий собі «Маніфест комуністичної партії», в якому прописано, що бідні повинні жити краще за багатих [3]. Проте тип ресурсоспоживання як у бідних так і у багатих країн не те що не змінився, він став усе більш хижацьким. Бо країни, що розвиваються сказали – «нам також можна», і стали досягати високого «людського розвитку» за рахунок того чого в них є найбільше – природних ресурсів. Виявилось, що попри надсучасні енергоефективні, нано- та інформаційні технології, нові території, на яких є природні ресурси, залишаються привабливими навіть у XXI столітті, свідченням чого є загарбницька війна Росії проти України.

Через це концепція сталого розвитку у її сучасному варіанті має бути переглянута з причини теоретичної некоректності головних своїх методологічних підвалин. Сьогодні усім зрозуміло, що для досягнення «сталості» розвитку країн світу вкрай потрібна ревізія як головних рушійних сил виникнення світових екологічних проблем [4], так і напрямків їх розв'язання, які відбиті у так званих «індикаторах сталого розвитку».

Необхідність перегляду цієї концепції обумовлена також тим, що ще на зорі її появи як окремі вчені так і цілі наукові колективи взяли за завдання втілювати її в життя під прапором «стратегії сталого розвитку», спрямованої не те що на вирішення глобальної екологічної проблеми, а на ко-

мунальне господарство, туризм, освіту та інші галузі, до яких незграбно були притягнуті високі ідеали Ріо. Насправді ця активність втілювалась у розробці цілої низки державних документів [5], наукових програм багатьох науково-дослідних установ, та державних стандартів підготовки фахівців з охорони навколишнього середовища [6, 7].

Сьогодні досягнення на ниві високих технологій у комп'ютерній техніці, генетиці, нанотехнологіях спонукали до зниження значення природно-ресурсного потенціалу у розвитку економіки окремих країн. І дійсно, ці досягнення поступово переводять у область віри а не раціонального мислення сподівання людства на краще майбутнє. Так, згідно К. В. Корсаку, перехід людства до 7-го виробничо-технологічного укладу автоматично вирішить проблеми природокористування, замінивши біосферні ресурси на синтетичні види їжі та матеріалів, що дасть змогу наростити кількість населення до понад 20 млрд. [8]. Проте, зважаючи на головні екологічні закони таке твердження виглядає недолугим оскільки, саме надмірне споживання людством природних (а передусім, біосферних) ресурсів стало головною причиною як загострення глобальної екологічної проблеми, так і розробки концепції сталого розвитку.

Відтак, зважаючи на явні ознаки девальвації концепції сталого розвитку у її тридцяті річницю, найскоріше, у її зміст має бути покладена головна умова «сталості», констатована, але до кінця не «розшифрована» у визначенні: «сталій розвиток – це такий, який забезпечує безбідне існування не лише сучасним, а й майбутнім поколінням людей на Землі» [2]. І виконання цієї умови передбачає прагнення до таких механізмів природокористування, які не порушують порядок, що склався у живій природі впродовж понад 4 млрд. років існування біосфери [9]. Саме такий поважний вік підтримки гомеостазу біосфери вкотре засвідчує високу наукову коректність поняття «сталості». Головною запорукою такої сталості є наявність біосфери та природних екосистем у стані, в якому вони спроможні зменшити, елімінувати, або взагалі «розчинити» у просторі негативний антропогенний вплив [10-12]. Сьогодні така «сталість» біосфери в зайве підтверджується тим невпинним і незворотнім процесом відтворення екосистеми Великого Лугу, яка знову, як і в 1954 році вдруге ризикує бути

знищеною сучасними завзятими підкорювачами природи. Власне, умова наявності життя, носієм якого є природна біота і повинна стати основоположною умовою забезпечення сталого розвитку [13]. Саме до цього закликали і науково доводили у своїх працях видатні представники вітчизняної школи фізичної економії.

*Головною гіпотезою* дослідження є припущення про найбільш повну реалізацію ідей сталого розвитку через наближення природокористування до речовинно-енергетичних механізмів, що існують в природних екосистемах. Найбільш реалістичним таке наближення може бути у сільському господарстві – галузі, яка як за типом речовинно-енергетичних відносин, так і за займаною площею планети є найближчою до біосфери.

*Головні завдання:*

### *Теорія та методи*

Екологічний зміст розподілу енергії по харчових ланцюгах в екосистемах значною мірою залежить не лише від біосферних механізмів, а й від сучасного надмірного споживання людством природних ресурсів. Напевне, енергетична складова відносин організму і середовища свого часу сформувала головні теоретичні підвалини фізичної економії. Відомо, що ще наприкінці 19 століття наш видатний співвітчизник Сергій Подолинський, який вважається у світі «батьком» фізичної економії зачитувався працями Рені Карно – одного з фундаторів другого початку термодинаміки. Саме Подолинський довів, що людська праця дає змогу збільшити кількість вільної енергії на поверхні планети. Саме завдяки праці створюються усі матеріальні надбання цивілізації, які надалі інтенсифікують процес природокористування [14].

Вітчизняний учений Віктор Письмак доводить [15], що в результаті людської природоперетворюючої діяльності відбувається накопичення і набуття нової якості не речовиною, в якій міститься пасивна атомарна енергія в негентропічному стані, а тією енергією, яку містять у собі речовинно-енергоносії (ентропіки). Саме цей феномен дає змогу здійснювати енергетичні перетворення у виробничих процесах (обробити метал на верстаті, пролетіти літаку, зорати трактором ділянку землі, та ін.). В цьому

- науково обґрунтувати ноосферний зміст концепції сталого розвитку;

- на прикладі агроєкосистем показати просторово-часову еволюцію нашого виду з окресленням майбутніх трендів, які б відповідали уявленням про сталий розвиток;

- відродити традиції вітчизняної фізичної економії, використавши її головні положення при розробці осучаснених індикаторів сталого розвитку;

- адаптувати знайдені індикатори до об'єктивних механізмів формування агроєкосистем і покласти їх в основу адміністративно-територіального устрою.

*Об'єктом дослідження* є концепція сталого розвитку як програмний документ майбутнього розвитку людства.

*Предметом дослідження* є науковий зміст концепції сталого розвитку.

випадку така енергія переходить у навколишній простір, зазнає ентропії, ніби «випаровується» безповоротно в космос у величезних невідновлюваних обсягах. Згідно В. Письмака загальний об'єм тієї речовини, що використовує людина у вигляді виробів довгострокового вжитку, завжди буде меншим, ніж об'єм речовини, добутої з природи. Через це загальна маса нашої планети має тенденцію до зменшення.

Цікаво, що співзвучні ідеї (щодо зменшення маси Землі) викладені в концепції екологічного сліду людства [16 – 18], який останніми роками розглядається у переліку індикаторів сталого розвитку [19].

Історія становлення фізичної економії йде корінням до нового часу і початку епохи індустріалізму. Саме тоді в роботах класиків політичної економії (меркантилістів) значне місце надавалось фізичним еквівалентам оцінки результатів праці. Саме тоді закладалась світова економічна система, заснована на загальних запасах таких коштовних металів як золото і срібло. Ця система проіснувала аж до середини 20 століття і не дивно, що зростання добробуту окремих країн при наявності міжнародної торгівлі було можливим лише за рахунок перерозподілу багатства цих країн. Пізніше, продовжуючи ідеї меркантилістів, Вільям Петті запропонував вважати джерелом багатства працю і землю [20].

Фізіократ Ф. Кене був переконаний, що головним джерелом добробуту є та кількість продукту, отриманого в сільському господарстві, яка перевищує витрати ресурсів і засобів, витрачених з метою отримання результату.

Бурхливий розвиток промисловості у ХХ столітті висунув на порядок денний декілька нових напрямків у розвитку концептуальних засад економічної теорії. Це такі напрямки як, неокласичний, кейнсіанський, інституціонально-соціологічний [20]. В той же час провадження в життя неокласичної теорії викликало низку глобальних криз у світовій економіці. Саме ці кризові явища спричинили тенденції до поступового відновлення провідних методологічних підвалин фізичної економії. Головними представниками фізичної економії в історії вітчизняної економічної думки є С. Подолинський, В. Вернадський, М. Руденко, А. Шевчук, Т. Муранівський, які у своїх дослідженнях головну увагу приділяють енергетичному змісту взаємодії суспільства і природи [14].

Цікаві ідеї щодо фізичних еквівалентів добробуту оприлюднив в другій половині 20 століття американський дослідник Ліндон Ларуш (неодноразовий кандидат в президенти США). Він впевнений, що людська спільнота доти підкорятиметься законам ентропії, допоки воно не винайде технологію, яка б призвела до зростання кількості населення. Далі учений робить цікавий висновок про те, що вартість будь якого товару чи послуги дорівнює величині, що вимірюється негентропійністю економічних процесів. Як розрахунковий (енергетичний і вартісний) еквівалент автор пропонує використати поглинання когерентного пучка електромагнітного випромінювання при заданій довжині хвилі (наприклад, довжина хвилі жовтого кольору) [4].

Згідно Сергію Подолинському людська праця дозволяє збільшити загальну кількість енергії на земній поверхні. Ця енергія як би «концентрується» у матеріальних цінностях, які люди використовують у своїй подальшій діяльності [14]. Згідно дослідника людська праця забезпечує концентрацію енергії в предметах матеріальної культури, яка вдесятеро перевищує м'язову енергію людини (економічний коефіцієнт). Умовою подальшого існування людства, за Подолинським, є ситуація при якій, накопичена усіма людськими машинами праця перетворюватиметься в таку кількість кон-

центрованої енергії, яка перевищуватиме силу людської цивілізації в декілька разів. Власне, математичний зміст економічного коефіцієнту відбивається співвідношенням чисельника (енергія машин) і знаменника (енергія, концентрована в предметах матеріальної культури).

Ідейний спадкоємець Сергія Подолинського вітчизняний дослідник Віктор Письмак зазначає [15], що сумарний об'єм використаної маси речовини, яка лишається в користуванні людини у вигляді продуктів матеріальної культури, завжди менший, ніж видобутий людиною із природних екосистем об'єм речовини.

Фундатор ноосферного вчення наш співвітчизник Володимир Вернадський, успадкував головні думки Сергія Подолинського називаючи людину геохімічною силою, що впливає на довкілля у грандіозних масштабах. Саме Вернадський зміг констатувати людський вплив на природне оточення в часовому проміжку близько 100000 років. І обсяги цього впливу він співставив саме з геологічними процесами [4].

Вітчизняним дослідником, який продовжив ідеї Подолинського та Вернадського є відомий патріот, дисидент та філософ Микола Руденко [21]. В головній його роботі «Енергія прогресу» висловлені наступні думки: екологічно толерантний прибуток може давати лише сільське господарство. Екологічно невиснажливе землеробство і таке, яке забезпечує добробут селянину повинно давати на кожну вагову одиницю дві частини соломи – для підтримки родючості ґрунту і для худоби, та три частини зерна – для самопрогодові селянина, на промислову переробку та на створення державних стратегічних запасів.

Відаючи пріоритет сільському господарству у забезпеченні джерел добробуту нації Микола Руденко висловлював думки [22]:

- Правильне землеробство є найліпшим видом корисної праці;
- Безглуздо створювати цінності з речовини неживої (наприклад, будівлі), знищуючи речовину живу (органіку);
- Спочатку слід розвивати хліборобство, потім – промисловість, але не навпаки;
- Генератор – хліборобство, промисловість – трансформатор економіки;
- Чим активніше розвивається суспільство, тим швидше воно приходить до виснаження землі;

- Спочатку слід нагодувати землю, а потім вона нагодує суспільство;
- Якщо земля не відроджується, значить – помирає;
- Все живе на земній кулі продовжує існувати коштом поїдання живого;
- Худоби мало тому, що падає врожайність, а врожайність падає тому, що мало худоби;
- Мета орендаря – не вкласти капітал у землю, а видобути його з землі»;

- Гроші не можуть бути еталоном вартості – потрібен універсальний товар. Найкраще – пшениця.

З наведених вище висловів логічно напрошується висновок про те, що сталим треба вважати такий розвиток, який забезпечує гомеостаз біосфери. І найближчою галуззю, яка може забезпечити такий розвиток є саме сільське господарство. Саме в ньому речовино-енергетичні відносини природокористування найбільш наближені до тих, що існують в природних екосистемах.

### Результати

Обґрунтування екосистемного змісту діяльності людини в процесі ведення сільського господарства займе не одну сторінку і відніме багато часу, що не є головним завданням авторів. Таке обґрунтування було зроблене в ранішніх публікаціях у вигляді концепції ноосферних екосистем [3]. Головний зміст цієї концепції полягає в тому, що людина в процесі ноосферогенезу утворює такі ж самі як і у дикій природі екосистеми, але їхня просторово-часова еволюція відрізняється головною ознакою – докорінною зміною екотопу через зміну енергетичних відносин.

Але на щастя людина не може себе повністю виключити з речовинно-енергетичних механізмів біосфери попри усі технологічні новації. І ці механізми реалізуються на найнижчому рівні просторово-часової організації екосистем через споживання їжі та інших життєво-важливих для організму людини фізичних факторів середовища – води, сонячного світла, повітря. Зважаючи на це, саме організменний рівень популяції *Homo Sapiens* уявляється нам найважливішим для усвідомлення просторово-часових меж екосистеми людини. Враховуючи, що починаючи з неоліту людина «вбудовує» себе в біосферу створюючи агроекосистеми, їх з повним правом можна віднести до ноосферних екосистем [3, 23 - 28]. Але найголовнішою їхньою рисою є те, що вони формуються з метою задоволення потреб людини у їжі, а, отже існували як з початку їхнього зародження так існують і сьогодні.

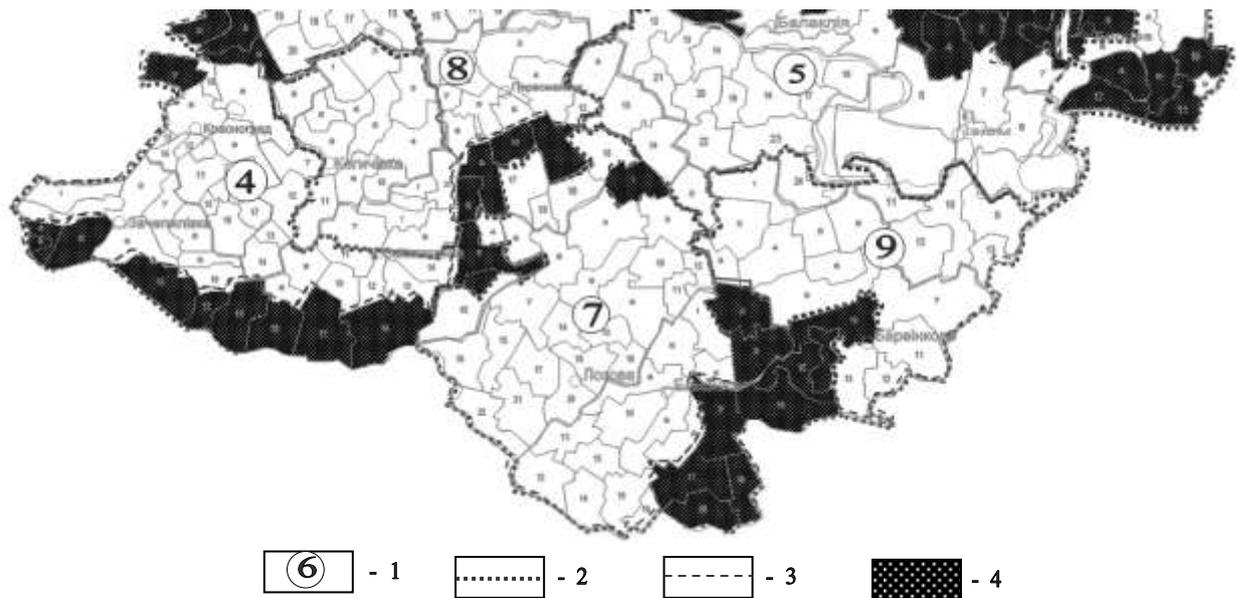
Агроекосистеми мають подвійний характер кордонів, які утворюються межами природних ландшафтів і межами сільськогосподарських районів. Враховуючи, що перші

утворення є виключно об'єктами природної генези, а другі – суто антропогенної, сучасні межі агроекосистем можна відстежити у просторі картографічно «наклавши» одні межі на інші. Але якщо в умовах збиральництва та примітивного сільського господарства (5-8тис.років тому) ці межі майже збігались, то сьогодні демонструє їхні серйозні розбіжності. Нам вдалося це встановити на прикладі агроекосистем Харківської області всього лише за 30 років їхнього розвитку. Порівнявши їхній просторовий розвиток у 1985 році (рис.1) з 2015 роком (рис. 2) бачимо наступне.

Подібна тенденція розбігання меж природних ландшафтів з межами сільськогосподарських районів встановлена нами і для агроекосистем, що формуються в Черкаській області (рис. 3).

Описаний вище механізм загострення глобальної екологічної проблеми зовсім не враховується розробниками концепції сталого розвитку як на зорі її започаткування, так і зараз. Можливо, усвідомлення істинних механізмів її загострення допоможе наблизити природокористування до біосферних аналогів. Насправді, головною запорукою «сталості» природокористування повинні бути не квоти на викиди діоксида вуглецю (Киотський протокол), а успіхи підтримки в окремих країнах механізму самовідтворення природних екосистем.

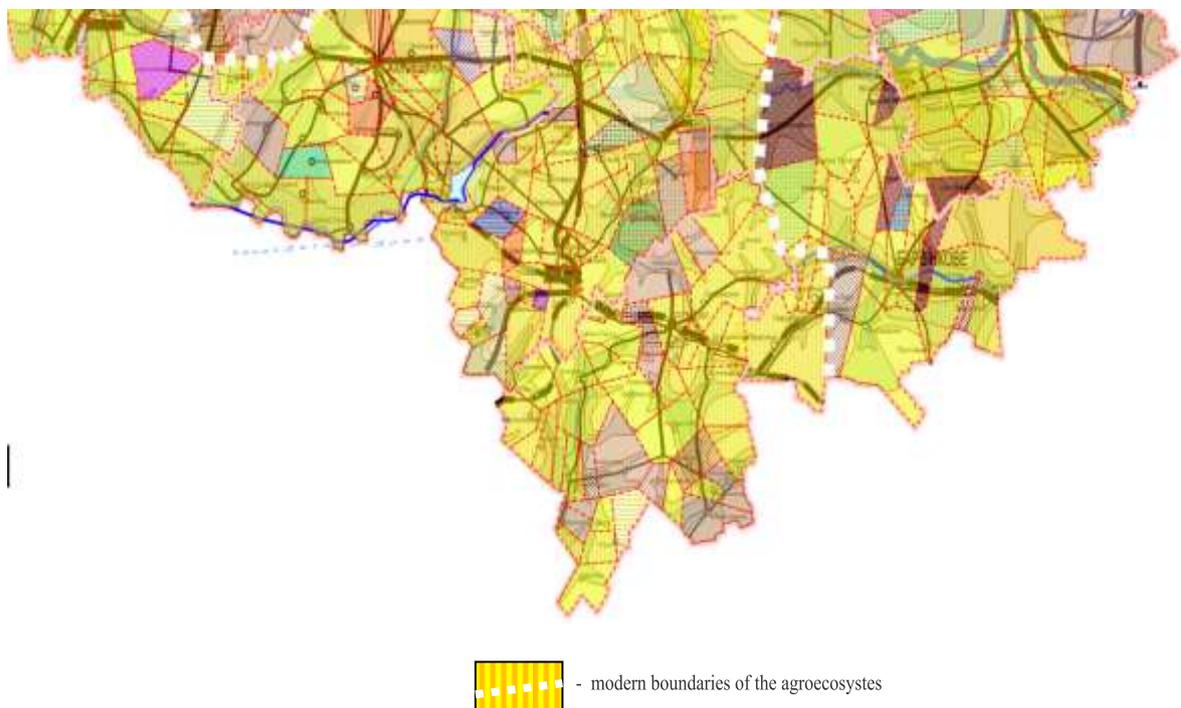
Але за авторитетними оцінками саме агроекосистеми «забезпечують» у світовому масштабі емісію вуглецю більшу на 10% від галузей, які спалюють викопне паливо (нафту, газ, вугілля) [4]. Відтак, сучасне аграрне виробництво вважається сьогодні провідним емітентом в парниковий ефект і такий негативний вплив на тлі зростаючої кількості населення буде лише зростати.



Умовні позначення: 1. номери сільськогосподарських районів;  
2. межі сільськогосподарських районів (господарські межі агроєкосистем);  
3. межі природних ландшафтів (природні межі агроєкосистем);  
4. Ділянки (сегменти) простору, на яких не збігаються природні та господарські межі агроєкосистем.

**Рис. 1** – Межі агроєкосистем, що формуються в Харківській області (1985 р., фрагмент)

**Fig. 1** – Boundaries of agroecosystems forming in the Kharkiv region (1985, fragment)



**Рис. 2** – Сучасні межі агроєкосистем, що формуються в Харківській області (2015, фрагмент)

**Fig. 2** – Modern boundaries of agroecosystems forming in the Kharkiv region (2015, fragment)

Прикладним, практично спрямованим напрямком розв'язання вказаних протиріч є відновлення сільській місцевості людських спільнот, які б за своїм просторовим буттям були б наближені до природних екосистем. Докорінна зміна просторового буття людства у бік натурального господарства допоможе стабілізувати зростання населення, а також зробить природокористування адаптованим до природних екосистем [3].

Викладене вище примушує переглянути існуючі індикатори сталого розвитку [29] і запропонувати такі, які б враховували у природокористуванні головну вимогу – усіляке його наближення по природних речовино-енергетичних механізмів.

1. Обов'язковим заходом, який сприятиме сталому розвитку, повинне стати регульоване на державному рівні зниження в розвинених країнах товарного сільського господарства. При цьому частка населення, зайнятого в цій галузі повинна бути не меншою за 35-40% [3]. В цьому випадку речовино-енергетичні потоки у сільській місцевості стають «замкненими» на конкретний тип ландшафту і сприятимуть такому розвитку агроекосистем, які будуть найбільше наближені до природних. Ця умова може бути досягнута встановленням обов'язкових квот на частку у ВВП натурального господарства.

2. Важливим також є врахування глибини впливу розвинених країн на екосистеми інших територій («пастки для простору» [3]). Такими показниками мають бути обсяги абсолютного і відносного споживання біомаси (територія своєї країни плюс територія інших країн, з яких надходить біомаса).

3. Наблизити сучасну просторову організацію людського суспільства до стану сталого розвитку, для чого:

- обмежити частку поверхні земної кулі, зайнятої територіями міських поселень до 1% і менше (що було на початку індустріальної доби);

- обмежити розширення полів впливу великих міст на найближче оточення більш ніж на середню відстань по векторах до сусідніх міст однакового рангу (згідно моделі центральних місць В. Кристаллера [4]);

- обмежити густоту шляхів сполучення з твердим покриттям на одиницю площі, згідно кристаллерівської моделі « $k=4$ »;

- не перевищувати частку фуражної ріллі більше ніж на 15% [4].

В наведених авторських індикаторах сталого розвитку відбитий переважно просторовий зміст людської природоперетворної діяльності. Насправді, такий підхід має право на існування ще і з тієї причини, що ворожа до природних екосистем територіальна організація людської діяльності поступово рік за роком, повільно але впевнено спотворює природні механізми саморегуляції.

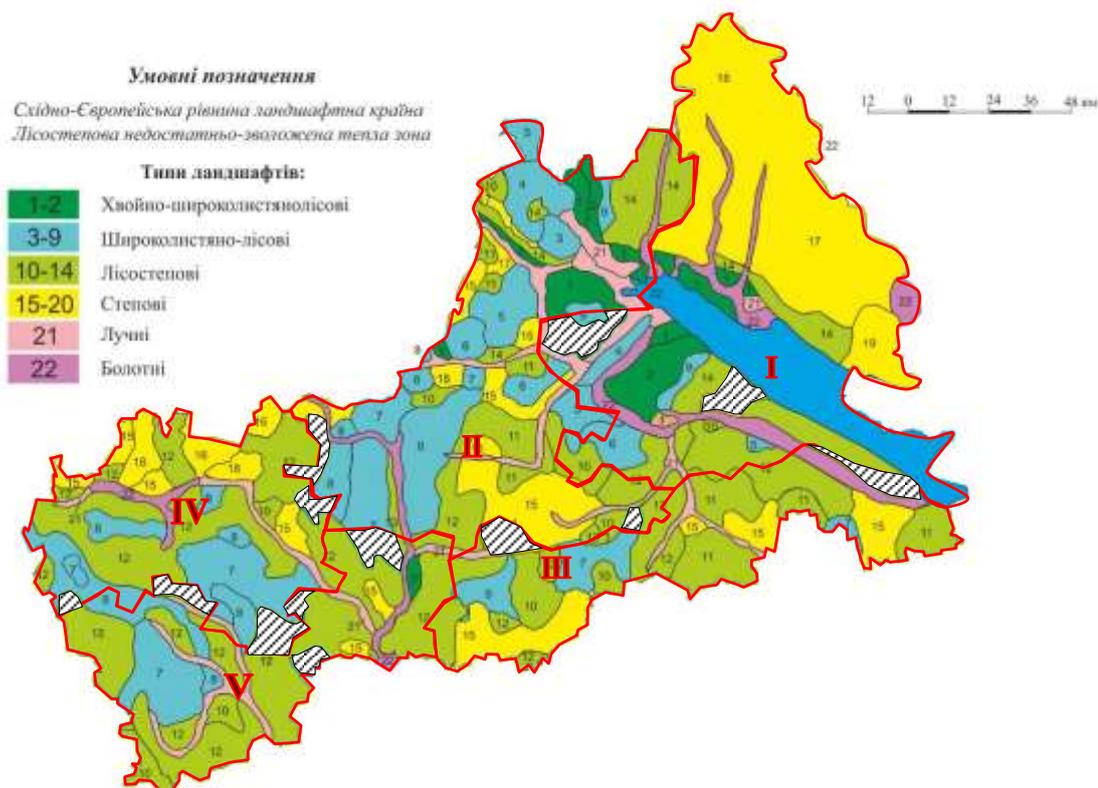
Особливо яскраво це можна побачити на прикладі адміністративно-територіального устрою, реформа якого в Україні набирає усе нових обертів. Крім того напередодні земельної реформи необхідно усвідомити ту непересічну роль землі – не лише як частини географічного простору, а й як складно організованої екосистеми селянської родини, яка вже давно «гармонізувалась» з природними ландшафтами в яких мешкає.

Насправді, будь-яке реформування адміністративно-територіального устрою повинне враховувати об'єктивні механізми самоорганізації регіонів, в основу яких треба покласти положення ноосферної екології [3].

Моделювання сучасного розвитку агроекосистем, як первинних просторових одиниць ноосферогенезу (рис.1, 2), дозволило оцінити рівень «сталості» сучасного адміністративно-територіального устрою Харківської області. Згідно з новою адміністративно-територіальною реформою [3] на території області виділяється 7 просторових одиниць, які за своїм значенням виконують функції колишніх адміністративних районів. Картографічне накладання меж цих районів на карту, на якій позначені зони ентропійного напруження (рис.4), дозволило зробити наступний аналіз.

- Найбільші зони ентропійного напруження спостерігаються на периферії майже кожного нового адміністративного району, що логічно пояснює зростання просторового дискомфорту населення через обмеження можливості отримати адміністративні послуги через укрупнення районів (раніше їх було 26), а, отже, і збільшення відстані.

- Оскільки сучасні адміністративні райони охоплюють сільську місцевість, важливим є факт, що ядра агроекосистем, які знаходяться в межах районів майже незмінні в часі (за основу взята інформація 1985 р.) і



-зони ентропійного напруження (незбігання економічних та природних меж агроекосистем)

*Сільськогосподарські райони:* **I. Придніпровсько-Черкаський** район з високоінтенсивним сільським господарством долинно-приміського (азонального) типу зі спеціалізацією у рослинництві на: зерновому господарстві, кормовиробництві, овочівництві відкритого ґрунту, садівництві; у тваринництві на: молочно-м'ясному скотарстві, свинарстві, птахівництві.

**II. Центрально-Лісостеповий** з інтенсивним сільським господарством зонального типу з переважаючою спеціалізацією на рослинництві (зернове господарство в поєднанні з вирощуванням різних технічних, переважно олійних культур) і з менш розвинутим тваринництвом (свинарство та м'ясо-молочне скотарство).

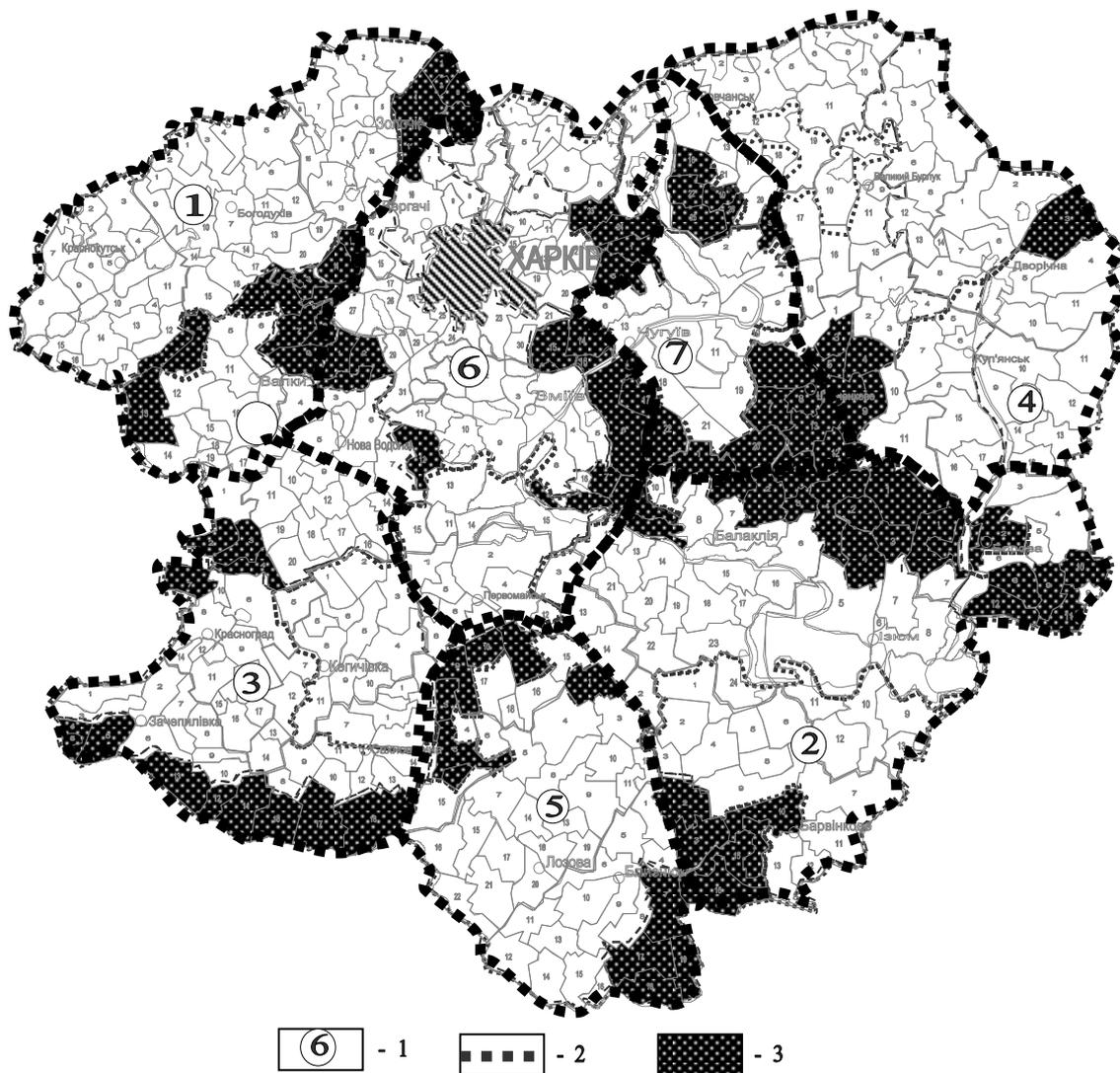
**III. Південно-Лісостеповий** з середньо-інтенсивним сільським господарством зонального типу з переважаючою спеціалізацією на рослинництві (розвинуте зернове господарство з меншим значенням технічних культур) та тваринництві змішаного (самозабезпечуючого) типу (скотарство, свинарство, вівчарство, бджільництво, птахівництво).

**IV. Північно-Західний Лісостеповий** з середньо-інтенсивним сільським господарством зонального типу з переважаючою спеціалізацією на рослинництві (зернове господарство та вирощування різноманітних технічних культур) та тваринництві напівекстенсивного типу (молочно-м'ясне скотарство з відгонно-стійловим типом утримання худоби та свинарством як допоміжною галуззю).

**V. Південно-Західний Лісостеповий** з високо інтенсивним зональним сільським господарством рослинницько-тваринницького типу зі спеціалізацією у рослинництві на: зерновому господарстві та вирощуванні технічних (переважно олійних) культур; у тваринництві на інтенсивному скотарстві молочно-м'ясного та м'ясо-молочного напрямків та свинарстві.

**Рис. 3** – Межі агроекосистем, що формуються в Черкаській області (2015 р)

**Fig. 3** – Boundaries of agroecosystems forming in the Cherkasy region (2015)



Умовні позначення: 1. Номери сільських районів (1 – Богодухів; 2 – Ізюм; 3 – Красноград; 4 – Куп'янськ; 5 – Лозова; 6 – Харків; 7 – Чугуїв).  
 2. Межі сільських адміністративних районів;  
 3. Області (сегменти) пресування ентропії простору.

**Рис. 4** – Формування зон ентропійної напруги в сільській місцевості  
**Fig. 4** – Formation of entropy stress zones in rural areas

впродовж тривалого часу продовжують виконувати роль просторових «ядер конденсації».  
 - Наближення до «сталості» природокористування можливе за умови зменшення зон ент-

ропійного напруження через збільшення кількості районів до 10-12 (відповідно до кількості реліктових ядер агроєкосистем).

#### Висновки

Агроєкосистеми це ті просторово-часові форми ноосферного буття людства, в межах яких відбувається безпосередній контакт окремих особин і цілих угруповань з природними ландшафтами власне на екосистемних за-

садах. В процесі ноосферогенезу вид *Homo Sapiens* сформував свою, не менш природну, екосистему – агроєкосистему, в якій просторово роз'єднані продуценти, консументи і реду-

центри, що, швидше за все, є однією з причин загострення глобальної екологічної проблеми.

Кількість популяції нашого виду сьогодні значно перевищує ту, яку може витримати біосфера планети (за розрахунками видатних біологів вона не повинна перевищувати 1 млрд. особин). Напевно, слідуючи принципу Ле-Шательє [15] (або принципу компенсації), потрібно чекати зворотної реакції біосфери на експансію виду *Homo Sapiens* (за деякими оцінками нещодавня пандемія коронавірусу і посилення воєнних дій вже сьогодні є такою «відповіддю»).

З метою гармонізації відносин природи і суспільства будь-який адміністративно-територіальний поділ необхідно «вписувати» в просторово-часову динаміку агроєкосистем, для чого, враховуючи прийдешню земельну реформу, пропонується зробити наступне:

- Повернути людям в сільській місцевості зацікавленість до роботи на землі, погодившись, нарешті, з тим, що ця земля є особливим простором, в якому сільська громада грає роль неодмінної складової природної екосистеми.

- Всіляко сприяти розвитку натурального господарства і довести його частку в структурі ВВП до 35-40%.

- Поступово послабити роль міст як соціальних утворень в просторовій організації суспільства.

- Реформувати економічну і, перш за все, фінансову систему країни відповідно до концепції «енергетичних грошей», запропонованої ще в кінці XIX століття українським природознавцем і економістом Сергієм Подолінським.

Запропонований підхід до виділення первинних просторових одиниць ноосферної організації суспільства допоможе уникнути суб'єктивізму у виділенні та формуванні складу об'єднаних територіальних громад, що цілком відповідатиме головному гаслу концепції сталого розвитку: «Думай глобально, дій локально!». Крім того поступова дезурбанізація набагато збільшить шанси виживання нашої країни в умовах перманентної воєнної агресії, в ході якої головними цілями агресора є потужні осередки скупчення людей та інфраструктури.

### Конфлікт інтересів

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

### Список використаної літератури

1. Пеллагеша Н. Абсурдність сталого розвитку. LB.ua. 2019. URL: [https://lb.ua/blog/natalia\\_pelagesha/420881\\_absurdnist\\_stalogo\\_rozvitku.html](https://lb.ua/blog/natalia_pelagesha/420881_absurdnist_stalogo_rozvitku.html)
2. Кусков М.А., Кускова С.В. Еволюція наукових поглядів на сталий розвиток. / Браславські читання. Економіка XXI століття: національний та глобальний виміри: матеріали I Міжнародної наукової-практичної конференції, 1 листопада 2023 року. Одеса, ОДАУ. 2023. С.156-160.
3. Sonko S. Man in Noosphere: Evolution and Further Development. *Philosophy and Cosmology*. 2019. Vol. 22. P.51-75. DOI: <https://doi.org/10.29202/phil-cosm/22/5>
4. Сонько С. П., Максименко Н.В., Василенко О.В., Біньковська Г.В. Екологічні основи збалансованого природокористування у агросфері. Харків: Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна. 2015. 568 с. URL: [https://www.researchgate.net/publication/327307638\\_Ekologichni\\_osnovi\\_zbalansovanogo\\_prirodokoristuvanna\\_u\\_agrosferi](https://www.researchgate.net/publication/327307638_Ekologichni_osnovi_zbalansovanogo_prirodokoristuvanna_u_agrosferi)
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Комплексної програми реалізації на національному рівні рішень, прийнятих на Всесвітньому саміті зі сталого розвитку, на 2003-2015 роки» від 26 квітня 2003 р. № 634. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/634-2003-%D0%BF>
6. Марушевський Г. Б. Індикатори збалансованого розвитку: позиція України в міжнародних рейтингах. Інвестиції: практика та досвід. 2015. № 20. С.141-146. URL: <http://www.investplan.com.ua/?op=1&z=4680&i=29>
7. Наказ № 1066 від 04.10.18 «Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 101 «Екологія» для другого (магістерського) рівня вищої освіти». URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/101-ekologiya-magistr.pdf>
8. Корсак К.В. Ноотехнології нооекологія—засоби перетворення мрії про сталий розвиток у реалії ноосупільства. Людина та довкілля. Проблеми неоекології, 1-2, 2013. С. 7-13. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/950/735>

9. Gorshkov V., Makarieva A. Time in life, technology and physics. 2018. URL: <https://www.bioticregulation.ru/common/pdf/time.pdf>
10. Dutta A. Noosphere and innovative ideas. Jun 22, 2021. URL: <https://www.slideshare.net/slideshow/noosphere-and-innovative-ideas/249451068>
11. Vidal Cl. n.d. What Is the Noosphere? Planetary Superorganism, Major Evolutionary Transition and Emergence. *Systems Research and Behavioral Science* n/a (n/a). Accessed 17 March 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/sres.2997>
12. Shoshitaishvili B. From Anthropocene to noosphere: The Great Acceleration. *Earth's Futures*. 2021. Vol. 9. N 2., e2020EF001917. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020EF001917>
13. Лихолат В., Федорчук І., Чернюк Г. Співвідношення систем біосфери і ноосфери. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія*. 2012. №2 (вип. 32). С.13–19. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg\\_2012\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2012_2_5)
14. Воробійова Л.В. Українська школа фізичної економії у світовому економічному просторі. *Сучасні економічні теорії: історія, методологія та перспективи розвитку: матеріали Всеукр. круглого столу*; 10 листоп. 2016 р. К. КНЕУ, 2016. С.131-134. URL: <https://ir.kneu.edu.ua:443/handle/2010/28715>
15. Письмак В.П. Энергоимпульсная сущность экономического базиса общества (введение в теорию энергоимпульсного взаимодействия социальноэкономических моделей). Донецьк: «Донеччина», 2002. 296 с.
16. Lin D., Hanscom L., Murthy A; Galli A., Evans M., Neill E., Mancini MS., Martindill J., Medouar F-Z., Huang S., Wackernagel M. Ecological Footprint Accounting for Countries: Updates and Results of the National Footprint Accounts, 2012–2018. *Resources*. 2018. Vol. 7. N 3. 58. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources7030058>
17. The concept of ecological sustainability. 2024. URL: <https://courses.mooc.fi/org/uh-inar/courses/introduction-to-sustainability/chapter-2/the-concept-of-ecological-sustainability>
18. Ecological sustainability. 2024. URL: <https://courses.mooc.fi/org/uh-inar/courses/introduction-to-sustainability/chapter-2>
19. Пиріков О. В. Індикатори та системи сталого розвитку: теорія та практика. *Ефективна економіка*. 2013. № 11, URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4026>
20. Лагутін В.Д., Уманців Ю.М., Щербакова Т.А. та ін. Економічна теорія : підручник за заг. ред. В.Д. Лагутіна. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017. 608 с.
21. Руденко М. Багатство народжується зі свободи. URL: [https://dt.ua/SOCIETY/mikola\\_rudenko\\_bagatstvo\\_narodzhuetsya\\_zi\\_svobodi.html](https://dt.ua/SOCIETY/mikola_rudenko_bagatstvo_narodzhuetsya_zi_svobodi.html)
22. Бровко О., Руденко М. Поет, правозахисник і філософ з Луганщини. *Історична правда*. №12, 2018. URL: <https://www.istpravda.com.ua/articles/2018/12/14/153421/>
23. Rahman D., Moussouri T., Alexopoulos G. The social ecology of food: where agroecology and heritage meet. *Sustainability*. 2021. Vol.13.13981. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132413981>.
24. Patton M.Q. Principles focused evaluation of agroecology. *Elementa Science of the Anthropocene* 2021. Vol. 9. N 1, Article 1. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00052>
25. Toledo V.M. Agroecology and spirituality: reflections about an unrecognized link. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2022. Vol 46. N4. P.626-641. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2027842>
26. López-García, D., González de Molina M. An Operational Approach to Agroecology-Based Local Agri-Food Systems. *Sustainability*, 2021. Vol.13. 8443. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13158443>
27. Gonzalez, C.F., Olivier, G., Bellon, S. Trans-disciplinarity in agroecology: practices and perspectives in Europe. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2020. Vol. 45. N 4. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1842285>.
28. McPhee C., Banczerz M., Mambrini-Doudet M., Chrétien F., Huyghe Ch., Gracia-Garza J. The Defining Characteristics of Agroecosystem Living Labs. *Sustainability*. 2021. Vol.13. N 4. 1718. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13041718>
29. Хвесик М., Бистряков І. Парадигмальний погляд на концепт сталого розвитку України. *Економіка України*. 2012. № 6. С. 4-12. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk\\_2012\\_6\\_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2012_6_2)

Стаття надійшла до редакції 24.03.2024

Стаття рекомендована до друку 22.05.2024

**S. P. SONKO**<sup>1</sup>, DSc (Geography), Prof.,  
Professor of the Department of Ecology and Life Safety  
e-mail: [sp.sonko@gmail.com](mailto:sp.sonko@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7080-9564>

**I. O. ZOZULIA**<sup>1</sup>  
PhD Student, of the Department of Ecology and Life Safety  
e-mail: [ivanov11dfnz@ukr.net](mailto:ivanov11dfnz@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-6024-5498>

<sup>1</sup>*Uman National University of Horticulture,*  
1, Instyutyska str., Uman, 20305, Ukraine

## ENVIRONMENTALLY BALANCED AGROECOSYSTEMS – KEY TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Considering the large-scale aggravation of the global environmental problem, despite the nearly thirty-year implementation of the Concept of Sustainable Development, developed in Rio de Janeiro (1992), it needs additional research and justification today. The very fact of a large-scale aggravation of the global environmental problem makes one doubt the methodological correctness of the concept. Since the consumption of natural resources, and, therefore, the ecological state of the environment depends to a large extent on the understanding of the ecological essence of energy relations in ecosystems, it is worth focusing on the scientific provisions of the domestic school of physical economy, elaborated in the works of Serhiy Podolinskyi, Volodymyr Vernadskyi, Mykola Rudenko, Viktor Pysmak. It is in accordance with these provisions that the system of criteria-indicators of sustainable development requires revision.

A new vision of the theoretical foundations for the development of such indicators is proposed. The authors saturate the modern, post-industrial understanding of the meaning of sustainable development with noospheric content. Based on the concept of noospheric ecosystems developed in previous author's works, an attempt is also made to provide a qualitatively new justification of the goals and directions of the planetary development of the entire human population.

**Conclusions.** The authors see the future trend of implementing the concept of sustainable development only in the approximation of nature management mechanisms to natural analogues. The applied implementation of the author's theoretical provisions in reforming the administrative-territorial system is proposed.

**KEY WORDS:** *concept, criterion-indicator, noosphere, energy relations, planetary development, sustainable development*

### References

1. Pelagesha, N. (2019). The absurdity of sustainable development. *LB.ua*. Retrieved from [https://lb.ua/blog/natalia\\_pelagesha/420881\\_absurdnist\\_stalogo\\_rozvitku.html](https://lb.ua/blog/natalia_pelagesha/420881_absurdnist_stalogo_rozvitku.html) (in Ukrainian).
2. Kuskov, M.A., & Kuskova, S.V. (2023). Evolution of scientific views on sustainable development. *Proceedings of the 1th International Scientific and Practical Conference: Braslav readings. Economy of the 21st century: national and global dimensions*, Odesa, 2023, November 1, (pp.156-160). Odesa: OSAU. (in Ukrainian).
3. Sonko, S. (2019). Man in Noosphere: Evolution and Further Development. *Philosophy and Cosmology*, 22, 51–75. <https://doi.org/10.29202/phil-cosm/22/5>
4. Sonko, S.P. & Maksimenko, N.V. (Eds.). (2015). Ecological bases of balanced nature use in the agro-sphere: educational manual. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, Retrieved from: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/2462> (in Ukrainian).
5. On the approval of the Comprehensive Program of Implementation at the National Level of the Decisions Adopted at the World Summit on Sustainable Development for 2003-2015. (2003). *Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine* dated April 26, 2003 No. 634. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/634-2003-%D0%BF> (in Ukrainian).
6. Marushevskyi, G. (2015), "Sustainable development indicators: Ukraine's position in international rankings", *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*, 20, 141–146. Retrieved from <http://www.investplan.com.ua/?op=1&z=4680&i=29>
7. On approval of the standard of higher education in specialty 101 "Ecology" for the second (master's) level of higher education. (2018). Order No. 1066 dated 04.10.18. Retrieved from <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/101-ekologiya-magistr.pdf> (in Ukrainian).

8. Korsak, K. V. (2014). Nootechnologies and nooecology - means of transformation of dream of a sustainable development in a reality of noosociety. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (1-2), 7-13. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/950> (in Ukrainian).
9. Gorshkov, V., & Makarieva, A. (2018). Time in life, technology and physics. <https://www.bioticregulation.ru/common/pdf/time.pdf>
10. Dutta, A. (2021, Jun 22). Noosphere and innovative ideas. Retrieved from <https://www.slideshare.net/slideshow/noosphere-and-innovative-ideas/249451068>
11. Vidal, Cl. (2024, March 17). What is the noosphere? Planetary superorganism, major evolutionary transition and emergence. *Systems Research and Behavioral Science* n/a (n/a). Accessed. <https://doi.org/10.1002/sres.2997>
12. Shoshitaishvili, B. (2021). From anthropocene to noosphere: the great acceleration. *Earth's Futures*, 9(2), e2020EF001917. <https://doi.org/10.1029/2020EF001917>
13. Lyholat, V., Fedorchuk, I., & Chernyuk, G. (2012). Correlation of biosphere and noosphere systems. *The Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Pedagogical University. Series: Geography*, (2), 13–19. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg\\_2012\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2012_2_5) (in Ukrainian).
14. Vorobyova, L.V. (2016). Ukrainian school of physical economy in the world economic space. *Proceedings of the Vseukr. Round Table; Modern economic theories: history, methodology and development prospects*, 2016, November, 10, (pp. 131-134). Kyiv: KNEU. Retrieved from <https://ir.kneu.edu.ua:443/handle/2010/28715> (in Ukrainian).
15. Pysmak, V.P. (2002). Energy-pulse essence of the economic basis of society (introduction to the theory of energy-pulse interaction of socio-economic models). Donetsk: "Donechchyna".
16. Lin, D., Hanscom, L., Murthy, A., Galli, A., Evans, M., Neill, E., Mancini, MS., Martindill, J., Medouar, F-Z., Huang, S., & Wackernagel, M. (2018). Ecological Footprint Accounting for Countries: Updates and Results of the National Footprint Accounts, 2012–2018. *Resources*, 7(3), 58. <https://doi.org/10.3390/resources7030058>
17. The concept of ecological sustainability. (2024). Retrieved from <https://courses.mooc.fi/org/uh-inar/courses/introduction-to-sustainability/chapter-2/the-concept-of-ecological-sustainability>
18. Ecological sustainability. (2024). Retrieved from <https://courses.mooc.fi/org/uh-inar/courses/introduction-to-sustainability/chapter-2>
19. Pyrikov O. V. (2013). Indicators and system of sustainable development: theory and practice. *Efektivna ekonomika*, (11). Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4026> (in Ukrainian).
20. Lagutina, V.D. (Ed.). (2017). *Economic theory*. Kyiv: Kyiv. National Trade and Economy University. (in Ukrainian).
21. Dykan, O. (2001). Mykola Rudenko: wealth is born from freedom. *Dzerkalo tyzhnya*. Retrieved from [https://dt.ua/SOCIETY/mikola\\_rudenko\\_bagatstvo\\_narozhuetsya\\_zi\\_svobodi.html](https://dt.ua/SOCIETY/mikola_rudenko_bagatstvo_narozhuetsya_zi_svobodi.html) (in Ukrainian).
22. Brovko, O. (2018). Mykola Rudenko. Poet, human rights defender and philosopher from Luhansk region. *Historical truth*, (12), Retrieved from <https://www.istpravda.com.ua/articles/2018/12/14/153421/> (in Ukrainian).
23. Rahman, D., Moussouri, T., & Alexopoulos, G. 2021. *The social ecology of food: where agroecology and heritage meet*. *Sustainability*, 13, 13981. <https://doi.org/10.3390/su132413981>.
24. Patton, M.Q. (2021). Principles Focused Evaluation of Agroecology. *Elementa Science of the Anthropocene*, 9(1), Article 1. [doi.org/10.1525/elementa.2021.00052](https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00052)
25. Toledo, V.M. (2022). Agroecology and spirituality: reflections about an unrecognized link. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 46(4), 626-641. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2027842>
26. López-García, D., & González de Molina, M. (2021). An operational approach to agroecology-based local agri-food systems. *Sustainability*, 13, 8443. [doi.org/10.3390/su13158443](https://doi.org/10.3390/su13158443).
27. Gonzalez, C.F., Olivier, G., & Bellon, S. (2020). *Trans-disciplinarity in agroecology: practices and perspectives in Europe*. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 45(4). <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1842285>.
28. McPhee C., Bancarz M., Mambrini-Doudet M., Chrétien F., Huyghe Ch. & Gracia-Garza J. (2021). The Defining Characteristics of Agroecosystem Living Labs. *Sustainability*. 13(4), 1718. <https://doi.org/10.3390/su13041718>
29. Khvesyk, M., & Bystryakov, I. (2012). A paradigmatic view of the concept of sustainable development of Ukraine. *Ukraine economy*, (6). 4-12. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk\\_2012\\_6\\_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2012_6_2) (in Ukrainian).

The article was received by the editors 24.03.2024

The article is recommended for printing 22.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-05>

UDC (УДК): 338.49: 656.2: 504.5

**L. A. HOROSHKOVA**<sup>1</sup>, DSc (Economy), Prof.,

Professor of the Department of Ecology

e-mail: [goroshkova69@gmail.com](mailto:goroshkova69@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7142-4308>

**S. V. HOROSHKOV**<sup>1</sup>,

student

e-mail: [s.horoshkov@ukma.edu.ua](mailto:s.horoshkov@ukma.edu.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4310-9165>

**Y. D. KORNIICHUK**<sup>1</sup>,

student

e-mail: [yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua](mailto:yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0742-3213>

<sup>1</sup>National university of "Kyiv-Mohyla academy"

2, Skovorody, Str., Kyiv 04070, Ukraine

### THE DEVELOPMENT OF DANUBE PORTS AMID WAR AND POST-WAR RECOVERY OF THE UKRAINE

**Purpose:** assessment of the development of Danube Ports amid war and post-war recovery of the Ukraine as part of the security system for Ukraine, Europe, and the world as a whole.

**Methods.** In the research general scientific (analysis and synthesis, induction and deduction, analytical grouping) and special (abstraction, modelling, etc.) methods of studying economic phenomena and processes have been used. **The object** of the study is the Danube river ports.

**Results.** The conducted analysis showed that in the conditions of war and the blockade of the ports of Greater Odessa, export transportation through the Ukrainian Danube ports of Reni, Izmail, and Ust-Danube has been activated. This was also facilitated by the dredging works in the Bystre estuary, which allowed its transport capabilities to be used for the passage of vessels with a draft of up to 6.5 meters, and not only the Romanian Sulina canal. The analysis showed that, in addition to positive results for Ukrainian ports, there was also an increase in cargo handling volumes in Romanian ports, for example, the Sulina port has shown an increase in cargo movement volumes in recent years. Overall, if we compare the growth rates in the direction of Danube-Black Sea and in the opposite direction, the preference is given to the Danube-sea direction. Regarding transportation through the Danube-Black Sea canal, recent years have also seen an increase in cargo transportation volumes, but this is mainly due to international transportation. Domestic transportation does not show similar dynamics. The Constanta port has also been increasing cargo handling volumes in recent years due to sea transportation, but river transportation is also growing, although not as significantly. Unlike the mentioned ports, the Romanian port of Galati has been decreasing cargo handling volumes since 2021. The reason for this is that, among the two routes considered - the Danube and the Danube-Black Sea to the Constanta port, preference is given to the latter.

**Conclusions.** The conducted research has shown that the further expansion of navigation along the Danube using the routes Ukraine - Galati, Ukraine - Regensburg, and Ukraine-Constanta (via the Danube) will ensure the effectiveness of the mentioned ports and create additional conditions for the development of transport logistics in the Danube region as part of the security system for Ukraine, Europe, and the world as a whole.

An additional advantage of such decisions is their environmental orientation, since among all types of transport, water transport is the most environmentally friendly.

**KEY WORDS:** Danube ports, river logistics, eco-friendly transport, freight transportation, international transportation, transport logistics, Danube region

**Як цитувати:** Горошкова Л.А., Горошков С.В., Корнійчук Ю.Д. Розвиток дунайських портів в умовах війни та післявоєнного відновлення України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 70-82. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-05>

**In cites:** Horoshkova, L.A., Horoshkov, S.V., & Korniiichuk, Y.D. (2024). The development of Danube Ports amid war and post-war recovery of the Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (41), 70-82. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-05>

© Horoshkova L. A., Horoshkov S. V., Korniiichuk Y. D., 2024



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

## *Introduction*

One of the most important tasks today is the restoration of Ukraine, overcoming the consequences of hostilities on its territory, and addressing issues of national security and defense capability. This focus is emphasized in the developed Plan for the Recovery of Ukraine, presented in the EU. This document identifies three most important areas on which the future of the country and its national security depend: logistics, reconstruction of infrastructure, and energy. Therefore, it is possible to solve logistical and infrastructure tasks by expanding the use of water (sea and river) transport and its infrastructure. Emphasizing the Danube River is important given the limitations of using traditional waterways.

An analysis of the main publications shows that the issue of river logistics development is considered by many researchers. For example, studies by Krčum, M., Plazibat V., Gorana J. M., Wójcikiewiczza R., Kaupb M., Nowakowski T., Kulczyk J., Skupień E. & Tu-

bis A., Kolář J. & Stopka, O., Krile S. focus on solving specific issues in the context of individual countries, such as the Croatian transport system and directions for integrating sea and river ports [1], the specifics of the operation of inland water transport in Szczecin (Poland) [2], the determinants of the transformation of the Lower Vistula river ports [3], the search for the location of a multimodal logistics center at the port on the Labe (Elbe) River [4], the development of the inland water transport market, and the strengthening of European cooperation in the field of inland water transport [5]. Problems of river transport and logistics development are also considered by a number of domestic scientists [6-12], among others.

*Purpose* of our study assessment of the development of Danube river Ports amid war and post-war recovery of the Ukraine as part of the security system for Ukraine, Europe, and the world as a whole.

## *Results and Discussion*

In the research process, both general scientific methods (analysis and synthesis, induction and deduction, analytical grouping) and specialized methods (abstraction, modeling, etc.) were utilized for studying economic phenomena and processes. The object of the study is the Danube river ports.

The Danube River is one of the most important transport routes in Europe: it not only crosses ten countries but also connects with the Black Sea. The Danube has significant economic importance for all Danube countries. The river is navigable for 2500 km from the mouth. To improve navigation conditions, a network of canals has been constructed, the fairway has been deepened in some sections, and bank revetments have been carried out, among other things. The Danube is connected by canals with the basins of the Rhine, Elbe, Odra, and the Black Sea (Danube-Black Sea Canal).

In recent years, access to the Black Sea through the Ukrainian part of the Danube has gradually lost its significance. The only acceptable through route to the Black Sea via the Danube for a long time has been the Romanian canals - the Sulina and the Chornavoda-Constanta. Previously, more than 1 million tons of cargo were annually transported through the Ukrainian ports of Ust-Danube, Izmail, and Reni to the ports of the Mediterranean and back.

However, these positions of Ukraine have gradually been lost. With the start of the war, due to the impossibility of using traditional sea transportation through the Black Sea, the importance of Danube logistics has increased.

If we analyze the volume of cargo transportation through Ukrainian ports in recent years, it has decreased by 2,6 times in 2022 compared to 2021. In 2023, Ukrainian ports increased cargo handling by 5% year on year - up to 62 million tons. This result was achieved thanks to the opening of a temporary maritime corridor. As a result, 430 ships were accepted through the corridor under loading, and 400 ships were sent, exporting 12,8 million tons of cargo.

However, the dynamics of cargo handling by ports compared to 2022 is ambiguous. Thus, the port of Odessa saw an increase of 9% to 84 million tons; the port of Chornomorsk saw a decrease of 3% to 11,4 million tons; and the port of Pivdenny saw a decline of 34% to 10,1 million tons.

The most dynamic increase in handling is observed in the Danube ports (Izmail, Reni, and Ust-Danube). By the end of 2023, the total cargo turnover in these ports almost doubled - to 32 million tons in 2022 - tripled to 16,5 million tons from 5,5 million tons in 2021. In particular, last year the volume of handling in the port of Izmail amounted to 202 million tons (an in-

crease of 2,3 times compared to 2022), in Reni – 10,1 million tons (+47% year on year).

Cargo transportation through these ports was carried out using the routes shown in Figures 1 and 2.

Under such conditions, there are all reasons to pay special attention to navigation on the Danube. Due to the periodic blocking of Ukraine's western border with Poland, increasing cargo transportation to Europe via the Danube is becoming important.

Today, the Ukrainian Danube Shipping Company (UDSC) has proposed to redirect cargo that was transported to EU countries by trucks to river transport. The UDSC has developed three lines for barge caravans:

1. Ukraine – Galati. The fastest route for transferring cargo through the western border to EU countries. Given the long distance, the

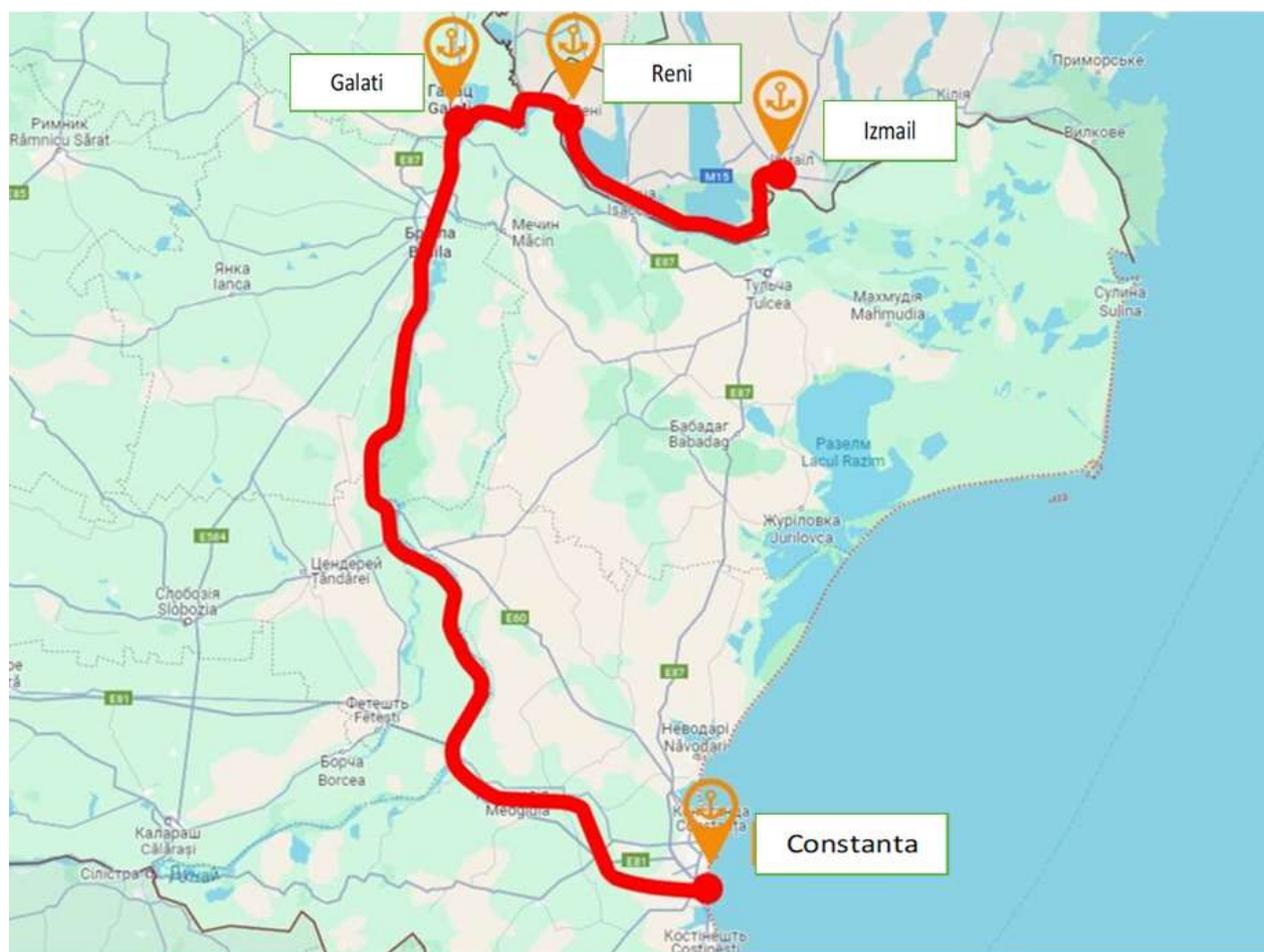
river caravan can make 5-7 trips to Galati per month. So the delivery time of containers is only a few days.

2. Ukraine – Regensburg. The route allows delivery of cargo to Germany to the closest point to the main market for Ukrainian exports. Or to any port on the Middle and Upper Danube. However, the duration of the trip is longer than in the case of delivery to Galati.

3. Ukraine – Constanta. Delivery of cargo to one of the largest European seaports with the possibility of further export to any point in the world.

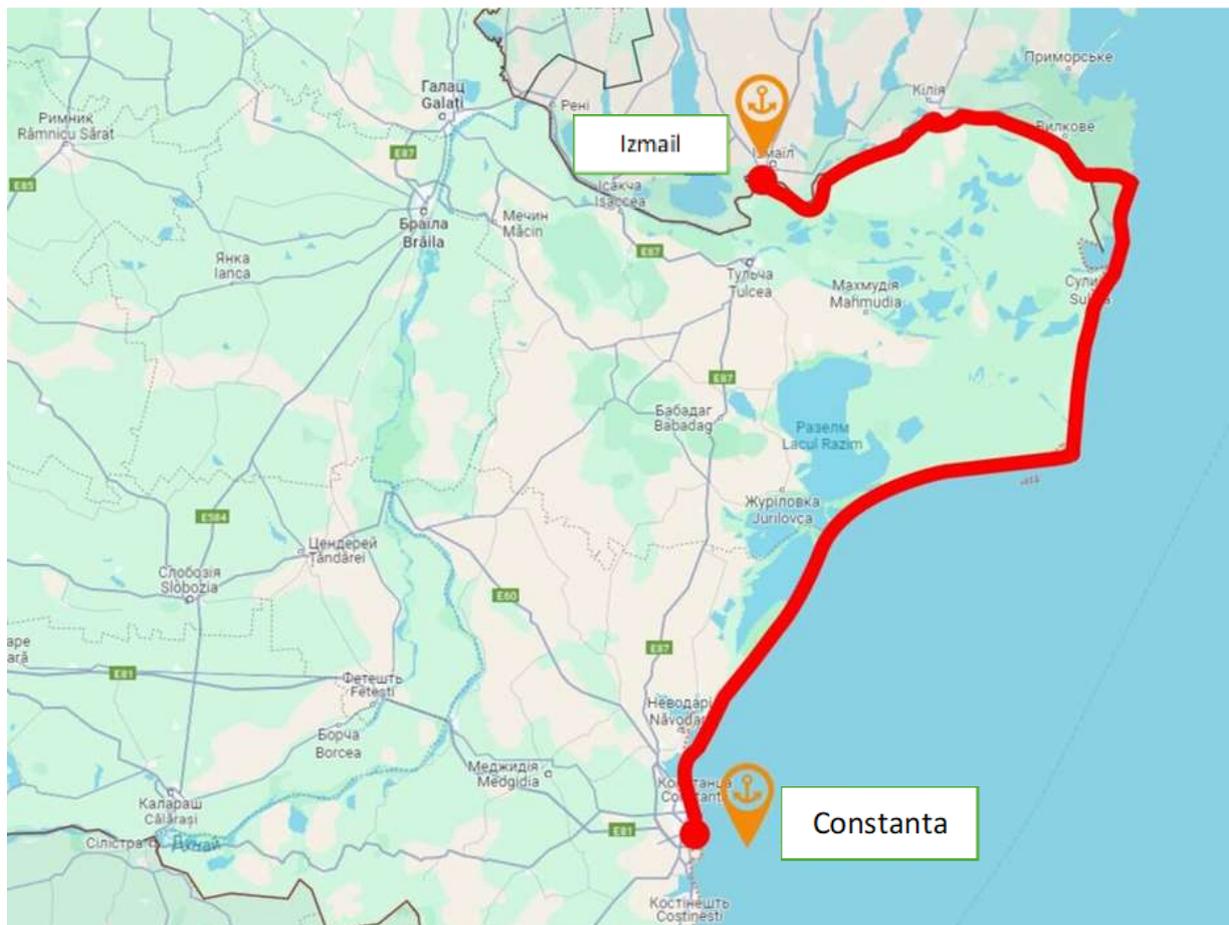
In this context, it should be understood that such transportation has both advantages and disadvantages, including risks.

There is indeed a threat of a seasonal drop in the water level in the Danube, which may affect transportation. There are cases



**Fig. 1** – Danube route to the port of Constanta

[ <https://uga.ua/meanings/sergij-kalkutin-pro-osvoyennya-dunajskih-marshrutiv-eksport-ukrayinskoyi-agroproduksiyi-cherez-konstantsu-osoblivosti-richkovoyi-logistiki-nyuansi-tsinoutvorennnya-ta-bezpekovi-riziki-dlya-ukrayinskog/> ]



**Fig. 2** – Danube-Black Sea route to the port of Constanta

[Source: <https://uga.ua/meanings/sergij-kalkutin-pro-osvoyennya-dunajskih-marshrutiv-eksport-ukrayinskoyi-agroproduktiyi-cherez-konstantsu-osoblivosti-richkovoyi-logistiki-nyuansi-tsinoutvorenniya-ta-bezpekovi-riziki-dlya-ukrayinskog/>]

when caravans on the Middle Danube get stuck: while loading, the water level dropped, and it cannot pass through the shallow. And then they have to wait for the water level to rise again. Last year, 2023, the water level fell to a critical level. All operations on the Middle (Slovakia, Serbia, and Hungary) and Upper (Austria and Germany) Danube were closed. But there were opportunities to use the Lower Danube (Romania, Bulgaria, and Ukraine). The loading of barges fell by 30% - instead of 1,5 thousand tons, they loaded 1,1 thousand tons. But the caravans were running. There is no problem stated in the year 2024. The water level fell, but much less than last year. Currently, some cities in Europe are experiencing a critical rise in the water level.

But there are far more advantages. The Danube, for a very long time in 2022-2023, replaced the lack and significant limitations of Ukrainian Black Sea ports. And the route through the Danube naturally began to be used less after the blockade of the ports of Odessa was lifted thanks to the actions of the Armed Forces of

Ukraine. The route through Poland is not a replacement for the Danube and Odessa, it is an additional route for the implementation of a small amount of products. Moreover, grain is not exported to Poland; it transits mainly to the Baltic countries and Germany. Delivery of cargo to one of the largest European seaports with the possibility of further export to any point in the world.

According to the UDSC's plans, it is planned to install additional barge caravans on container lines, which will ensure the delivery of 2?1 thousand TEU per month to Regensburg (Germany) or 5?9 thousand TEU to Constanta (Romania). The UDSC can work with TEU/FEU containers as well as reefer containers.

River transportations only by the UDSC fleet are an alternative to 2-5 thousand trucks, which has additional environmental significance. In general, the increase in the turnover of road transport compared to rail and sea transport is not a positive trend since, as you know, the average CO<sub>2</sub> emissions per ton-kilometer in road transport amount to 139.8 g, while in rail

transport - only 15.6 g. Water transport is more environmentally friendly.

Replacing road transport with river transport will significantly reduce the specific weight of CO<sub>2</sub> emissions by freight road transport. Instead of transporting large volumes of cargo by roads, river transport can become a more environmentally sustainable option. For example, diesel fuel consumption for transporting 1 ton of cargo by river over a distance of 400 km is 3,95 kg/t. The same transportation by road transport requires 7,73 kg/t. As we can see, fuel savings will be 3,78 kg.

Reorienting transport flows to river transport can be a profitable strategy in terms of reducing the specific weight of CO<sub>2</sub> emissions by freight road transport. This will not only reduce fuel consumption but also contribute to reducing carbon dioxide emissions and improving the environmental condition.

Thus, the emphasis on the use of rail and water transport is the most effective way to integrate the domestic transport system into the European one, including taking into account environmental standards.

It is quite understandable that water transport also creates a certain environmental burden, namely: increased noise (both above water and underwater), possible oil and wastewater spills, exhaust gas emissions (CO<sub>2</sub>, carbon monoxide, sulfur oxides, nitrogen oxides, particulate matter).

However, modern river transport is the most environmentally friendly, along with rail and road transport, which significantly enhances its competitiveness given the latest trends in EU greening and the implementation of relevant standards. According to research by Delft University of Technology (Netherlands), CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) emissions from inland water transport are approximately three times lower (per 1 ton/km) than those from road transport.

The possibility of installing particulate filters on river vessels allows for a reduction of up to 90% in NO<sub>x</sub> (nitrogen oxide) emissions, which are responsible for smog formation and the greenhouse effect, and a reduction of up to 98% in PM<sub>10</sub> particulate matter levels. River transport enables the transportation of large volumes of cargo. For example, a barge with a carrying capacity of 900 tons can replace 18 railcars or 45 twenty-ton trucks.

To substantiate the ecological and economic advantages of the aforementioned transportations along the Danube, we will conduct appropriate analytical assessments. Figure 3 shows the possibilities of transportation within

the Danube countries-participants of the Danube Commission.

Figure 4 shows the results of the analysis of cargo turnover of the ports of Danube countries.

In most countries, there is an increase in cargo transportation volumes over the study period.

Germany: cargo transportation volumes significantly decreased from 4.031 thousand tons in 2014 to 2.283 thousand tons in 2023. The lowest figure was recorded in 2022 - 241 thousand tons.

Austria: after minor fluctuations in 2014-2017, cargo transportation volumes began to gradually decrease from 7,604 thousand tons in 2018 to 3.688 thousand tons in 2023.

Slovakia: the cargo turnover remains stable with slight fluctuations, from 1.8 thousand tons in 2014 to 1.619 thousand tons in 2023. The peak was in 2015 with 2.009 thousand tons.

Hungary: the volume of transportation increased from 5.673 thousand tons in 2014 to 6.742 thousand tons in 2020, after which it decreased to 3.664 thousand tons in 2023.

Croatia: the cargo transportation indicators are relatively stable with minor fluctuations. The lowest indicator was in 2018 (0.521 thousand tons), and the highest was in 2017 (0.6827 thousand tons).

Serbia: there has been a significant increase in the volume of cargo transportation, from 7.27 thousand tons in 2014 to 12.440 thousand tons in 2023. Notably, there was a sharp increase in 2022 to 12.023 thousand tons.

Bulgaria: the data for the study period is incomplete, but there is an increase from 5.689 thousand tons in 2014 to 7.357 thousand tons in 2023.

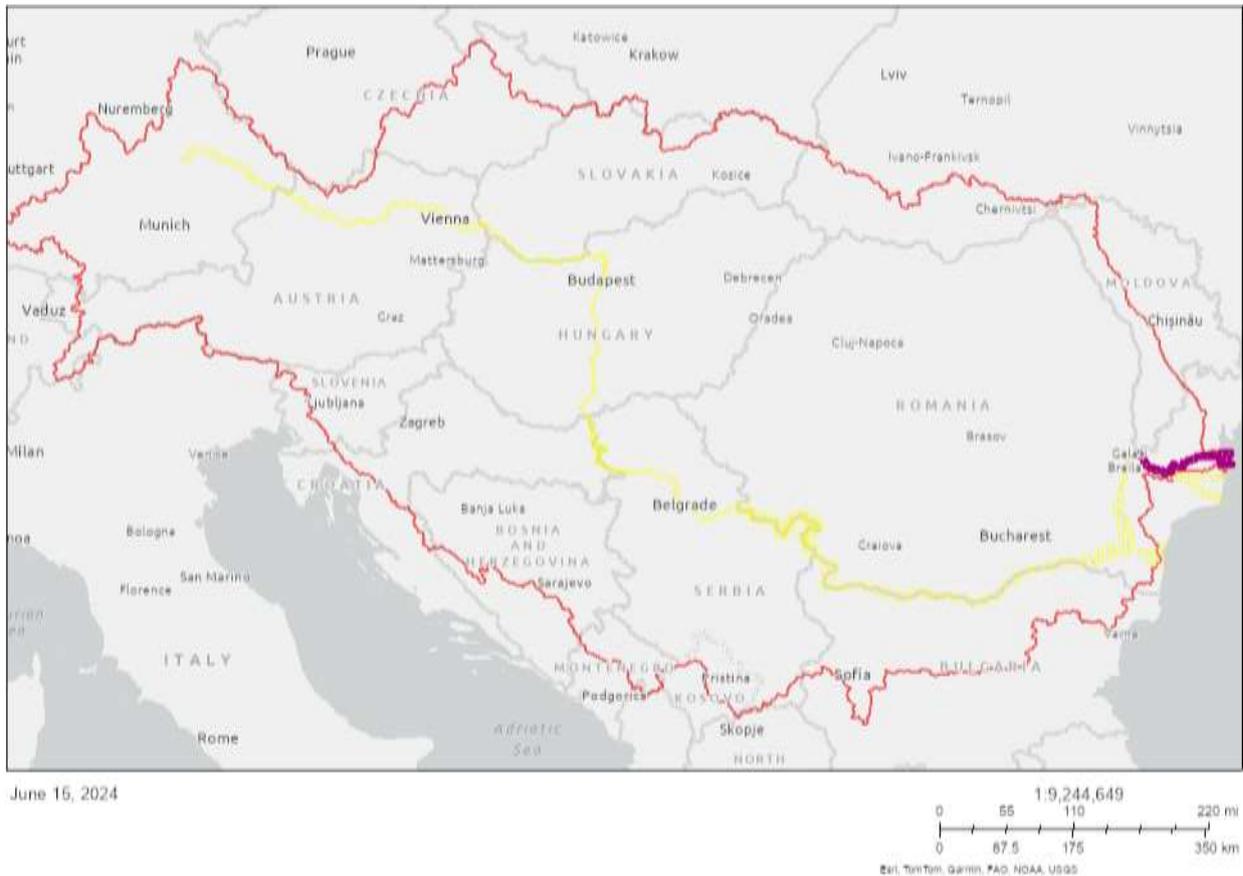
Romania: the indicators remain high, from 23.406 thousand tons in 2014 to 28.129 thousand tons in 2023. There has been steady growth since 2020.

Republic of Moldova: the volume of cargo transportation increased from 0.678 thousand tons in 2014 to 2.605 thousand tons in 2023, with a noticeable increase after 2019.

Ukraine: there has been significant growth in the volume of cargo transportation from 4.547 thousand tons in 2014 to 32.940 thousand tons in 2023. A particularly sharp increase was recorded in 2022 (16.505 thousand tons).

The total cargo transportation volume increased from 62.196 thousand tons in 2014 to 95.090 thousand tons in 2023, with a noticeable increase after 2021.

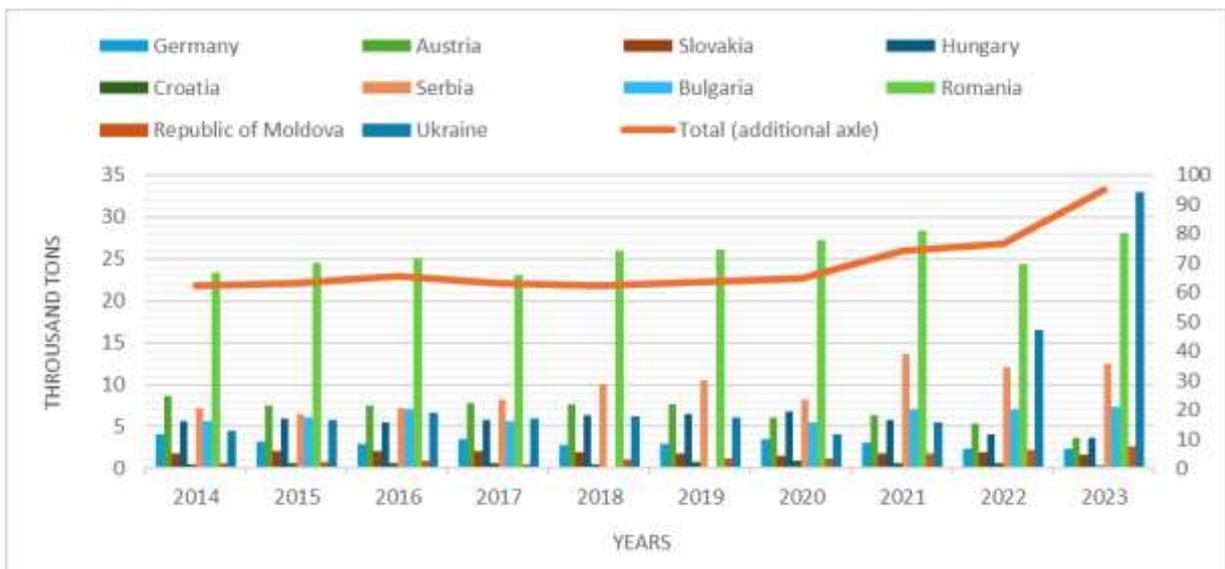
Among the Danube countries, Romania has the largest transportation volumes, followed



June 15, 2024

**Fig. 3** – Objects from Danube Commission’s hydrological database

<https://danubecommission.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=4c9e7f38b65541deb9c8d974b9ab2923&extent=7.9149,39.0323,32.9638,51.3481>



**Fig. 4** – Cargo turnover volumes in different countries over the years

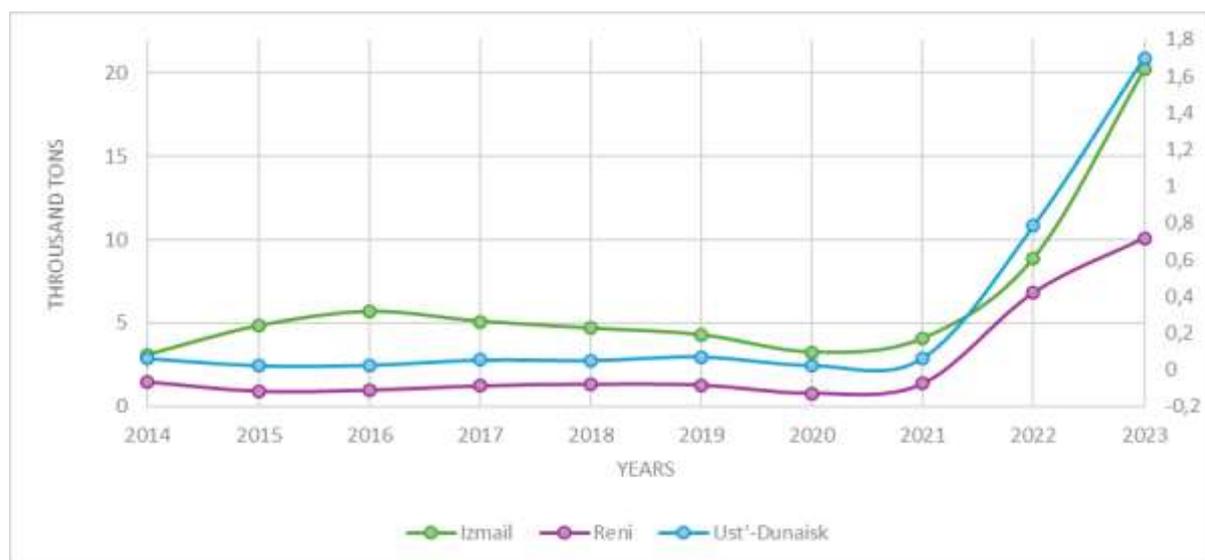


Fig. 5 – Cargo turnover volumes through the channels Izmail, Reni, Ust-Danube from 2014 to 2023

by Serbia. With the start of the war, Ukraine's transportation volumes have significantly increased due to the possibility of using the ports of Reni, Izmail, and Ust-Danube (Figure 5).

Regarding Izmail, from 2014-2016, cargo turnover increased, reaching a peak in 2016 (5.682 thousand tons). From 2017-2020, there is a decrease to the lowest level in 2020 (3.245 thousand tons). From 2021-2023, there is a significant increase, especially in 2022 and 2023, with the highest volume of 20.2 thousand tons in 2023.

Regarding Reni, from 2014-2016, there are minor fluctuations with a peak in 2014 (1.4648 thousand tons). From 2017-2020, relatively stable volumes with slight fluctuations. From 2021 to 2023, there was a sharp increase in 2022 and 2023, reaching 10.1 thousand tons in 2023.

Regarding Ust-Danube, from 2014-2020, cargo turnover is relatively stable and low with minor fluctuations. From 2021-2023, there is a significant increase, especially in 2022 and 2023, with the highest volume of 1.7 thousand tons in 2023.

Izmail has the highest cargo turnover volumes among the three channels, especially since 2022. Reni, in turn, is second in terms of volumes with significant growth in 2022 and 2023.

Ust-Danaisk has the lowest cargo turnover volumes but also shows growth in 2022 and 2023. All three ports demonstrate sharp increases in 2022 and 2023.

The greatest increase is observed in Izmail, where cargo turnover volumes more than doubled in 2023 compared to 2022. All three

channels show significant growth in 2022 and 2023. Izmail consistently has the highest cargo turnover figures, indicating its crucial role in regional transportation.

**Analysis of the situation in the Romanian Danube ports.** Figure 6 presents the analysis results of cargo transportation volumes through the Danube-Black Sea canal from 2012 to 2023. It includes three types of shipments: combined cargo turnover, international transportation, and domestic transportation.

The volumes of cargo transportation through the Danube-Black Sea canal during 2012-2023 showed steady growth. During this period, joint cargo turnover almost doubled from 1.372 million tons in 2012 to 2.336 million tons in 2023. International transportation during 2012-2023 accounted for the majority of joint cargo turnover. Their share in total transportation volumes from 2012 to 2023 ranged from 46% to 78%.

The analysis of cargo turnover through the Sulina port is shown in Figure 7.

The volumes of cargo transportation through the Sulina canal during 2018-2023 showed steady growth. During this period, cargo turnover increased more than three times. Transportation in the direction of "Danube-Sea" during 2015-2023 accounted for the majority of cargo turnover. Their share in total transportation volumes from 2015 to 2023 ranged from 63% to 78%. During 2015-2023, the volumes of cargo transportation through the canal showed steady growth, indicating its growing role in the global transportation system.

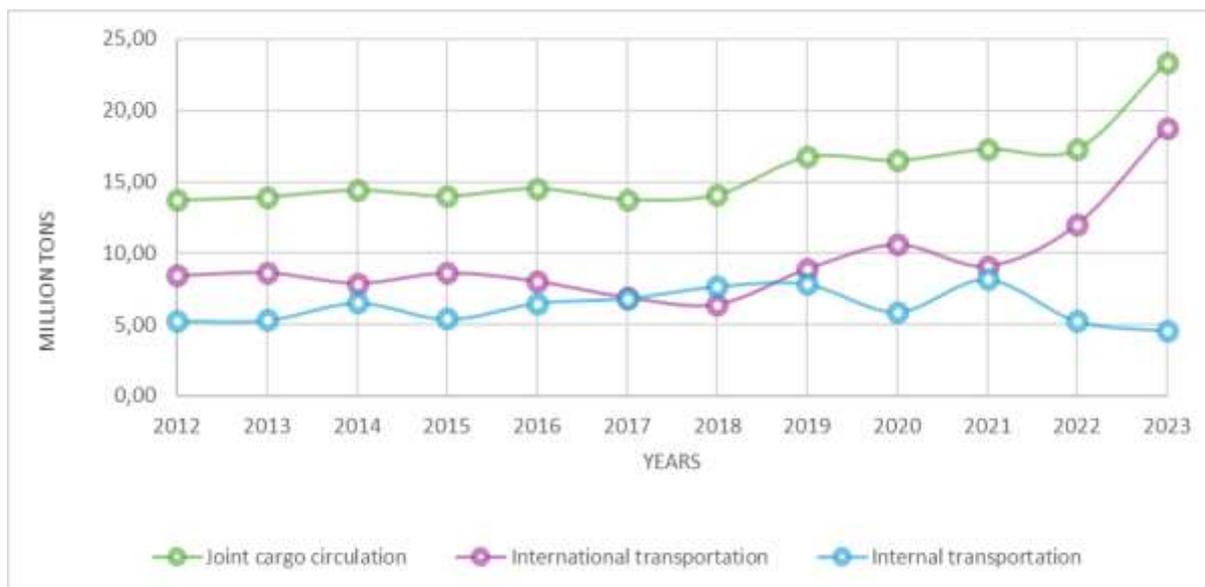


Fig. 6 – Cargo volumes through the Danube-Black Sea canal over the years

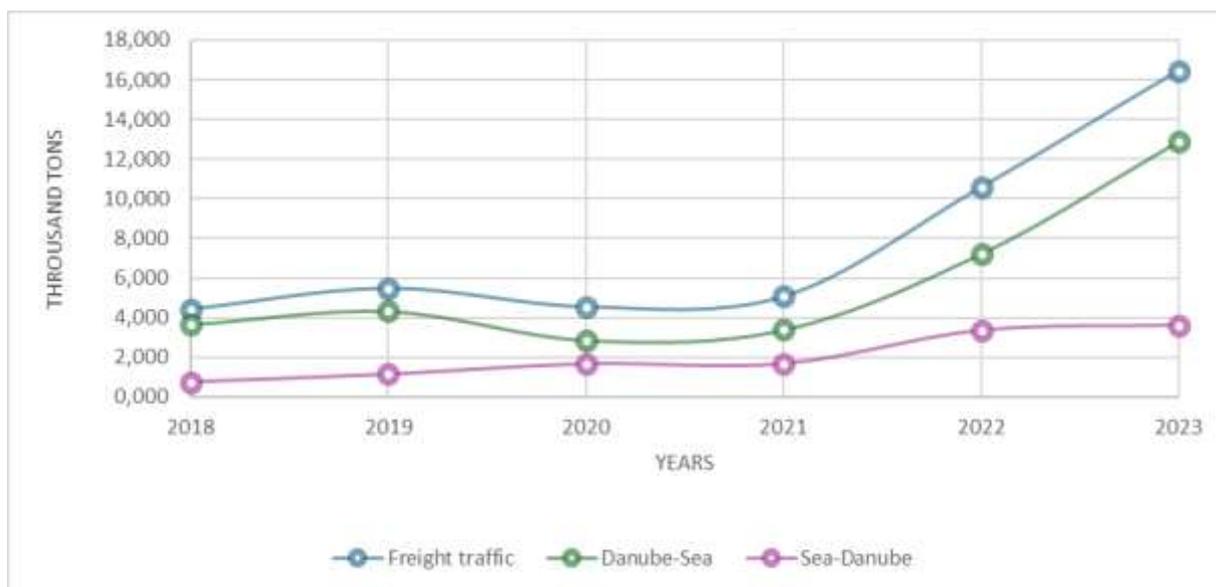


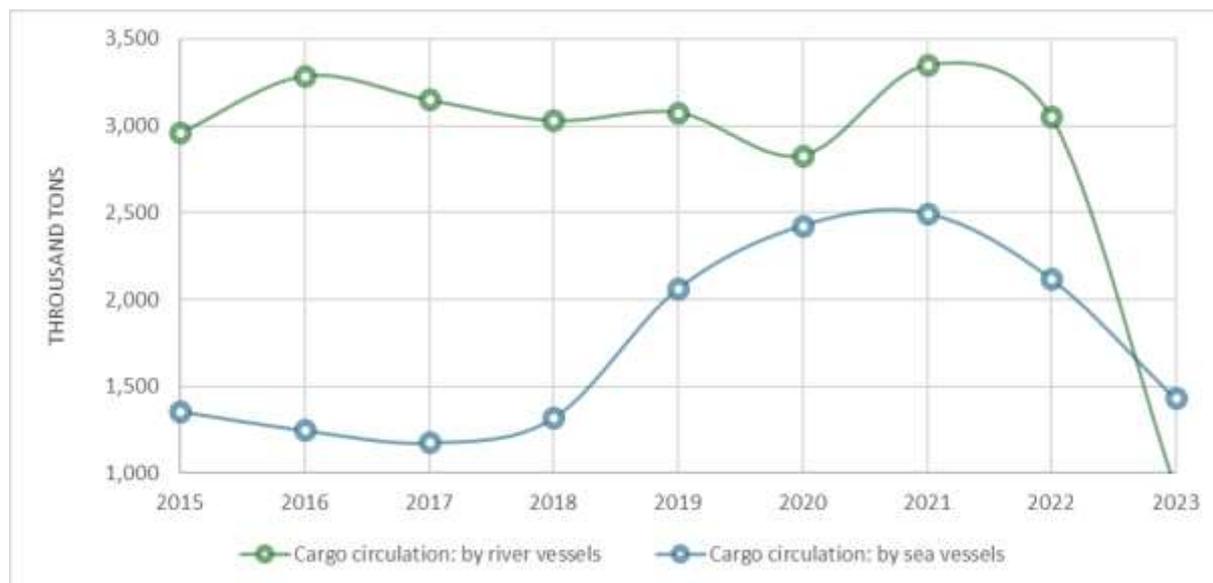
Fig. 7 – Cargo volumes through the Sulina canal over the years.

The port of Galati holds significant importance in the transportation market along the Danube River. Figure 8 shows the volumes of cargo turnover by river and sea vessels to the port of Galati from 2015 to 2023.

Regarding cargo turnover by river vessels, from 2015-2019, there is relatively stable cargo turnover with fluctuations ranging from 2,961-3,287 thousand tons. In 2020, there is a slight decrease to 2.831 thousand tons. In 2021, there is an increase to the highest level of 3.350 thousand tons. In 2022, there is a slight decrease to 3.054 thousand tons. In 2023, there is a significant decrease to 0.915 thousand tons, which may be the

result of significant changes in economic conditions and other factors.

Regarding cargo turnover by sea vessels, from 2015-2019, there is relatively stable cargo turnover with fluctuations ranging from 3,821-4,072 thousand tons. In 2020, there is a slight increase to 4,252 thousand tons. In 2021, there is an increase to the highest level of 4,635 thousand tons. In 2022, there is a slight decrease to 4,470 thousand tons. In 2023, there is a significant decrease to 2,784 thousand tons, which may also be the result of significant changes in economic conditions and other factors.



**Fig. 8** – Cargo turnover by river and sea vessels to the port of Galati from 2015 to 2023

Regarding cargo turnover by sea vessels, there was a consistent decline from 1.357 million tons in 2015 to 1.177 million tons in 2017. From 2018 to 2019, there was an increase, particularly sharp in 2019 to 2.061 million tons.

From 2020 to 2021, this growth continued to 2.496 million tons in 2021. There was a slight decrease in 2022 to 2.119 million tons. However, in 2023, there was a significant decrease to 1.431 million tons.

Therefore, regarding river cargo turnover, the figures remained relatively stable with minor fluctuations between 2015 and 2019. The year 2021 was the most successful with a volume of 3.350 million tons. However, there was a significant decrease in 2023 to 0.915 million tons. As for maritime cargo turnover, there was a gradual decrease until 2017, followed by stable growth until 2021. The peak volume was reached in 2021 at 2.496 million tons. There was a decrease in 2023 to 1.431 million tons.

River cargo turnover demonstrates more stable figures throughout the period from 2015 to 2019, while maritime cargo turnover shows more pronounced fluctuations. Both types of cargo turnover reached their peak values in 2021, but river cargo turnover exhibited a sharper decline in 2023. Both types of cargo turnover show a trend of growth until 2021, after which both decrease, though maritime cargo turnover remains more stable compared to river cargo.

Let's analyze the cargo turnover of the Port of Constanta (Figure 9). The majority

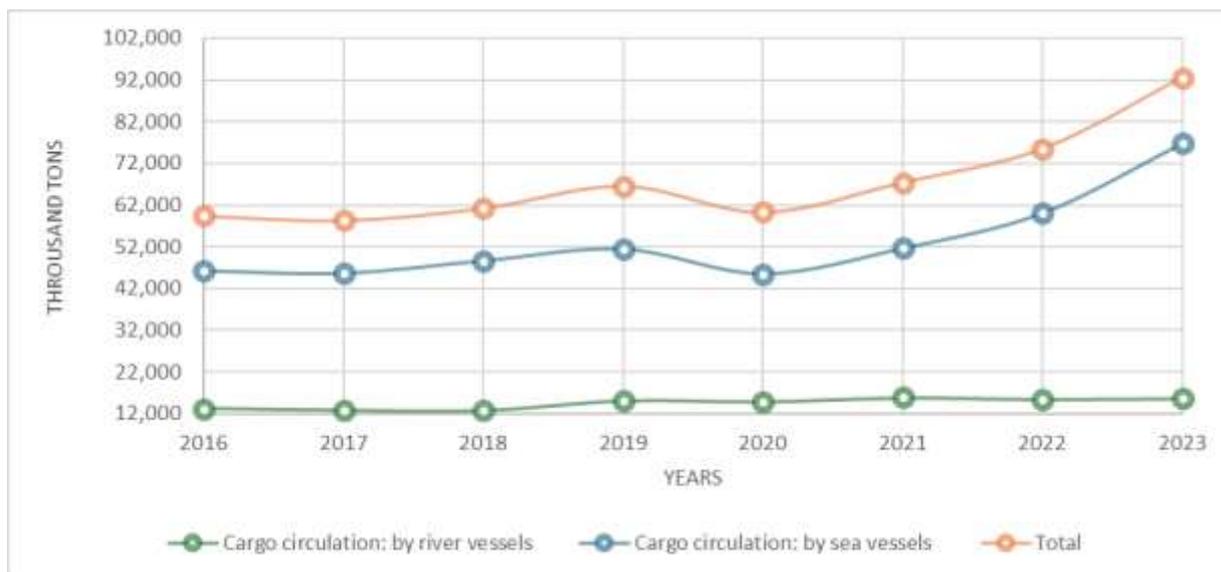
share of the port's cargo turnover is provided by maritime transportation. However, the port also utilizes the capabilities of river transport facilities.

Regarding cargo turnover by river vessels, there was a decrease from 13.229 thousand tons in 2016 to 12.664 thousand tons in 2018. From 2019 to 2021, there was recovery and growth, reaching the highest volume of 15.863 thousand tons in 2021. From 2022 to 2023, there were minor fluctuations with a peak volume of 15.679 thousand tons in 2023.

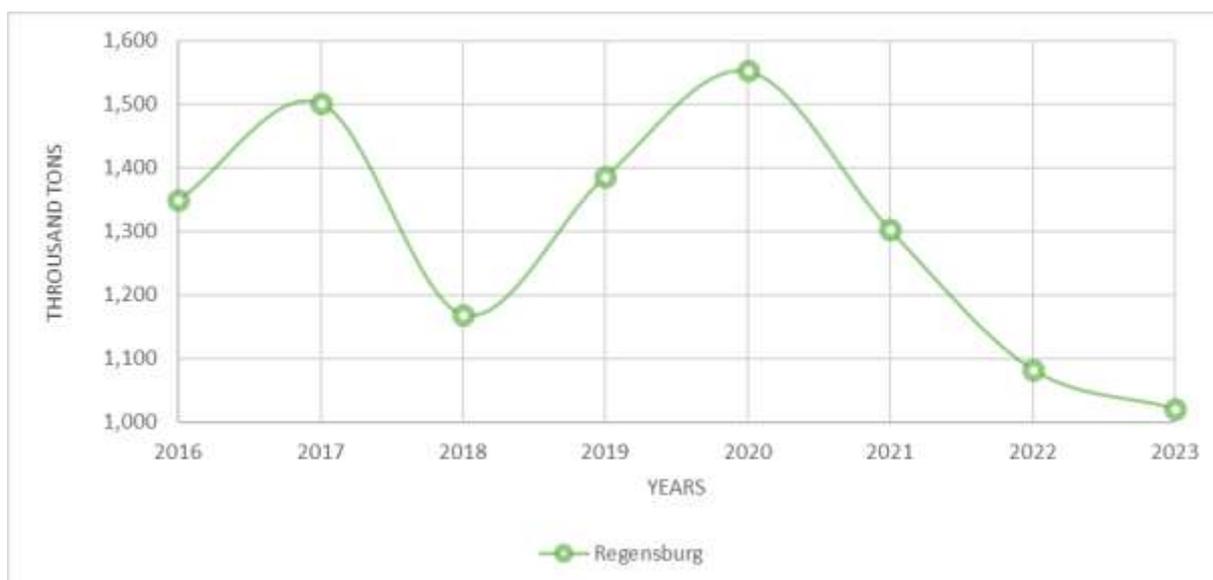
As for cargo turnover by sea vessels, there was a slight decrease from 46.195 thousand tons in 2016 to 45.622 thousand tons in 2017. From 2018 to 2019, there was significant growth to 51.458 thousand tons in 2019. In 2020, there was a noticeable decrease to 45.506 thousand tons. From 2021 to 2023, there was steady growth to a peak volume of 76.821 thousand tons in 2023.

Cargo turnover of sea vessels has significantly increased, especially in 2022 and 2023, reaching 76.821 thousand tons in 2023. The cargo turnover of river vessels remains relatively stable with a slight increase to 15.679 thousand tons in 2023. Sea vessels handle significantly larger volumes of cargo compared to river vessels, which is a crucial indicator for international trade development.

Considering the viability of expanding cargo transportation through Danube River ports, it would be worthwhile to examine the situation in the context of the Port of Regensburg (Germany).



**Fig. 9** – Volume of cargo turnover by river and sea vessels at the Port of Constanta from 2016 to 2023



**Fig. 10** – Volume of cargo turnover at the Port of Regensburg from 2016 to 2023

Figure 10 presents data on cargo transportation at the Port of Regensburg. The cargo turnover of the Regensburg port shows significant fluctuations during the analyzed period. The highest volume was in 2020, after which there is a stable decline. The largest growth was observed in 2017 and 2020, with a peak in 2020 (1.553 thousand tons). Significant decline in 2018 and after 2020. The lowest level of cargo turnover was recorded in 2023 (1.021 thousand tons). From 2016-2017, cargo turnover increased by 11,3% from 1.350 thousand tons in 2016 to 1.502 thousand tons in 2017. However, from 2017 to 2018, there was a sig-

nificant decrease by 22.2% to 1.169 million tons. From 2018 to 2019, there was a recovery with an increase of 18.6% to 1.387 million tons. From 2017-2019, cargo turnover decreased by 25% to 1.130 thousand tons. From 2020-2023, there is a decrease of 33% to 1.021 thousand tons.

The trends of recent years, as we can see, are negative, although there are positive examples in 2017 and 2020. Therefore, there are all reasons to expect that the expansion of navigation on the Danube will increase the cargo turnover volumes in the Regensburg port to its planned capacities.

### Conclusions

The conducted analysis showed that in the conditions of war and the blockade of the ports of Greater Odessa, export transportation through the Ukrainian Danube ports of Reni, Izmail, and Ust-Danube has been activated. This was also facilitated by the dredging works in the Bystre estuary, which allowed its transport capabilities to be used for the passage of vessels with a draft of up to 6.5 meters, and not only the Romanian Sulina canal.

The analysis showed that, in addition to positive results for Ukrainian ports, there was also an increase in cargo handling volumes in Romanian ports, for example, the Sulina port has shown an increase in cargo movement volumes in recent years. Overall, if we compare the growth rates in the direction of Danube-Black Sea and in the opposite direction, the preference is given to the Danube-sea direction.

Regarding transportation through the Danube-Black Sea canal, recent years have also seen an increase in cargo transportation volumes, but this is mainly due to international transportation. Domestic transportation does not show sim-

ilar dynamics. The Constanta port has also been increasing cargo handling volumes in recent years due to sea transportation, but river transportation is also growing, although not as significantly.

Unlike the mentioned ports, the Romanian port of Galati has been decreasing cargo handling volumes since 2021. The reason for this is that, among the two routes considered - the Danube and the Danube-Black Sea to the Constanta port, preference is given to the latter.

This gives reason to expect that the further expansion of navigation along the Danube using the routes Ukraine - Galati, Ukraine - Regensburg, and Ukraine-Constanta (via the Danube) will ensure the effectiveness of the mentioned ports and create additional conditions for the development of transport logistics in the Danube region as part of the security system for Ukraine, Europe, and the world as a whole.

An additional advantage of such decisions is their environmental orientation, since among all types of transport, water transport is the most environmentally friendly.

### Conflict of Interest

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

### References

1. Krčum, M., Plazibat, V., Gorana, J. M. (2015). Integration Sea and River Ports – the Challenge of the Croatian Transport System for the 21st Century. *Naše more*. 62(4), 247–255. <https://doi.org/10.17818/NM/2015/4.2>
2. Wójcikiewicz, R. & Kaupb, M. (2016). Role and significance of inland waterway transport in container logistic chains, based on example of river-sea port in Szczecin. Faculty of Maritime Technology and Transport, West Pomeranian University. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/311948197\\_Role\\_and\\_significance\\_of\\_inland\\_waterway\\_transport\\_in\\_container\\_logistic\\_chains\\_based\\_on\\_example\\_of\\_river-sea\\_port\\_in\\_Szczecin](https://www.researchgate.net/publication/311948197_Role_and_significance_of_inland_waterway_transport_in_container_logistic_chains_based_on_example_of_river-sea_port_in_Szczecin)
3. Determinants of River Ports Development Into Logistics Trimodal Nodes, Illustrated by the Ports of the Lower Vistula River. Faculty of Transport Engineering and Economics. Maritime University of Szczecin. 2016. Retrieved from [https://ac.els-cdn.com/S2352146516306688/1-s2.0-S2352146516306688-main.pdf?tid=414bd8aecb73-11e7-80b8-00000aacb362&acdnat=1510908333\\_052537018c28f2eca01f26358d42bbe1/](https://ac.els-cdn.com/S2352146516306688/1-s2.0-S2352146516306688-main.pdf?tid=414bd8aecb73-11e7-80b8-00000aacb362&acdnat=1510908333_052537018c28f2eca01f26358d42bbe1/)
4. Nowakowski, T., Kulczyk, J., Skupiń, E., Tubis, A., & Werbińska-Wojciechowska, S. (2015). Inland water transport development possibilities – case study of lower Vistula river. *Archives of Transport*, 35(3), 53–62. <https://doi.org/10.5604/08669546.1185192>
5. Kolář, J., Stopka, O., & Krile, S. (2018), Specification of a location for opted port logistics center in a given area using the method of operational research. *The Journal of International Trade and Economic Development*, 13(4). 55–63. <https://doi.org/10.20858/tp.2018.13.4.6>
6. Horoshko, K. O., & Aliabieva, O. M. (2017). Inland water transport, as a solution to problems of "corn logistics". *Ahrosvit*, (24), 49-52 Retrieved from. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit\\_2017\\_24\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit_2017_24_10)
7. Irtysheva, I., & Boiko, Ie. (2016). Development of river infrastructure as an element of agricultural logistics in the context of resource saving policy. Retrieved from <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456789/162716>

8. Okorokov, A.M., Vernygora, R.V., & Tsuprov, P.S. (2016). River transport of Ukraine: current state and prospects. *Collection of scientific papers of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Transport systems and transport technologies*. (12), 62-68. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdnu\\_tstp\\_2016\\_12\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdnu_tstp_2016_12_12)
9. Tymoshchuk, O.M., & Goroshko, K.O. (2015). The European Experience of Ensuring the Development of River Shipping Companies. *The Problems of Economy*, (4), 73-78. Retrieved from [https://www.problecon.com/export\\_pdf/problems-of-economy-2015-4\\_0-pages-73\\_78.pdf](https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2015-4_0-pages-73_78.pdf)
10. Shakhov, A.V., Rosomakha, O.I., & Rosomakha, O.I. (2019). River transport in Ukraine. Development of management and entrepreneurship methods on Transport, (3(68), 5-15. <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2019-3-5-15>
11. Horoshkova, L.A., & Sumets, O.M. (2022). Eventual model of logistics assets location for regional socio-economic development. *University Economic Bulletin*, (53), 139-151. <https://doi.org/10.31470/2306-546X-2022-53-139-151>
12. Slipenko, A.K., & Manaenko, I.M. (2019). Development of river transport of Ukraine in the conditions of world trends of energy efficiency. *Actual problems of economics and management*, (13), Retrieved from <http://ape.fmm.kpi.ua/article/view/167629>
13. Horoshkova, L., & Ryzhikov, I. (2024). The role of river transportation in the "greening" of the transport industry of Ukraine (2024). *Proceedings of III International Internet-conference: Current Issues of Formal and Non-formal Education in Environmental Monitoring and Conservation*, (Kharkiv, April 26, 2024). – Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 102-103. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/06/akt-probl-form-i-neform-osv-z-monit-dovk-ta-zapov-spr-2024.pdf>

The article was received by the editors 18.04.2024

The article is recommended for printing 28.05.2024

Л. А. ГОРОШКОВА<sup>1</sup>, д-р екон. наук, проф.,

Професор кафедри екології

e-mail: [goroshkova69@gmail.com](mailto:goroshkova69@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7142-4308>

С. В. ГОРОШКОВ<sup>1</sup>,

студент

e-mail: [s.horoshkov@ukma.edu.ua](mailto:s.horoshkov@ukma.edu.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4310-9165>

Ю. Д. КОРНІЙЧУК<sup>1</sup>,

студентка

e-mail: [yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua](mailto:yuliia.korniichuk@ukma.edu.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0742-3213>

<sup>1</sup>Національний університет «Києво-Могиллянська академія»

вул.Сковороди, 2, Київ, 04070, Україна

## РОЗВИТОК ДУНАЙСЬКИХ ПОРТОВ В ПЕРІОД ВІЙНИ ТА ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ

**Мета:** Оцінка розвитку дунайських портів в умовах війни та післявоєнного відновлення України як складової системи безпеки України, Європи та світу в цілому.

**Методи.** Загальнонаукові (аналіз і синтез, індукція і дедукція, аналітичне групування) та спеціальні (абстрагування, моделювання та ін.) методи дослідження економічних явищ і процесів.

**Результати.** Проведений аналіз показав, що в умовах війни та блокади портів Великої Одеси активізувалися експортні перевезення через українські дунайські порти Рені, Ізмаїл та Усть-Дунай. Цьому також сприяли днопоглиблювальні роботи в лимані Бистре, що дозволило використовувати його транспортні можливості для проходу суден з осадкою до 6,5 метрів, а не лише румунського Сулінського каналу. Аналіз показав, що, окрім позитивних результатів для українських портів, також спостерігалось збільшення обсягів перевалки вантажів у портах Румунії, наприклад, порт Суліна демонструє збільшення обсягів перевезення вантажів за останні роки. Загалом, якщо порівнювати темпи зростання в напрямку Дунай-Чорне море та у зворотному напрямку, то перевага надається напрямку Дунай-море. Що стосується перевезень через канал Дунай-Чорне море, то останніми роками також спостерігається збільшення обсягів перевезень вантажів, але це відбувається переважно за рахунок міжнародних перевезень. Внутрішні перевезення не демонструють подібної динаміки. Порт Констанца також збільшує обсяги перевалки вантажів в останні роки за рахунок морських перевезень, але річкові перевезення також зростають, хоча не настільки значно. На відміну від згаданих портів, румунський порт Галац з 2021 року зни-

жує обсяги перевалки вантажів. Причиною цього є те, що серед двох розглянутих маршрутів – Дунайський та Дунайсько-Чорноморський до порту Констанца, перевага надається останній.

**Висновки.** Подальше розширення судноплавства по Дунаю за маршрутами Україна – Галац, Україна – Регенсбург, Україна – Констанца (через Дунай) забезпечить ефективність роботи зазначених портів і створить додаткові умови для розвитку транспортної логістики в Дунайському регіоні як частина системи безпеки України, Європи та світу в цілому.

Додатковою перевагою таких рішень є їх екологічність, оскільки серед усіх видів транспорту водний є найбільш екологічним.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Дунайські порти, річкова логістика, екологічно чистий транспорт, вантажні перевезення, міжнародні перевезення, транспортна логістика, Дунайський регіон

#### Список використаної літератури

1. Krčum, M., Plazibat, V., Gorana, J. M. (2015). Integration Sea and River Ports – the Challenge of the Croatian Transport System for the 21st Century. *Naše more*. 62(4), 247–255. DOI: <https://doi.org/10.17818/NM/2015/4.2>
2. Wójcikiewicz, R. & Kaupb, M. (2016). Role and significance of inland waterway transport in container logistic chains, based on example of river-sea port in Szczecin. Faculty of Maritime Technology and Transport, West Pomeranian University. URL: [https://www.researchgate.net/publication/311948197\\_Role\\_and\\_significance\\_of\\_inland\\_waterway\\_transport\\_in\\_container\\_logistic\\_chains\\_based\\_on\\_example\\_of\\_river-sea\\_port\\_in\\_Szczecin](https://www.researchgate.net/publication/311948197_Role_and_significance_of_inland_waterway_transport_in_container_logistic_chains_based_on_example_of_river-sea_port_in_Szczecin)
3. Determinants of River Ports Development Into Logistics Trimodal Nodes, Illustrated by the Ports of the Lower Vistula River. Faculty of Transport Engineering and Economics. Maritime University of Szczecin. 2016. URL: [https://ac.els-cdn.com/S2352146516306688/1-s2.0-S2352146516306688-main.pdf?tid=414bd8aecb73-11e7-80b8-00000aacb362&acdnat=1510908333\\_052537018c28f2eca01f26358d42bbe1/](https://ac.els-cdn.com/S2352146516306688/1-s2.0-S2352146516306688-main.pdf?tid=414bd8aecb73-11e7-80b8-00000aacb362&acdnat=1510908333_052537018c28f2eca01f26358d42bbe1/)
4. Nowakowski, T., Kulczyk, J., Skupień, E., Tubis, A., & Werbińska-Wojciechowska, S. (2015). Inland water transport development possibilities – case study of lower Vistula river. *Archives of Transport*, 35(3), 53–62. DOI: <https://doi.org/10.5604/08669546.1185192>
5. Kolář, J., Stopka, O., & Krile, S. (2018), Specification of a location for opted port logistics center in a given area using the method of operational research. *The Journal of International Trade and Economic Development*, 13(4). 55–63. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2018.13.4.6>
6. Горошко К. О., Аляб'єва О. М. Річковий транспорт як вирішення проблем "зернової логістики". Агросвіт. 2017. № 24. С. 49–52. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit\\_2017\\_24\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit_2017_24_10)
7. Іртишева, І., Бойко С. Розвиток річкової інфраструктури як елемента аграрної логістики в контексті ресурсозберігаючої політики. Економіка природокористування і охорони довкілля. 2016. С. 247–252. URL: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456789/162716>
8. Огороков А. М., Вернигора Р. В., Цупров П. С. Річковий транспорт України: сучасний стан та перспективи використання. *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень*. 2016. Вип. 12. С. 62–68. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdnu\\_tstp\\_2016\\_12\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdnu_tstp_2016_12_12)
9. Тимошук О. М., Горошко К. О. Європейський досвід забезпечення розвитку річкових судноплавних компаній. *Проблеми економіки*. 2015. № 4. С. 73 – 78. URL: [https://www.problecon.com/export\\_pdf/problems-of-economy-2015-4\\_0-pages-73\\_78.pdf](https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2015-4_0-pages-73_78.pdf)
- 10 Шахов А.В., Россомаха О.І., Россомаха О.А. Річковий транспорт в Україні. Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. 2019. № 3 (68). С. 5-15. DOI: <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2019-3-5-15>
- 11 Горошкова Л. А., Сумець О. М., Евентуальна модель пошуку місця локації логістичних об'єктів соціально-економічного розвитку територій регіонального рівня. *Економічний вісник університету*, (53), 139-151. DOI: <https://doi.org/10.31470/2306-546X-2022-53-139-151>
- 12 Сліпенко А.К., Манаєнко І.М. Розвиток річкового транспорту України в умовах світових тенденцій енергоефективності. *Актуальні проблеми економіки та управління*, 2019. № 13. URL: <http://ape.fmm.kpi.ua/article/view/167629>
13. Горошкова Л., Рижиков І. Роль річкових перевезень в «озелененні» транспортної галузі України. Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи : тези доповідей III Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 26 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С.102-103. URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/06/akt-probl-form-i-neform-osv-z-monit-dovk-ta-zapov-spr-2024.pdf>

Стаття надійшла до редакції 18.04.2024

Стаття рекомендована до друку 28.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-06>

УДК (UDC): 504.4.054

**М. І. КУЛИК**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
доцент кафедри екології та менеджменту довкілля  
e-mail: [m.kulyk@karazin.ua](mailto:m.kulyk@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0605-9367>  
**А. А. ЛІСНЯК**<sup>1</sup>, канд. с.-г. наук, доц.,  
доцент кафедри екології та менеджменту довкілля  
e-mail: [anlisnyak@gmail.com](mailto:anlisnyak@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5850-7328>  
<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ В МЕЖАХ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ У 2023 РОЦІ

**Мета.** Надати оцінку якості масиву поверхневих вод річки Сіверський Донець в межах Харківської області у 2023 році на основі визначення індексів якості води.

**Методи.** Методи модифікованого індексу забруднення води (ІЗВ) та комбінаторного індексу забруднення води (КІЗ). Критеріями якості води взято ГДК для водойм рибогосподарського призначення (рґ) та гігієнічними нормами (ґп) якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення

**Результати.** Стан річкової води на пункті спостереження с. Печеніги за методом модифікованого індексу забруднення води ІЗВ<sub>рґ</sub> оцінюється як II клас характеризується як «чиста», ІЗВ<sub>ґп</sub> – I клас, «дуже чиста»; за методом комбінаторного індексу забруднення води ПКІЗ<sub>рґ</sub> – клас III а, «брудна», ПКІЗ<sub>ґп</sub> – клас I, «слабо забруднена». Стан річкової води на пункті спостереження с. Есхар за ІЗВ<sub>рґ</sub> оцінюється як III клас характеризується як «помірно забруднена», ІЗВ<sub>ґп</sub> – II клас, «чиста»; за ПКІЗ<sub>рґ</sub> – клас III б, «брудна», ПКІЗ<sub>ґп</sub> – клас II, «забруднена». Стан річкової води на пункті спостереження с. Задонецьке за ІЗВ<sub>рґ</sub> оцінюється як III клас характеризується як «помірно забруднена», ІЗВ<sub>ґп</sub> – II клас, «чиста»; за ПКІЗ<sub>рґ</sub> – клас III б, «брудна», ПКІЗ<sub>ґп</sub> – клас I, «слабо забруднена».

**Висновки.** Відбуваються зміни якості води вздовж водотоку річки Сів. Донець в межах Харківської області у 2023, спостерігається погіршення якості води після впадіння річки Уди, далі стан якості води покращується за величиною зміни індексів. За рахунок процесів самоочищення та зменшення антропогенного навантаження, вірогідно, якість води за показником ІЗВ варіюється від «дуже чистої» до «помірно забруднена», за показником КІЗ варіюється від «слабо забруднена» до «брудна».

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *поверхневі води, модифікований індекс забруднення, комбінаторний індекс забруднення*

**Як цитувати:** Кулик М. І., Лісняк А. А. Оцінка якості поверхневих вод у річці Сіверський Донець в межах Харківської області у 2023 році. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 83 - 99. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-06>

**In cites:** Kulyk, M. I., & Lisnyak, A. A. (2024). Assessment of surface water quality in the Siversky Donets river within Kharkiv region in 2023. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (41), 83 – 99. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-06> (in Ukrainian)

### Вступ

Життєво важливим для забезпечення життєдіяльності як людини так і для економічного зростання регіону є наявність води відповідної якості. Низька якість водних ресурсів в першу чергу несе загрозу для стану здоров'я населення при використанні для питних

потреб. Особливу увагу слід звертати на якість води на урбанізованих територіях, оскільки саме вони чинять інтенсивний вплив на водні об'єкти.

Річка Сів. Донець в межах Харківської області являється єдиною, що відноситься

© Кулик М. І., Лісняк А. А., 2024



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

до категорії великих річок, та головною водною артерією області. В межах області її загальна довжина становить 375 км, а притоками є річки Оскіл, Уди, Берека, Лопань, Харків, Сухий Торець та інші. До території басейну р. Сіверського Донця належить близько 22 тис км<sup>2</sup> або близько 70 % території області та проживало близько 2,5 млн. осіб [1 – 10].

Поверхневі води р. Сів. Донець та його басейну, а також Печенізьке та Краснопавлівське водосховища забезпечують, в більшому ступені, потреби м. Харкова та області у водних ресурсах, а також є об'єктами рибогосподарського призначення. Слід зазначити, що Харківська область має досить низьку забезпеченість водними ресурсами [1 – 3, 5, 6, 8 – 10].

У 2022 році з басейну Сіверського Донця з природних водних об'єктів забрано 140,7 млн. м<sup>3</sup> води, а загалом по області – 144,9 млн. м<sup>3</sup> води (з них 129,0 млн. м<sup>3</sup> з поверхневих водних об'єктів). Загалом скинуто у поверхневі водні об'єкти зворотних вод 129,1 млн. м<sup>3</sup>, у тому числі недостатньо очищених 2,8 млн. м<sup>3</sup>. Причому у 2022 році об'єм забраних та відведених вод значно менший порівняно з 2021 та 2020 роками, так забрано води з поверхневих джерел у 2020 році 278,9 млн. м<sup>3</sup>, у 2021 – 201,4 млн. м<sup>3</sup>, а скинуто усього зворотних вод 308,8 млн. м<sup>3</sup> та 238,9 млн. м<sup>3</sup> відповідно [3, 4, 8].

Антропогенний вплив на поверхневі водні об'єкти здійснюється внаслідок діяльності комунальних та промислових підприємств, поверхневих стоків з сільськогосподарських територій, а також внаслідок проведення бойових дій. У 2022 році на території Харківської області 59 підприємств мають скиди до поверхневих водних об'єктів в басейні р. Сіверського Донця, відведено 126,65 млн. м<sup>3</sup> води, з них 2,1 млн. м<sup>3</sup> забруднених зворотних вод [3, 4, 8].

Дослідженнями якості поверхневих вод у басейні річки Сів. Донець займались О. Г. Васенко [2, 10], О. М. Крайнюков [11], Г. В. Коробкова [5, 6, 12, 13], О. В. Рибалова [9, 13, 14], О. В. Бірюков [15], В. Л. Безсонний [16 – 18].

Для вивчення та встановлення екологічного стану масивів поверхневих вод здійснюється державний моніторинг за біологічними, фізико-хімічними, хімічними та гідроморфологічними показниками. Державний моніторинг

здійснюється в системі Державного агентства водних ресурсів України [19]. Державний моніторинг на території Харківської області здійснюється Лабораторією моніторингу вод Східного регіону Сіверсько-Донецького басейного управління водними ресурсами, Лабораторією моніторингу вод та ґрунтів Регіонального офісу водних ресурсів у Харківській області та Харківським регіональним центром з гідрометеорології. У 2023 році моніторинг у суббасейні річки Сів. Донець здійснювався по 47 пунктах моніторингу, з них 30 у Харківській області [3, 4, 19]. Пункти контролю встановлені на типових ділянках основних річок, в місцях впадіння приток, в місцях активної господарської діяльності та місцях розташування великих питних водозаборів [12, 19].

Традиційно у Доповідях про стан навколишнього природного середовища наводиться аналіз якості води за перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК). У 2022 році за даними Харківського регіонального центру з гідрометеорології у р. Сів. Донець за двома відборами проб та 18 показників, що аналізувались: у Печенізькому водосховищі, с. Печеніги перевищень ГДК не зафіксовано; у точці нижче гирла р. Уди, с. Есхар перевищення зафіксовано двічі за показниками БСК<sub>5</sub>, ХСК, нітроген амонійний, нітроген нітритний; у точці нижче каналу Дніпро-Донбас перевищення зафіксовано двічі за показниками ХСК, мінералізація, нітроген амонійний, нітроген нітритний; у точці с. Задонецьке перевищення зафіксовано двічі за показниками БСК<sub>5</sub>, ХСК, нітроген амонійний, нітроген нітритний; у точці с. Богородичне перевищення зафіксовано двічі за показниками нітроген амонійний, нітроген нітритний та один раз за показником ХСК [3, 4, 20]. Зазначений підхід до оцінки якості води не дає її загальної оцінки, більш доцільним є оцінка за інтегральними показниками. До таких належать методи: індекс забруднення води, модифікований індекс забруднення води, комбінаторний індекс забруднення води, коефіцієнт забруднення, комплексний показник екологічного стану та інші [5, 15, 21, 22].

Мета роботи – надати оцінку якості масиву поверхневих вод річки Сів. Донець в межах Харківської області у 2023 році на основі визначення індексів якості води.

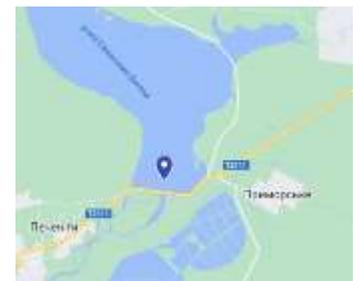
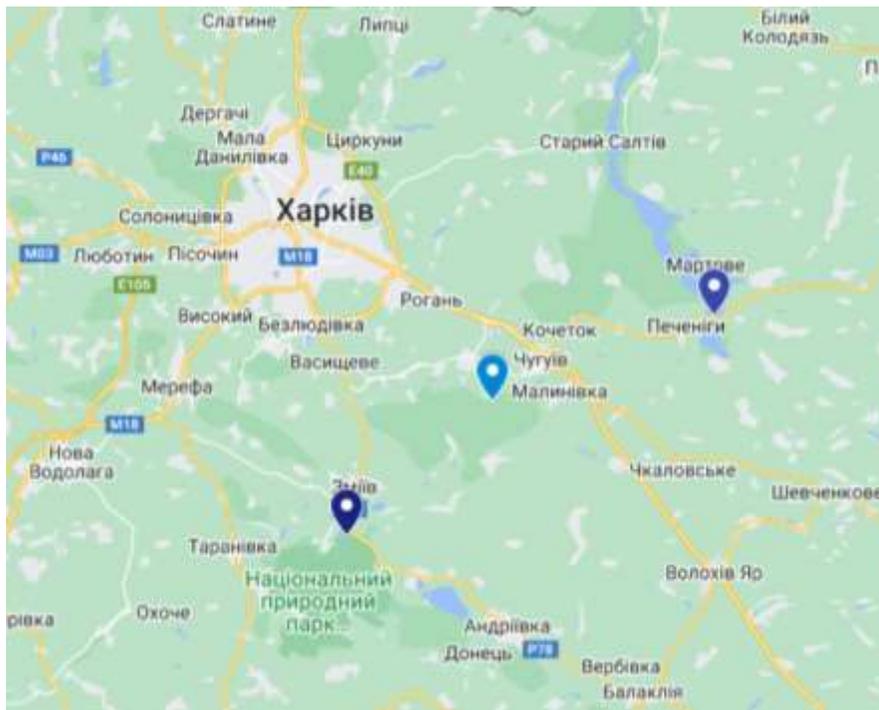
### Об'єкти та методи дослідження

При дослідженні використано дані Харківського регіонального центру з гідрометеорології за 2023 рік з лютого по грудень [20]. Моніторинг якості масиву поверхневих вод річки Сів. Донець включав щомісячне спостереження за гідрохімічними показниками на трьох постах (рис. 1): 1 – Печенізьке водосховище, с. Печеніги; 2 – нижче гирла р. Уди, с. Есхар; 3 – с. Задонецьке.

Для оцінки якості масиву поверхневих вод р. Сів. Донець використано методи: збір та обробка доступної початкової інформації про якість води в річці за 2023 рік, аналіз величин гідрохімічних показників води у порівнянні з відповідними значеннями їх гранично

допустимих концентрацій (ГДК), метод модифікованого індексу забруднення води (ІЗВ) та метод комбінаторного індексу забруднення води (КІЗ). Індекс якості води, заснований на кількох параметрах, широко використовується при оцінці якості води [23 – 28]. Критеріями якості води взято ГДК для водойм рибогосподарського призначення та гігієнічними нормами якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення [29 – 32].

Метод модифікованого індексу забруднення води оцінює якість води за шістьма показниками, причому показники розчинений кисень та БСК<sub>5</sub> є обов'язковими [5, 15, 21, 22].



Точка 1



Точка 2



Точка 3

Умовні позначення:

-  Точка 1 с. Печеніги
-  Точка 2 с. Есхар
-  Точка 3 с. Задонецьке

**Рис. 1** – Карто-схема пунктів контролю якості води на річці Сів. Донець в межах Харківської області  
**Fig. 1** – Map diagram of water quality control points on the Siverskiy Donets River within the Kharkiv region

Для розрахунку використовують формулу:

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (1)$$

де  $C_i$  – середнє арифметичне значення концентрації  $i$ -го показника якості води;

$ГДК_i$  – гранично допустимих концентрацій  $i$ -го показника.

Оцінка якості води за ІЗВ здійснюється за величиною індексу та розподіляється за класами наступним чином: I клас якості води  $ІЗВ \leq 0,30$  та характеризується як «дуже чиста»; II клас якості води  $ІЗВ = 0,31 - 1,00$  та характеризується як «чиста»; III клас якості води  $ІЗВ = 1,01 - 2,50$  та характеризується як «помірно забруднена»; IV клас якості води  $ІЗВ = 2,51 - 4,00$  та характеризується як «забруднена»; V клас якості води  $ІЗВ = 4,01 - 6,00$  та характеризується як «брудна»; VI клас якості води  $ІЗВ = 6,01 - 10,00$  та характеризується як «дуже брудна»; VII клас якості води  $ІЗВ > 10,00$  та характеризується як «надзвичайно брудна» [15, 21, 22].

Метод комбінаторного індексу забруднення води проводиться у декілька етапів [7, 15, 21, 22]. Перший ступінь класифікації заснований на встановленні міри стійкості забруднення (повторюваності перевищень ГДК) ( $P_i$ ), яка розраховується за формулою:

$$P_i = \frac{N_{ГДК_i}}{N_i}, \quad (2)$$

де  $N_{ГДК_i}$  – кількість результатів аналізу  $i$ -го показника якості води, значення концентрації якого перевищує його ГДК;

$N_i$  – загальна кількість результатів аналізу  $i$ -го показника якості води.

Другий ступінь класифікації заснований на встановленні рівня забруднення, мірою якого є кратність перевищення ГДК ( $K_i$ ) та розраховується за формулою:

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i} \quad (3)$$

Далі за величиною повторюваності та кратності за відповідними таблицями класифікації визначаються оціночні бали й характеристика забруднення. Якщо повторюваність до 10 % випадків, то забруднення характеризується як «одиначне» та присвоюється 1 бал; від 10 % до 30 % – «нестійке», 2 бали; від 30 % до 50 % – «стійке», 3 бали; від 50 % до 100 % – «характерне», 4 бали. Якщо кратність перевищення ГДК до 2 раз, то характеризується як «низьке» та присвоюється 1 бал; від 2 до 10 разів – «середнє», 2 бали; від 10 до 50 разів – «високе», 3 бали; від 50 % до 100 % – «дуже високе», 4 бали.

Потім розраховуються узагальнені оцінки якості води за кожним гідрохімічним показником ( $S_i$ ) як добуток оціночних балів та встановлюється характеристика якості води. Величина  $S_i$  може становити від 1 до 16, чим більше її значення, тим гірша якість води (від «слабо забруднена» до «неприпустимо брудна»). Якщо величина узагальненого оціночного балу дорівнює або більше 11, то даний гідрохімічний показник відносять до лімітуючих показників забруднення (ЛПЗ).

Третій ступінь класифікації заснований на розрахунку величини КІЗ шляхом додавання узагальнених оціночних балів ( $S_i$ ) за усіма  $n$  гідрохімічними показниками:

$$КІЗ = \sum_{i=1}^n S_i. \quad (4)$$

Далі розраховується питомий комбінаторний індекс забруднення (ПКІЗ), як осереднене значення КІЗ в залежності від кількості досліджуваних гідрохімічних показників ( $n$ ). Наступний ступінь класифікації якості води виконується в залежності від значення ПКІЗ та кількості ЛПЗ встановлюється клас (I – IV), розряд (а, б, в, г), характеристика забрудненості води («слабо забруднена», «забруднена», «брудна», «дуже брудна») та здійснюється висновок з придатності води для певного виду водокористування [15, 21, 22].

### Результати та обговорення

Аналіз якості води з лютого по грудень проводився за такими показниками: розчинений кисень, біологічне споживання кисню за 5 діб (БСК<sub>5</sub>), азот амонійний, азот нітритний,

сульфати, хлориди на трьох постах спостереження (рис. 1) [20].

За результатами моніторингу гідрохімічних показників на посту спостереження у р. Сів.

Донець с. Печеніги визначено за показниками:

- розчинений кисень, зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> для водних об'єктів рибогосподарського призначення один випадок в 1,2 раз в серпні місяці, за ГДК<sub>ГП</sub> для водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення перевищень не зафіксовано. Найвище значення розчиненого кисню було у лютому 13,70 мг/дм<sup>3</sup>, найменше – 5,03 мг/дм<sup>3</sup> у серпні, а середнє значення становить 9,25 мг/дм<sup>3</sup>.

- БСК<sub>5</sub> зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> три випадки у квітні, травні та вересні, максимально в 1,3 рази, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвище значення БСК<sub>5</sub> було у квітні 2,65 мг/дм<sup>3</sup>, найменше – 0,66 мг/дм<sup>3</sup> у березні, а середнє значення становить 1,63 мг/дм<sup>3</sup>.

- азот амонійний зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> один випадок в 1,4 рази, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвищий вміст азоту амонійного був у вересні 0,543 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 0,040 мг/дм<sup>3</sup> у травні, а середнє значення становить 0,223 мг/дм<sup>3</sup>.

- азот нітритний зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> вісім випадків, максимально в 2,7 рази, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвищий вміст азоту нітритного визначено у жовтні 0,053 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 0,005 мг/дм<sup>3</sup> у лютому, а середнє значення становить 0,030 мг/дм<sup>3</sup>.

- сульфати зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> у всіх пробах, максимально в 1,7 разів, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвищий вміст сульфатів був у лютому 167,0 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 103,0 мг/дм<sup>3</sup> у вересні, а середнє значення становить 136,55 мг/дм<sup>3</sup>.

- хлориди перевищення ГДК<sub>РГ</sub> та ГДК<sub>ГП</sub> не зафіксовано. Найвищий вміст хлоридів у березні 40,0 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 32,5 мг/дм<sup>3</sup> у липні, а середнє значення становить 37,14 мг/дм<sup>3</sup>.

Аналізуючи результати розрахунків за формулою (1) індексів забруднення води у р. Сів. Донець за 2023 рік (рис. 2) за даними з поста спостереження с. Печеніги визначено, що застосовуючи нормативи якості вод рибогосподарського призначення найменше значення ІЗВ<sub>РГ</sub> = 0,65 у лютому – вода відноситься до II класу якості «чиста», найвище значення ІЗВ<sub>РГ</sub> = 1,11 у вересні – вода відноситься до III класу якості «помірно забруднена», а середнє значення ІЗВ<sub>РГ</sub> становить 0,84, тобто загалом вода відноситься до II класу якості «чиста».

Застосовуючи при розрахунках гігієнічні норми якості води визначено найменше значення ІЗВ<sub>ГП</sub> = 0,19 у лютому – вода відноситься до I класу якості «дуже чиста», найвище значення ІЗВ<sub>ГП</sub> = 0,33 у вересні – вода відноситься до II класу якості «чиста», а середнє значення ІЗВ<sub>ГП</sub> становить 0,25, тобто загалом вода відноситься до I класу якості «дуже чиста».

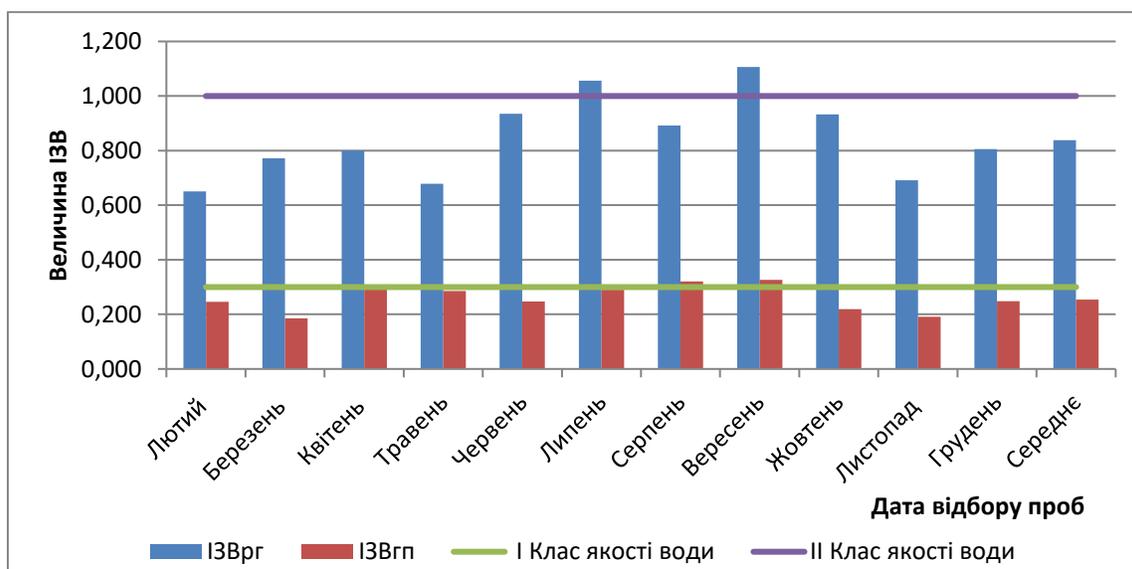


Рис. 2 – Зміни індексу забруднення води у річці Сів. Донець на посту спостереження с. Печеніги

Fig. 2 – Changes in the water pollution index in the Siverskyi Donetsk River at the observation post of the v. Pechenigy

На посту спостереження р. Сів. Донець с. Есхар за показниками:

- розчинений кисень, зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> три випадки в липні, серпні та вересні (максимально в 1,07 раз), за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвище значення розчиненого кисню було у лютому 13,20 мг/дм<sup>3</sup>, найменше – 5,63 мг/дм<sup>3</sup> у серпні, а середнє значення становить 8,04 мг/дм<sup>3</sup>.

- БСК<sub>5</sub> зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> у всіх пробах, максимально в 2,2 рази, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищення зафіксовано п'ять випадків – максимально в 1,5 рази. Найвище значення БСК<sub>5</sub> було у березні 4,36 мг/дм<sup>3</sup>, найменше – 2,40 мг/дм<sup>3</sup> у серпні, а середнє значення становить 3,07 мг/дм<sup>3</sup>.

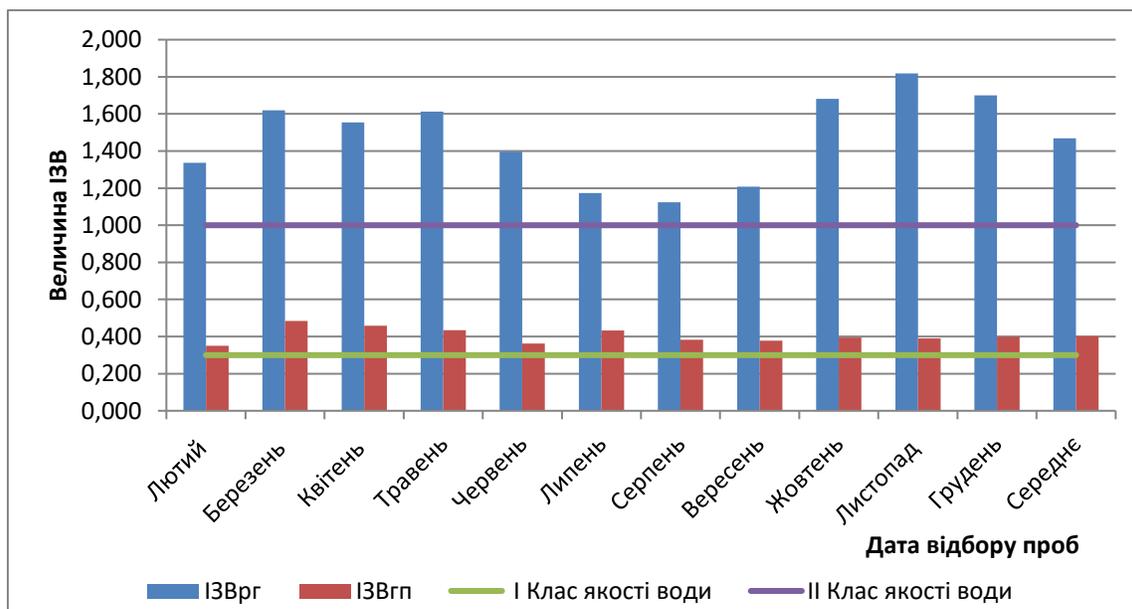
- азот амонійний є перевищення ГДК<sub>РГ</sub> сім випадків (максимально у 1,8 раз), за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвищий вміст азоту амонійного у грудні 0,698 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 0,030 мг/дм<sup>3</sup> у вересні, а середнє значення становить 0,406 мг/дм<sup>3</sup>.

- азот нітритний зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> у всіх пробах, максимально в 5,7 разів, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвищий вміст азоту нітритного був у листопаді 0,114 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 0,024 мг/дм<sup>3</sup> у липні, а середнє значення становить 0,067 мг/дм<sup>3</sup>.

- сульфати зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> у всіх пробах, максимально в 2,28 рази, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвищий вміст сульфатів був у лютому 228,0 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 146,0 мг/дм<sup>3</sup> у вересні, а середнє значення становить 193,73 мг/дм<sup>3</sup>.

- хлориди перевищення ГДК<sub>РГ</sub> та ГДК<sub>ГП</sub> не зафіксовано. Найвищий вміст хлоридів був у лютому 64,4 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 49,1 мг/дм<sup>3</sup> у травні, а середнє значення становить 56,82 мг/дм<sup>3</sup>.

За даними з поста спостереження с. Есхар, аналізуючи результати розрахунків формулою (1) індексів забруднення води у р. Сів. Донець (рис. 3), за нормативами якості вод рибогосподарського призначення, отримане найменше значення ІЗВ<sub>РГ</sub> = 1,12, тобто у серпні вода відноситься до III класу якості та характеризується як «помірно забруднена», найвище значення ІЗВ<sub>РГ</sub> = 1,82 у листопаді – вода відноситься до III класу якості «помірно забруднена», а середнє значення ІЗВ<sub>РГ</sub> становить 1,47, тобто загалом вода відноситься до III класу якості «помірно забруднена». Застосовуючи при розрахунках гігієнічні норми якості води отримано найменше значення ІЗВ<sub>ГП</sub> = 0,48 – у березні вода відноситься до II класу якості «чиста», найвище значення ІЗВ<sub>ГП</sub> = 0,33,



**Рис. 3** – Зміни індексу забруднення води у річці Сів. Донець на посту спостереження с. Есхар  
**Fig. 3** – Changes in the water pollution index in the Siverskyi Donets River at the observation post of the v. Eskhar

у вересні вода відноситься до II класу якості «чиста», а середнє значення ІЗВ<sub>ГП</sub> становить 0,40, тобто загалом вода відноситься до II класу якості «чиста».

Аналізуючи результати моніторингу гідрохімічних показників на посту спостереження р. Сів. Донець с. Задонецьке за показниками:

- розчинений кисень, зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> чотири рази в липні, серпні, вересні та грудні, максимально в 1,3 раз, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвище значення розчиненого кисню було у лютому 10,70 мг/дм<sup>3</sup>, найменше – 7,74 мг/дм<sup>3</sup> у серпні, а середнє значення становить 6,89 мг/дм<sup>3</sup>.

- БСК<sub>5</sub> зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> у дев'яти пробах, максимально в 1,8 раз, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищення зафіксовано один раз у серпні в 1,2 раз. Найвище значення БСК<sub>5</sub> було у серпні 3,62 мг/дм<sup>3</sup>, найменше – 1,58 мг/дм<sup>3</sup> у листопаді, а середнє значення становить 2,33 мг/дм<sup>3</sup>.

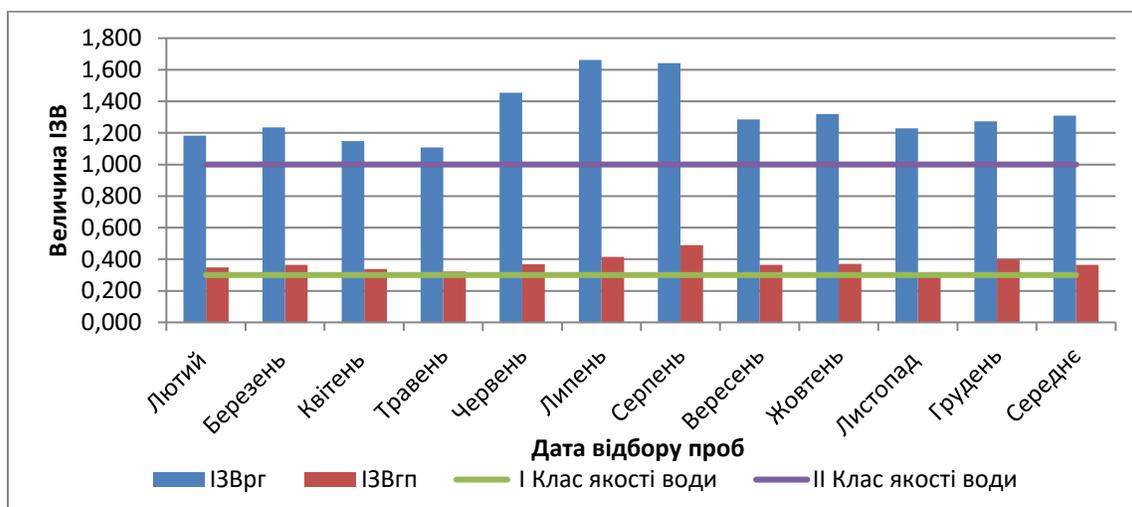
- азот амонійний зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> чотири випадки, максимально у 1,5 раз, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвищий вміст азоту амонійного був у грудні 0,599 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 0,203 мг/дм<sup>3</sup> у травні, а середнє значення становить 0,398 мг/дм<sup>3</sup>.

- азот нітритний зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> у всіх пробах, максимально в 4,6 рази, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвищий вміст азоту нітритного був у липні 0,092 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 0,036 мг/дм<sup>3</sup> у грудні, а середнє значення становить 0,056 мг/дм<sup>3</sup>.

- сульфати зафіксовано перевищення ГДК<sub>РГ</sub> у всіх пробах, максимально в 2 рази, за ГДК<sub>ГП</sub> перевищень не зафіксовано. Найвищий вміст сульфатів був у квітні 206,0 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 145,0 мг/дм<sup>3</sup> у вересні, а середнє значення становить 183,64 мг/дм<sup>3</sup>.

- хлориди перевищення ГДК<sub>РГ</sub> та ГДК<sub>ГП</sub> не зафіксовано. Найвищий вміст хлоридів був у лютому 63,7 мг/дм<sup>3</sup>, найменший – 45,9 мг/дм<sup>3</sup> у квітні, а середнє значення становить 54,09 мг/дм<sup>3</sup>.

З аналізу результатів розрахунків за формулою (1) індексів забруднення води та застосовуючи нормативи якості вод рибогосподарського призначення за даними з поста спостереження с. Задонецьке у р. Сів. Донець (рис. 4) визначено: найменше значення ІЗВ<sub>РГ</sub> = 1,11 у травні – вода відноситься до III класу якості та характеризується як «помірно забруднена»; найбільше значення ІЗВ<sub>РГ</sub> = 1,66 у липні – вода відноситься до III класу якості «помірно забруднена», а середнє значення ІЗВ<sub>РГ</sub> = 1,3, тобто загалом вода відноситься до III класу якості «помірно забруднена». Застосовуючи при розрахунках гігієнічними нормами якості води найменше значення ІЗВ<sub>ГП</sub> = 0,32 у листопаді вода відноситься до II класу якості «чиста», найвище значення ІЗВ<sub>ГП</sub> = 0,49 у серпні вода відноситься до II класу якості «чиста», а середнє значення ІЗВ<sub>ГП</sub> = 0,37, тобто загалом вода відноситься до II класу якості «чиста».



**Рис. 4** – Зміни індексу забруднення води у річці Сів. Донець на посту спостереження с. Задонецьке  
**Fig. 4** – Changes in the water pollution index in the Siverskyi Donets River at the observation post of the v. Zadonetskyi

З аналізу якості води за комбінаторного індексу забруднення води у р. Сів. Донець с. Печеніги (табл. 1) зафіксовано перевищення нормативи якості вод рибогосподарського призначення (ГДК<sub>РГ</sub>) за показниками розчинений кисень, БСК<sub>5</sub>, азот амонійний, азот нітритний, сульфати про що свідчить величина повторюваності перевищення ( $P_i$ ), яка розрахо-

вана за формулою (2). Перевищень за гігієнічними нормами якості води (ГДК<sub>ГП</sub>) не зафіксовано. За результатами розрахунків визначено часткові оціночні бали, величина яких для різних показників змінюється від 1 до 4. Таким чином, проведено перший ступінь класифікації вод, який заснований на встановлені міри стійкості забруднення.

Таблиця 1

Результати оцінки якості води у р. Сів. Донець на посту спостереження с. Печеніги за методом КІЗ

Table 1

The results of water quality assessment in the Siverskyi Donets River at the observation post of the v. Pechenigi according to the CIP method

Показник	Вміст забруднюючих речовин, $S_i$ , мг/дм <sup>3</sup>	Повторюваність випадків перевищення ГДК, $P_i$		Чаткові оціночні бали, бал		Кратність перевищення ГДК, $K_i$		Чаткові оціночні бали, бал		Загальні оціночні бали, $S_i$ , бал		Характеристика якості води		Лімітуючий показник забруднення води	
		РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП
Розчинений кисень	9,248	0,09	0,00	1	1	0,65	0,43	1	1	1	1	Слабо забруднена	Слабо забруднена	0	0
БСК <sub>5</sub>	1,629	0,27	0,00	2	1	0,82	0,54	1	1	2	1	Забруднена	Слабо забруднена	0	0
Азот амонійний	0,223	0,09	0,00	1	1	0,57	0,11	1	1	1	1	Слабо забруднена	Слабо забруднена	0	0
Азот нітритний	0,030	0,73	0,00	4	1	1,50	0,06	1	1	4	1	Брудна	Слабо забруднена	0	0
Сульфати	136,545	1,00	0,00	4	1	1,37	0,27	1	1	4	1	Брудна	Слабо забруднена	0	0
Хлориди	37,136	0,0	0,00	1	1	0,12	0,11	1	1	1	1	Слабо забруднена	Слабо забруднена	0	0
$KI3 = \sum S_i$										<b>13</b>	<b>6</b>			<b>0</b>	<b>0</b>
$KI3_{РГ} = 13, n = 6, PKI3_{РГ} = 2,17, 0 \text{ ЛПЗ (клас IIIa, брудна)}$															
$KI3_{ГП} = 6, n = 6, PKI3_{ГП} = 1,0, 0 \text{ ЛПЗ (клас I, слабо забруднена)}$															

За формулою (3) розраховано кратність перевищення нормативів ( $K_i$ ) та за результатами розрахунків визначено часткові оціночні бали. За всіма показниками величина часткових оціночних балів дорівнює 1. Тож, проведено другий ступінь класифікації вод, який заснований на встановлені рівня забруднення.

Розраховано узагальнені оцінки якості води за кожним гідрохімічним показником ( $S_i$ ) та для відповідного нормативу. За розрахунками встановлено характеристику якості води, так за нормативами якості вод рибогосподарського призначення за показниками розчинений кисень, азот амонійний, хлориди вода характеризується як «слабо забруднена», за показником БСК<sub>5</sub> –

«забруднена» та за показниками азот нітритний та сульфати – «брудна». За гігієнічними нормами якості води за всіма показниками вода характеризується як «слабо забруднена». Жодний гідрохімічний показник за обома нормативами не відноситься до лімітуючого показника забруднення.

На третьому етапі класифікації вод розраховано величини комбінаторного індексу забруднення за формулою (4) для двох нормативів: за нормативами якості вод рибогосподарського призначення  $KI3 = 13$ , а за гігієнічними нормами якості води  $KI3 = 6$ .

Для класифікації води розраховано величини питомого комбінаторного індексу забруднення для двох нормативів, так за кількістю ЛПЗ

встановлено, що за нормативами якості вод рибогосподарського призначення  $ПКІЗ_{РГ} = 2,17$ , тобто вода відноситься до III класу якості води, розряд класу якості – а, характеристика забрудненості води – «брудна»; за гігієнічними нормами якості  $ПКІЗ_{ГП} = 1,0$ , вода відноситься до I класу якості води та має характеристику забрудненості води – «слабо забруднена».

З аналізу якості вод за методом комбінованого індексу забруднення води у р. Сів. Донець с. Есхар (табл. 2) зафіксовано перевищення нормативи якості вод рибогосподарського призна-

чення ( $ГДК_{РГ}$ ) за показниками розчинений кисень,  $БСК_5$ , азот амонійний, азот нітритний, сульфати про що свідчить величина повторюваності перевищення ( $P_i$ ), яка розрахована за формулою (2). Перевищення за гігієнічними нормами якості води ( $ГДК_{ГП}$ ) зафіксовано за показниками  $БСК_5$  та азот нітритний. За результатами розрахунків визначено часткові оціночні бали, величина яких для різних показників змінюється від 1 до 4. Таким чином, проведено перший ступінь класифікації вод, який заснований на встановлені міри стійкості забруднення.

Таблиця 2

Результати оцінки якості води у р. Сів. Донець на посту спостереження с. Есхар за методом КІЗ

Table 2

The results of water quality assessment in the Siverskyi Donets River at the observation post of the v. Eskhar according by the CIP method

Показник	Вміст забруднюючих речовин, $S_i$ , мг/дм <sup>3</sup>	Повторюваність випадків перевищення $ГДК$ , $P_i$		Чаткові оціночні бали, бал		Кратність перевищення $ГДК$ , $K_i$		Чаткові оціночні бали, бал		Загальні оціночні бали, $S_i$ , бал		Характеристика якості води		Лімітуючий показник забруднення води	
		РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП
Розчинений кисень	8,035	0,27	0,00	2	1	0,75	0,5	1	1	2	1	Забруднена	Слабо забруднена	0	0
$БСК_5$	3,073	1,00	0,55	4	4	1,54	1,07	1	1	4	4	Брудна	Брудна	0	0
Азот амонійний	0,406	0,73	0,00	4	1	1,04	0,20	1	1	4	1	Брудна	Слабо забруднена	0	0
Азот нітритний	0,067	1	0,18	4	2	2,35	0,0	2	1	8	2	Дуже брудна	Забруднена	0	0
Сульфати	193,727	1	0,00	4	1	1,94	0,39	1	1	4	1	Брудна	Слабо забруднена	0	0
Хлориди	56,818	0,00	0,00	1	1	0,19	0,16	1	1	1	1	Слабо забруднена	Слабо забруднена	0	0
$KІЗ = \sum S_i$										<b>23</b>	<b>10</b>			<b>0</b>	<b>0</b>
$KІЗ_{РГ} = 23$ , $n = 6$ , $ПКІЗ_{РГ} = 3,83$ , 0 ЛПЗ ( клас IIIб, брудна)															
$KІЗ_{ГП} = 10$ , $n = 6$ , $ПКІЗ_{ГП} = 1,67$ , 0 ЛПЗ (клас II, забруднена)															

За формулою (3) розраховано кратність перевищення нормативів ( $K_i$ ) та за результатами визначено часткові оціночні бали, величина яких для всіх показників дорівнює 1, окрім азоту нітратного – 2. Тож, проведено другий ступінь класифікації вод, який заснований на встановлені рівня забруднення.

Розраховано узагальнені оцінки якості води за кожним гідрохімічним показником ( $S_i$ ) та для відповідного нормативу. За розрахунками встановлено характеристику якості води, так за нормативами якості вод рибогосподарського призначення за показником хлориди вода

характеризується як «слабо забруднена», за показником розчинений кисень – «забруднена», за показниками  $БСК_5$ , азот амонійний та сульфати – «брудна» та за показником азот нітритний – «дуже брудна».

За гігієнічними нормами якості води за показниками розчинений кисень, азот амонійний, сульфати та хлориди вода характеризується як «слабо забруднена», за показником азот нітритний – «забруднена» та за показником  $БСК_5$  – «брудна». Жодний гідрохімічний показник за обома нормативами не відноситься до лімітуючого показника забруднення.

На третьому етапі класифікації вод розраховано величини комбінаторного індексу забруднення за формулою (4) для двох нормативів, так за нормативами якості вод рибогосподарського призначення  $KI3 = 23$ , а за гігієнічними нормами якості води  $KI3 = 10$ .

На заключному класифікації вод розраховано величини питомого комбінаторного індексу забруднення для двох нормативів, так за кількістю ЛПЗ встановлено, що за нормативами якості вод рибогосподарського призначення  $PKI3_{РГ} = 3,83$ , вода відноситься до III класу якості води, розряд класу якості – б, характеристика забрудненості води – «брудна»; за гігієнічними нормами якості  $PKI3_{ГП} = 1,67$ , вода відноситься до II класу якості води та має характеристику забрудненості води – «забруднена».

З аналізу якості води за методом комбінаторного індексу забруднення води у р. Сів. Донець с. Задонецьке (табл. 3) зафіксовано перевищення нормативи якості вод рибогосподарського призначення ( $ГДК_{РГ}$ ) за показниками розчинений кисень,  $БСК_5$ , азот амонійний, азот нітритний, сульфати про що свідчить величина повторюваності перевищення ( $P_i$ ), яка розрахована за формулою (2). Перевищень за гігієнічними нормами якості води ( $ГДК_{ГП}$ ) не зафіксовано. За результатами розрахунків визначено часткові оціночні бали, величина яких для різних показників змінюється від 1 до 4. Таким чином, проведено перший ступінь класифікації вод, який заснований на встановлені міри стійкості забруднення.

Таблиця 3

Результати оцінки якості води у р. Сів. Донець на посту спостереження с. Задонецьке за методом  $KI3$

Table 3

The results of water quality assessment in the Siverskyi Donets River at the observation post of the v. Zadonetskyi according by the CIP method

Показник	Вміст забруднюючих речовин, $C_i$ , мг/дм <sup>3</sup>	Повторюваність випадків перевищення $ГДК$ , $P_i$		Чаткові оціночні бали, бал		Кратність перевищення $ГДК$ , $K_i$		Чаткові оціночні бали, бал		Загальні оціночні бали, $S_i$ , бал		Характеристика якості води		Лімітуючий показник забруднення води	
		РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП	РГ	ГП
Розчинений кисень	6,886	0,36	0,00	3	1	0,87	0,58	1	1	3	1	Брудна	Слабо забруднена	0	0
$БСК_5$	2,325	0,82	0,00	4	1	1,16	0,78	1	1	4	1	Брудна	Слабо забруднена	0	0
Азот амонійний	0,398	0,36	0,00	3	1	1,02	0,2	1	1	3	1	Брудна	Слабо забруднена	0	0
Азот нітритний	0,056	1,00	0,00	4	1	2,80	0,11	2	1	8	1	Дуже брудна	Слабо забруднена	0	0
Сульфати	183,636	1,00	0,00	4	1	1,84	0,37	1	1	4	1	Брудна	Слабо забруднена	0	0
Хлориди	54,091	0,00	0,00	1	1	0,18	0,16	1	1	1	1	Слабо забруднена	Слабо забруднена	0	0
$KI3 = \sum S_i$										<b>23</b>	<b>6</b>			<b>0</b>	<b>0</b>
$KI3_{РГ} = 23$ , $n = 6$ , $PKI3_{РГ} = 3,83$ , 0 ЛПЗ ( клас ШБ, брудна)															
$KI3_{ГП} = 6$ , $n = 6$ , $PKI3_{ГП} = 1,0$ , 0 ЛПЗ (клас I, слабо забруднена)															

За формулою (3) розраховано кратність перевищення нормативів ( $K_i$ ) та за результатами визначено часткові оціночні бали, величина яких для всіх показників дорівнює 1, окрім азоту нітратного – 2. Тож, проведено другий ступінь

класифікації вод, який заснований на встановлені рівня забруднення.

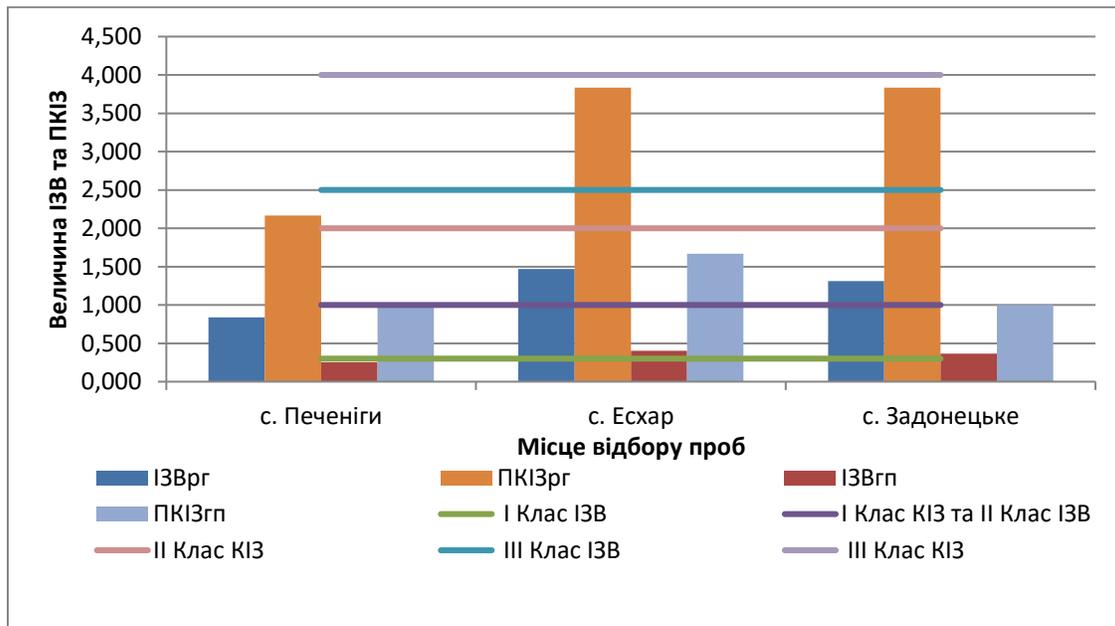
Розраховано узагальнені оцінки якості води за кожним гідрохімічним показником ( $S_i$ ) та для відповідного нормативу. За розрахунками

встановлено характеристику якості води, так за нормативами якості вод рибогосподарського призначення за показником хлориди вода характеризується як «слабо забруднена», за показниками розчинений кисень, БСК<sub>5</sub>, азот амонійний та сульфати – «брудна», за показником азот нітритний – «дуже брудна». За гігієнічними нормами якості води за всіма показниками вода характеризується як «слабо забруднена». Жодний гідрохімічний показник за обома нормативами не відноситься до лімітуючого показника забруднення.

На третьому етапі класифікації вод розраховано величини комбінаторного індексу забруднення за формулою (4) для двох нормативів, так за нормативами якості вод рибогосподарського призначення КІЗ = 23, а за гігієнічними нормами якості води КІЗ = 6.

На заключному етапі класифікації води розраховано величини питомого комбінаторного індексу забруднення для двох нормативів: за кількістю ЛПЗ встановлено, що за нормативами якості вод рибогосподарського призначення ПКІЗ<sub>рг</sub> = 3,83, вода відноситься до III класу якості води, розряд класу якості – б, характеристика забрудненості води – «брудна»; за гігієнічними нормами якості ПКІЗ<sub>гп</sub> = 1,0, вода відноситься до I класу якості води та має характеристику забрудненості води – «слабо забруднена».

Наведені дані на рис. 5 ілюструють зміни якості води по довжині річки Сів. Донець в межах Харківської області у 2023 році. Аналізуючи зміни якості води вздовж водотоку річки на основі модифікованого індексу забруднення води за середніми значеннями за обома нормативами можна відмітити, що погіршення якості води спостерігається після впадіння річки Уди в 1,7 раз за величиною зміни індексів. Далі стан якості води покращується в 1,14 раз за величиною зміни індексів, вірогідно за рахунок процесів самоочищення та нижчого антропогенного навантаження. Подібні висновки відмічаються і в роботі [12]. Аналізуючи зміни якості води вздовж водотоку річки на основі комбінаторного індексу забруднення води за гігієнічними нормативами можна спостерігати подібне до змін ІЗВ, а саме погіршення якості води після впадіння річки Уди в 1,8 раз за величиною зміни індексів, а далі стан якості води покращується в 1,7 раз, але за нормативами якості вод рибогосподарського призначення спостерігається погіршення якості води після впадіння річки Уди в 1,7 раз, а потім стан якості води залишається на такому ж рівні. Слід звернути увагу, що р. Уди зазнає досить значного антропогенного впливу, пов'язаного зі скидом стічних вод, втому числі комунальних [12].



**Рис. 5** – Величини ІЗВ та ПКІЗ вздовж водотоку р. Сів. Донець за 2023 рік  
**Fig. 5** – Values of WPI and SCWPI along the watercourse of the Siverskyi Donets River for the year 2023

Стан річкової води на пункті спостереження с. Печеніги за методом модифікованого індексу забруднення води  $I_{ЗВ_{РГ}}$  (0,84) оцінюється як II клас характеризується як «чиста»,  $I_{ЗВ_{ГП}}$  (0,25) – I клас, «дуже чиста»; за методом комбінаторного індексу забруднення води  $PKI_{ЗРГ}$  (2,17) – клас III а, «брудна»,  $PKI_{ЗГП}$  (1,0) – клас I, «слабо забруднена».

Стан річкової води на пункті спостереження с. Есхар за методом модифікованого індексу забруднення води  $I_{ЗВ_{РГ}}$  (1,47) оцінюється як III клас характеризується як «помірно забруднена»,  $I_{ЗВ_{ГП}}$  (0,40) – II клас, «чиста»; за методом комбінаторного індексу забруднення води  $PKI_{ЗРГ}$  (3,83) – клас III б, «брудна»,  $PKI_{ЗГП}$  (1,67) – клас II, «забруднена».

Стан річкової води на пункті спостереження с. Задонецьке за методом модифіко-

ваного індексу забруднення води  $I_{ЗВ_{РГ}}$  (1,31) оцінюється як III клас характеризується як «помірно забруднена»,  $I_{ЗВ_{ГП}}$  (0,37) – II клас, «чиста»; за методом комбінаторного індексу забруднення води  $PKI_{ЗРГ}$  (3,83) – клас III б, «брудна»,  $PKI_{ЗГП}$  (1,0) – клас I, «слабо забруднена».

Аналізуючи результати оцінок якості річкової води за методами  $I_{ЗВ}$  та  $KI_{З}$  можна сказати, що застосовуючи нормативи якості вод рибогосподарського призначення індекси забруднення води вище ( $I_{ЗВ_{РГ}}$  0,84 – 1,47;  $PKI_{ЗРГ}$  2,17 – 3,83) ніж при застосуванні гігієнічних нормативів якості вод для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення ( $I_{ЗВ_{ГП}}$  0,25 – 0,40;  $PKI_{ЗГП}$  1,00 – 1,67), оскільки останні менші за значенням (більш «м'які»).

### **Висновки**

Проведено оцінку якості води річки Сів. Донець в межах Харківської області у 2023 році за двома методами, а саме модифікованого індексу забруднення води та комбінаторного індексу забруднення води. Для оцінки якості води використано два нормативи для водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства та гігієнічні нормативів водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення.

Якість води в Печенізькому водосховищі, с. Печеніги за методом модифікованого  $I_{ЗВ}$  за різними критеріями оцінюється як I клас «дуже чиста» та II клас «чиста», за методом комбінаторного індексу забруднення – як I клас «слабо забруднена» та клас III а «брудна».

Якість води в річці Сів. Донець нижче гирла р. Уди, с. Есхар за методом модифікованого  $I_{ЗВ}$  за різними критеріями оцінюється як II клас «чиста» та III клас «помірно забруднена», за методом комбінаторного індексу забруднення – як II клас «забруднена» та клас III б «брудна».

Якість води в річці Сів. Донець на пункті спостереження с. Задонецьке за методом

модифікованого  $I_{ЗВ}$  за різними критеріями оцінюється як II клас «чиста» та III клас «помірно забруднена», за методом комбінаторного індексу забруднення – як I клас «слабо забруднена» та клас III б «брудна».

Відбуваються зміни якості води вздовж водотоку річки Сів. Донець в межах Харківської області у 2023, спостерігається погіршення якості води після впадіння річки Уди, далі стан якості води покращується за величиною зміни індексів. За рахунок процесів самоочищення та зменшення антропогенного навантаження, вірогідно, якість води за методом модифікованого  $I_{ЗВ}$  варіюється від «дуже чистої» до «помірно забрудненої», за методом  $KI_{З}$  варіюється від «слабо забрудненої» до «брудної».

Гідрохімічними показниками, що визначають клас якості води вздовж річки Сів. Донець в межах Харківської області у 2023 році є БСК5, азот нітритний та сульфати. Перевищення ГДК за показниками розчинений кисень та азот амонійний спостерігалось в окремі періоди та не на всіх постах. За показником хлориди перевищень ГДК не зафіксовано на всіх постах спостереження.

### **Конфлікт інтересів**

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

## Список використаної літератури

1. Артерія сходу України. Резюме аналізу проблем Сіверського Дінця та програми заходів для їхнього вирішення. К.: Видавництво «Компанія ВАІТЕ»: 2021. 102 с. URL: <https://sdbuvr.gov.ua/pres-centr/publikatsiyi>
2. Васенко, О. Г., Карлюк А. А. Оцінка сучасного стану озер Лиманської групи, річки Сіверський Донець та прогнозування їх якості води. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2019. Вип. 41. С. 171–182. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/sbornik2019.pdf#page=171>
3. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2022 році. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/123378>
4. Екологічний паспорт Харківської області за 2022 рік. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/123379>
5. Коробкова Г. В. Використання макрофітних індексів для оцінки екологічного стану поверхневих вод України. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2017. № 1-2(27), 62-70. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-27-06>
6. Korobkova H., Yermakovych I., Rybalova O., Artemiev S., Kocheto G.. The Ecological Risk of Deterioration in the Water Flow of the Udy River Basin. *Book of abstracts. 11 th Eastern European Young Water Professionals Conference IWA YWP*. Prague : University of Chemistry and Technology, 2019. 319-320. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/8736>
7. Кулик М. І., Голуб В. Р. Оцінка якості поверхневих вод у річці Сіверський Донець в межах Харківської області у 2021 році. «*Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2023*»: матеріали XXV Міжнар. наук.-практ. конф. Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. С. 44–45.
8. Кулик М. І., Петренко А. С. Сучасний стан води у річці Сіверський Донець в межах Харківської області. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XIX Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023 р. С. 70–73. URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/05/taliev-2023.pdf>
9. Рибалова О. В., Бригада О. В., Ільїнський О. В., Бондаренко О. О. Оцінка екологічного стану басейну р. Сіверський Донець в межах Харківської області. *The scientific heritage*. № 49 (2020). С. 27–32. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12371>
10. Васенко О. Г., Брук В. В., Карлюк А. А., Свиридов Ю. В. Прогнозування якості води в річках Дунай та Сіверський Донець за допомогою геоінформаційних технологій. *World science*. Poland, 2019. № 11(51). С. 45–136. DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30112019/6766](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6766)
11. Крайнюков О. М. Сучасний екологічний стан водних об'єктів басейну річки Сіверський Донець. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. № 3–4. 2015. С. 71–77. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5558>
12. Васенко О. Г., Ієвлева, О. Ю., Коробкова Г. В., Жук В. М. Формування сучасного гідрохімічного стану басейну річки Сіверський Донець під впливом природних та антропогенних чинників. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2017. Вип. 39. С. 41–53. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp\\_2017\\_39\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp_2017_39_6)
13. Рибалова О. В., Ільїнський О. В., Бондаренко О. О., Макаров Є. О., Жук, В. М. Визначення екологічних нормативів для басейну річки Уди в межах Харківської області. *World Science*. № 1(41), Vol.1, 2019. р. 36–43. DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/31012019/6296](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6296)
14. Рибалова, О. В., Артем'єв, С. Р., Бригада, О. В., Ільїнський, О. В., Бондаренко, О. О., Макаров, Є. О., Жук, В. М. Визначення екологічного ризику погіршення стану водотоків басейну річки Уди. *Fundamentalis scientiam*. №27 /2019, VOL. 1. P.14-21. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8964>
15. Бірюков О. В. Гідрохімічний аналіз динаміки змін якості поверхневих вод річки Оскіл. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2023. Вип. 29. С. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-02>
16. Безсонний В. Л. Моніторинг поверхневих джерел водопостачання в умовах впровадження водної рамкової директиви. *Комунальне господарство міст*. 2019. Т. 3, вип. 149. С. 69–76. URL: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5418>
17. Bezsonnyi V., Ponomarenko R., Tretyakov O., Asotsky V., Kalynovskyi A. Regarding the choice of composite indicators of ecological safety of water in the basin of the Siversky Donets. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2021, 30(4), 622-631. DOI: <https://doi.org/10.15421/112157>

18. Третьяков О. В., Шевченко Т. О., Безсонний В. Л. Підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання Харківського регіону (Україна). *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 5/10 (77). 2015. С. 40–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398>
19. Сіверсько-Донецьке басейнове управління водних ресурсів. Державне агентство водних ресурсів України. Державний моніторинг поверхневих вод. URL: <https://sdbuvr.gov.ua/derzhavnyy-monitorynh-poverkhnevyykh-vod>
20. Стан навколишнього природного середовища міста Харкова та Харківської області. Харківська обласна військова адміністрація. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736>
21. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: підручник. К.: Ніка. Центр, 2001. 264 с.
22. Юрасов С. Н., Кур'янова С. О., Юрасов Н. С. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5. С. 42–53. URL: <http://uhmj.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2016/08/5-Yurasov-Kurianova.pdf>
23. Uddin M.G., Nash S., Rahman A., Agnieszka I. Olbert A.I. Performance analysis of the water quality index model for predicting water state using machine learning techniques. *Process Safety and Environmental Protection*. 2023. Vol. 169. С. 808–828. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.073>
24. Pan B., Han X., Chen Y., Wang L., Zheng X. Determination of key parameters in water quality monitoring of the most sediment-laden Yellow River based on water quality index. *Process Safety and Environmental Protection*. 2022. Vol. 164. P.249-259. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.067>
25. Wang J., Xue B., Wang Y., A Y., Wang G., Han D. Identification of pollution source and prediction of water quality based on deep learning techniques. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2024. Vol. 261. С. 104287. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104287>
26. Mihali C., Dippong T. Water quality assessment of Remeti watercourse, Maramureş, Romania, located in a NATURA 2000 protected area subjected to anthropic pressure. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2023. Vol. 257. 104216. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104216>
27. Haji S.B., Asadollah S., Sharafati A., Motta D., Yaseen Z. M. River water quality index prediction and uncertainty analysis: A comparative study of machine learning models. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, Vol. 9. N 1, 104599 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104599>
28. Abba S.I., Hadi S. J., Sammen S. Sh., Salih S.Q., Abdulkadir R.A., Pham Q.B., Yaseen Z. M. Evolutionary computational intelligence algorithm coupled with self-tuning predictive model for water quality index determination. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 587, August 124974 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124974>
29. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення, затвержені Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 № 721. URL: [https://moz.gov.ua/uploads/7/36944-dn\\_721\\_02\\_05\\_2022\\_dod.pdf](https://moz.gov.ua/uploads/7/36944-dn_721_02_05_2022_dod.pdf)
30. ДСанПіН 2.2.4-171-10: 2010. Державні санітарні норми та правила. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Затверджено МОЗ України наказом № 400 від 12.05.2010 року. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin\\_2\\_2\\_4\\_171\\_10/25-1-0-1180](https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180)
31. Клименко М. О., Вознюк Н. М., Вербецька К. Ю. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів та природокористування*. 2012. Вип. 1(30). URL: [http://nd.nubip.edu.ua/2012\\_1/12kmo.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf)
32. Нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах, затвержені наказом Міністерства аграрної політики України від 30.07.2012 № 471. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12#Text>

Стаття надійшла до редакції 08.04.2024

Стаття рекомендована до друку 14.05.2024

**M. I. KULYK**<sup>1</sup>, PhD (Technical),

Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management

e-mail: [m.kulyk@karazin.ua](mailto:m.kulyk@karazin.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0605-9367>

**A. A. LISNYAK**<sup>1</sup>, PhD (Agriculture),

Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management

e-mail: [anlisnyak@gmail.com](mailto:anlisnyak@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5850-7328>

<sup>1</sup> V. N. Karazin Kharkiv National University,

4, Svobody Square Kharkiv, 61022, Ukraine

## ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY IN THE SIVERSKY DONETS RIVER WITHIN KHARKIV REGION IN 2023

**Purpose.** Provide an assessment of the quality of the massif of surface waters of the Siverskyi Donets River within the Kharkiv region in 2023 based on the determination of water quality indices.

**Methods.** The methods of the modified water pollution index (WPI) and the combinatorial water pollution index (CWPI).

**Results.** State of the river water at the observation point of the v. Pechenyg according to the method of the modified water pollution index WPI<sub>F</sub> is estimated as II class characterized as "clean", WPI<sub>H</sub> - I class, "very clean"; according to the method of the combinatorial index of water pollution CWPI<sub>F</sub> - class III a, "dirty", CWPI<sub>H</sub> - class I, "slightly polluted".

State of the river water at the observation point of the v. Eschar according to the method of the modified water pollution index of WPI<sub>F</sub> is estimated as III class characterized as "moderately polluted", WPI<sub>H</sub> - II class, "clean"; according to the method of the combinatorial index of water pollution CWPI<sub>F</sub> - class III b, "dirty", CWPI<sub>H</sub> - class II, "polluted".

State of the river water at the observation point of the v/ Zadonetskyi according to the method of the modified index of water pollution, WPI<sub>F</sub> is estimated as III class characterized as "moderately polluted", WPI<sub>H</sub> is II class, "clean"; according to the method of the combinatorial index of water pollution CWPI<sub>F</sub> - class III b, "dirty", CWPI<sub>H</sub> - class I, "slightly polluted".

**Conclusions.** It was determined that there are changes in water quality along the watercourse of the Siverskyi Donets River within the Kharkiv Region in 2023. There is a deterioration of water quality after the confluence of the Uda River, by 1.69 times the magnitude of the index change, then the state of water quality improves by 1.25 times the magnitude index changes, probably due to self-cleaning processes and lower anthropogenic load. The quality of water according to WPI indicators varies from 0.25 to 1.47 (from "very clean" to "moderately polluted"). The quality of water according to the CWPI indicators varies from 1.0 to 3.83 (from "slightly polluted" to "dirty"). It was established that according to both assessment methods and both standards, the quality of water in the Pechenyg reservoir, p. Pechenegs the best, and the worst water quality in the Siverskyi Donets River below the mouth of the Uda River, village Eschar.

**KEY WORDS:** *surface waters, modified water pollution index, combinatorial water pollution index*

### References

1. *Artery of eastern Ukraine. Summary of the analysis of the problems of Siversky Dinets and the program of measures to solve them.* (2021). Kyiv: Publishing house "Company VAITE". Retrieved from <https://sdbuvr.gov.ua/pres-centr/publikatsiyi> (in Ukrainian)
2. Vasenko, O. G. & Karlyuk, A. A. (2019). Assessment of the current state of lakes of the Lyman group, Siverskyi Donets River and forecasting of their water quality. *Problems of environmental protection and ecological safety.* 2019. Issue 41. P. 171–182. URL: <http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/sbornik2019.pdf#page=171>. (in Ukrainian)
3. Report on the state of the natural environment in the Kharkiv region in 2022. Retrieved from <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/123378>. (in Ukrainian)
4. Environmental passport of the Kharkiv region for 2022. Retrieved from <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/123379> (in Ukrainian)
5. Копобкова, Г. Б. (2017). Use of macrofit indexes for evaluation environmental state of surface waters of Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (1-2(27)), 62-70. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-27-06>

6. Korobkova, H., Yermakovych, I., Rybalova, O., Artemiev, S., & Kocheto, G. (2019). The Ecological Risk of Deterioration in the Water Flow of the Udy River Basin. *Book of abstracts. 11 th Eastern European Young Water Professionals Conference IWA YWP*. Prague : University of Chemistry and Technology, 319-320. <http://hdl.handle.net/123456789/8736>
7. Kulyk, M. I. & Golub, V. R. (2023). Assessment of surface water quality in the Siverskyi Donets River within the Kharkiv region in 2021. *Proceedings of the XXV International scientific and practical conference: Ecology, environmental protection and balanced nature use: education - science - production - 2023*. Kharkiv: KGNU, 44–45. (in Ukrainian)
8. Kulyk, M. I. & Petrenko, A. S. (2023). Current state of water in the Siverskyi Donets River within the Kharkiv region. *Environmental protection: coll. of science articles of the 19th All-Ukrainian scientific Taliiv readings*. Kharkiv: V. N. Karazin KhNU, 70–73. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/05/taliev-2023.pdf> (in Ukrainian)
9. Rybalova, O. V., Brigada, O. V., Ilyynskiy, O. V. & Bondarenko, O. O. (2020). Assessment of the ecological state of the Siverskyi Donets river basin within the Kharkiv region. *The scientific heritage*, (49), 27–32. Retrieved from <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12371>. (in Ukrainian)
10. Vasenko, O. G., Bruk V. V., Karlyuk, A. A. & Sviridov, Yu. V. (2019). Prediction of water quality in the Danube and Siverskyi Donets rivers using geoinformation technologies. *World science*. № 11(51). С. 45–136. [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30112019/6766](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6766). (in Ukrainian)
11. Kraynyukov, O. M. (2015). Current ecological state of water bodies of the Siverskyi Donets river basin. *Man and environment. Problems of neocology*, (3–4), 71–77. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5558> (in Ukrainian)
12. Vasenko O. G., Ievlyeva, O. Yu., Korobkova, G. V. & Zhuk, V. M. (2017). Formation of the modern hydrochemical state of the Siverskyi Donets river basin under the influence of natural and anthropogenic factors. *Problems of environmental protection and ecological safety*, (39), 41–53. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp\\_2017\\_39\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp_2017_39_6). (in Ukrainian)
13. Rybalova, O. V., Ilyynskiy, O. V., Bondarenko, O. O., Makarov, E. O. & Zhuk, V. M. (2019). Determination of ecological standards for the Uda River basin within the Kharkiv region. *World Science*, 1(1(41), 36–43. [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/31012019/6296](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6296) (in Ukrainian)
14. Rybalova, O., & Artemiev, S. (2017). Development of a procedure for assessing the environmental risk of surface water status deterioration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10(89), 67–76. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112211> (in Ukrainian)
15. Biryukov O. V. (2023). Hydrochemical analysis of the dynamics of changes in the quality of surface waters of the Oskil River. *Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin, series "Ecology"*, (29), 17–25. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-02> (in Ukrainian)
16. Bezsonnyi, V. L. (2019). Monitoring of surface sources of water supply under the conditions of implementation of the water framework directive. *Communal management of cities*, 3(149), 69–76. Retrieved from <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5418> (in Ukrainian)
17. Bezsonnyi, V., Ponomarenko, R., Tretyakov, O., Asotsky, V. & Kalynovskiy, A. (2021). Regarding the choice of composite indicators of ecological safety of water in the basin of the Siversky Donets. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30(4), 622-631. <https://doi.org/10.15421/112157>
18. Tretyakov, O. V., Shevchenko, T. O. & Bezsonniy, V. L. (2015). Increasing the level of ecological safety of drinking water supply in the Kharkiv region (Ukraine). *Eastern European journal of advanced technologies*, 5(10 /77), 40–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398> (in Ukrainian)
19. Seversky-Donetsk basin management of water resources. State Agency of Water Resources of Ukraine. State monitoring of surface waters. Retrieved from <https://sdbuvr.gov.ua/derzhavnyy-monitorynh-poverkhnevyykh-vod> (in Ukrainian)
20. The state of the natural environment of the city of Kharkiv and the Kharkiv region. Kharkiv Regional Military Administration. Retrieved from <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736> (in Ukrainian)
21. Snizhko, S. I. *Evaluation and forecasting of the quality of natural waters*. 2001. Kyiv: Nika-Center. (in Ukrainian)
22. Yurasov, S. N., Kur'yanova, S. O. & Yurasov, N. S. (2009). Complex assessment of water quality by various methods and ways of its improvement. *Ukrainian hydrometeorological journal*, (5), 42–53. Retrieved from <http://uhmj.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2016/08/5-Yurasov-Kurianova.pdf> (in Ukrainian)

23. Uddin, M.G., Nash, S., Rahman, A., & Olbert, A.I. (2023). Performance analysis of the water quality index model for predicting water state using machine learning techniques. *Process Safety and Environmental Protection*, 169, 808–828. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.073>
24. Pan, B., Han, X., Chen, Y., Wang, L., & Zheng, X. (2022). Determination of key parameters in water quality monitoring of the most sediment-laden Yellow River based on water quality index. *Process Safety and Environmental Protection*, 164, 249-259. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.067>
25. Wang, J., Xue, B., Wang, Y., A, Y., Wang, G., & Han D.I. (2024). Identification of pollution source and prediction of water quality based on deep learning techniques. *Journal of Contaminant Hydrology*. 261, 104287. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104287>
26. Mihali, C., & Dippong, T. (2023). Water quality assessment of Remeți watercourse, Maramureș, Romania, located in a NATURA 2000 protected area subjected to anthropic pressure. *Journal of Contaminant Hydrology*, 257, 104216. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104216>
27. Haji, S.B., Asadollah, S., Sharafati, A., Motta, D., & Yaseen, Z. M. (2021). River water quality index prediction and uncertainty analysis: A comparative study of machine learning models. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104599 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104599>
28. Abba, S.I., Hadi, S.J., Sammen, S.Sh., Salih, S.Q., Abdulkadir, R.A., Pham, Q.B., & Yaseen, Z.M. (2020), Evolutionary computational intelligence algorithm coupled with self-tuning predictive model for water quality index determination. *Journal of Hydrology*, 587, 124974 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124974>
29. Hygienic standards of water quality of water bodies to meet drinking, household and other needs of the population, approved by the Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 721. (2022, May 2).. Retrieved from [https://moz.gov.ua/uploads/7/36944-dn\\_721\\_02\\_05\\_2022\\_dod.pdf](https://moz.gov.ua/uploads/7/36944-dn_721_02_05_2022_dod.pdf) (in Ukrainian)
30. DSanPiN 2.2.4-171-10: 2010. State sanitary norms and rules. Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption. Approved by the Ministry of Health of Ukraine by Order No. 400. (2010, Dec 05). Retrieved from [https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin\\_2\\_2\\_4\\_171\\_10/25-1-0-1180](https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180) (in Ukrainian)
31. Klymenko, M. O., Voznyuk, N. M. & Verbetska, K. Yu. (2012). Comparative analysis of surface water quality standards. *Scientific reports of the National University of Bioresources and Nature Management*. (1(30)). Retrieved from [http://nd.nubip.edu.ua/2012\\_1/12kmo.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf) (in Ukrainian)
32. Norms of ecological safety of water bodies used for the needs of fisheries regarding the maximum permissible concentrations of organic and mineral substances in sea and fresh waters, approved by order of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine No. 471. (2012, Jul 30). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12#Text> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 08.04.2024

The article is recommended for printing 14.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-07>

УДК (UDC): 502.5:712.42:574.1

**А. А. ГРЕЧКО**

аспірантка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: [a.a.hrechko@karazin.ua](mailto:a.a.hrechko@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-2586>

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

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

**Н. В. МАКСИМЕНКО**, д-р географ. наук, проф.,

завідувачка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

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

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

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

**А. Д. ШКАРУБА**, канд. географ. наук, старший науковий співробітник

e-mail: [anton.shkaruba@emu.ee](mailto:anton.shkaruba@emu.ee) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2536-2123>

*Естонський університет природничих наук, охорони навколишнього середовища  
та управління ландшафтом*

Kreutzwaldi 1, м. Тарту, 51006, Естонія

**Є. О. КУТУЗОВ**

магістр кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: [kutuzovjenia2001@gmail.com](mailto:kutuzovjenia2001@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-8050-7079>

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

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

**БІОРИЗНОМАНІТТЯ РОСЛИН ПРИМІСЬКИХ ЛУКІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ  
МІСЬКИХ ГАЗОНІВ З ПОЛЬОВИМИ КВІТАМИ**

Створення природних газонів є засобом оптимізації витрат на підтримання зеленої інфраструктури в місті шляхом включення у газонні покриття природного біорізноманіття, що дозволить підвищити стійкість рослинних угруповань у газонному покритті та якість екосистемних послуг.

**Мета.** Визначити переважаючі види рослинних угруповань природних фітоценозів, що є в подальшому доцільним для висадження в напівприродних газонах для забезпечення стійкості території.

**Методи.** При визначенні кількості видів застосовано метод Раменського, для виокремлення стійких та багаторічних представників – класифікацію Раункієра.

**Результати.** Геоботанічне дослідження визначило домінуючі види на дослідній ділянці, створило уявлення про фітоценологічний склад природного газону міста Київ, що стало підґрунтям розробки рекомендацій щодо формування каталогу рослин для створення такого газону. Найбільш стійким травостоєм з найбільшою кількістю аборигенних видів виявився біоценоз Лисої гори. Адвентивні види на цій дослідній ділянці не прагнуть до домінації, що пояснюється умовною патогенністю цих видів. Біоценоз Труханового острова має домінацію типових видів, проте часто зустрічаються азональні. На горі Щекавиця виявлено конкуренцію азональних та типових видів. Геоботанічні дослідження показали, що природне біорізноманіття складено з аборигенних, азональних та адвентивних видів. Найбільш розповсюджені аборигенні види представників гемікриптофітів: вівсяницю нитчасту, вівсяницю сизу, пирій повзучий. Розроблено каталог рослин, які дозволять виконувати екосистемні послуги з регулювання мікроклімату середовища, регулювання водної та вітрової ерозії, підтримки біорізноманіття та соціальні послуги завдяки збільшенню привабливості території.

**Висновки.** При створенні природного газону кращими видами вважаються аборигенні види, що дозволяє забезпечити стійкість рослинних угруповань. Виявлено аборигенні види, які вдало доповнять газонні покриття в місті: вівсяницю сизу та нитчасту, кунічник наземний, чебрець повзучий, суницю зелену, гвоздику польову та шавлію дібровну. Рекомендації можуть бути застосовані у інших містах України зі схожими фізико-географічними умовами.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *зелена інфраструктура, оцінка біорізноманіття, природний газон, елемент зеленої інфраструктури, екосистемні послуги, урбосередовище*

**Як цитувати:** Гречко А. А., Максименко Н. В., Шкаруба А. Д., Кутузов Є. О. Біорізноманіття рослин приміських луків для створення міських газонів з польовими квітами. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2024. Вип. 41. С. 100 – 111. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-07>

© Гречко А. А., Максименко Н. В., Шкаруба А. Д., Кутузов Є. О., 2024



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

**In cites:** Hrechko, A. A., Maksymenko, N. V., Shkaruba, A. D., & Kutuzov, Ye. O. (2024). Biodiversity of plants in suburban meadows to create urban lawns with wildflowers. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (41), 100 – 111. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-07> (in Ukrainian)

### **Вступ**

Використання концепції зеленої інфраструктури зараз набуває все більшого розповсюдження, адже має на меті поліпшення якості міського середовища [1]. Існує безліч різних підходів до інтерпретації терміну зелена інфраструктура [2-7], але якщо об'єднати всі ключові аспекти визначення, то термін зелена інфраструктура на думку авторів можна звести до: спланованої мережі природних та/або напівприродних об'єктів, які здатні надавати широкий спектр екосистемних послуг для міського середовища. До елементів або ж об'єктів зеленої інфраструктури можна віднести: парки, сквери, газони, кущі, дерева, клумби, системи вертикального озеленення тощо. Газон є одним з типових елементів зеленої інфраструктури. Він може виступати як окремий самостійний елемент або ж бути зв'язуючою ланкою в мережі зеленої інфраструктури.

Як елемент зеленої інфраструктури газонне покриття виконує такі екосистемні послуги: затримання вологи, підтримка мікроклімату, зменшення міського острова тепла, затримання поверхневого стоку, участь у процесі фотосинтезу, а саме поглинання CO<sub>2</sub> та продукування кисню, підтримання та збереження природного біорізноманіття, середовище існування. Важливим аспектом у газоні є те, що він може бути як природним так і штучним або ж напівприродним об'єктом зеленої інфраструктури [8]. Зі зростанням урбосередовища території зайняті природними рослинними угрупованнями значно скоротились, тому збереження природних газонів як осередків природного біорізноманіття є способом підтримки біорізноманіття в межах урбосередовища. Так, газонні покриття відзначають [9] як середовище існування та харчування для комах, і зосереджують увагу на те, що корінна, тобто природна рослинність має бути основою для планування міських газонів, бо це є ключем для збереження не тільки рослин, а й комах. Враховуючи актуальність проблеми зменшення біорізноманіття комах [9, 10], особливої уваги заслуговують комахи-запилувачі, які виконують важливу роль в підтриманні рослинного біорізноманіття збагачуючи газонні покриття природними видами ми можемо вирішити цю проблему. Аналіз біорізноманіття газонів, може

стати ключем до розробки ефективних програм збереження біорізноманіття в умовах міського середовища. За допомогою визначення природних фітоценозів, які залишились антропогенно не зміненими, може бути створено банк видів рослин для подальшого їх використання в лукових газонах в місті, що дозволить виконувати всі екосистемні послуги, які притаманні газонним покриттям.

Газонне покриття є важливим об'єктом озеленення міського середовища ключовими функціями газону, на думку інших вчених [11], є очищення повітря, регуляція мікроклімату та здатність затримувати вологу у міському середовищі, що скорочує навантаження на міську каналізаційну систему. Також вказується важливим аспектом те, що на даний час в Європейських країнах все частіше звертаються та надають перевагу висадкам природного газону, що забезпечує підтримку біорізноманіття, забезпечує більшу екологічну стійкість та низькі витрати в догляді [11].

Іншими дослідниками увага приділяється штучному газону [12], посадженому рулонним способом, його перевагою є швидкість в озелененні, проте на відміну від природного газону такий є більш дорогавартісний та трудомісткий спосіб, проте зазначено, що використання природного газону є більш природоорієнтованим рішенням. Важливість газонних покриттів для потреби забезпечення стійкої дренажної системи в місті охарактеризовано в [23]. У багатьох дослідженнях [1-22] визначено, що газонне покриття є способом регулювати мікроклімат, використовуючи стійкі газонні покриття, та використовувати види, що притаманні даній території, що дозволить швидко заповнити порожню нішу, вирішуючи проблеми урбанізованого середовища, зокрема поглинання CO<sub>2</sub>, затримка ерозійних процесів, регулювання мікроклімату.

Оцінка стану біорізноманіття газонних покриттів має на меті визначити переважаючі види рослинних угруповань природних фітоценозів, що дозволить в подальшому визначити ті види, які будуть доцільними для висадження в напівприродних газонах для забезпечення стійкості території.

Об'єктом дослідження стали природні газони, що залишилися в заплавної частині та на вододільних пагорбах правого берегу річки Дніпро в межах урбосередовища м. Київ.

### **Об'єкти та методи дослідження**

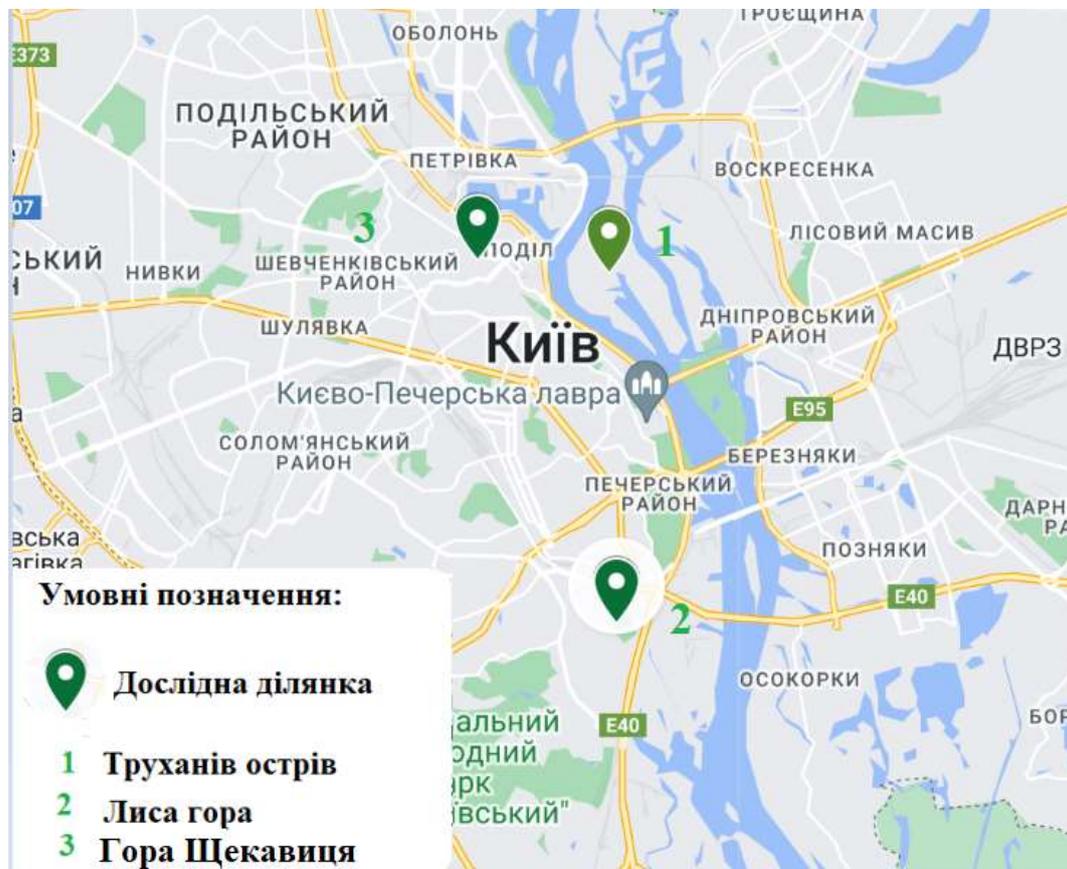
Маршрутне геоботанічне обстеження території проведене з закладанням пробних ділянок в межах рекреаційної зони м. Києва, а саме гори Щекавиця, Лисої гори та Труханового острова (рис.1). Ці ділянки обрано через мінімальне антропогенне втручання в ці території, тобто враховано відсутність забудови, відсутність асфальтного покриття і ключове – відсутність втручання в озеленення цих зон. В рекреаційній зоні м. Київ закладено 12 пробних майданчиків: 5 в межах Труханового острова, 4 в межах Лисої гори та 3 на горі Щекавиця.

Геоботанічне дослідження відіграє важливу роль при вивченні інформації про динаміку змін у флористичному та ценотич

Предмет дослідження: розподіл природного біорізноманіття фітоценозів, їх поширення, кількісний та якісний склад.

ному стані, а також допомагає вивчити абіотичні процеси. Геоботанічні дослідження мають різні види, до них можна віднести:

- власне флористичні дослідження, які націлені на збір та ідентифікацію рослин на певній території та подальшого визначення їх складу та просторового розподілу;
- фітосозологічні дослідження, які націлені на дослідження рослинних спільнот, їх структури та екологічних взаємодій;
- біогеографічні дослідження, під час яких вивчається географічний розподіл рослин для встановлення закономірностей та визначення природних географічних областей;
- еколого-фізіологічні дослідження, при яких здійснюється вивчення адаптацій рос



**Рис. 1** – Місця дослідних ділянок в м. Київ  
**Fig. 1** – Places of research plots in the city of Kyiv

лин до різних умов середовища, таких як температура, вологість, освітленість тощо.

При дослідженні природного біорізноманіття в рекреаційній зоні м. Київ, що є зоною з мінімальним впливом антропогенної діяльності на видовий склад флори, обрано метод підрахунку кількості екземплярів та визначення флористичного складу.

Метод підрахунку кількості екземплярів є методом оцінки рясності виду, який застосовується як при детальних стаціонарних, так і тимчасових маршрутних дослідженнях. Цей метод є універсальним, бо підходить при дослідженні як в природних, так і культурних фітоценозів та є одним з найоб'єктивніших методів оцінки рясності виду. Разом з тим цей метод має параметри, які обмежують його застосування. Насамперед, види, які населяють фітоценоз, належать до різних життєвих форм рослин, а значить відрізняються формою, величиною та участю в рослинному угрупованні [24].

### *Результати дослідження*

При маршрутному польовому дослідженні (рис. 1) першою територією закладання геоботанічних майданчиків став Труханів острів. Цей острів є місцем унікальним за рахунок того, що він один з найдавніших на річці Дніпро, до 1943 року на острові було селище Водників, яке вщент зруйноване внаслідок пожежі. Зараз же цей острів є зоною рекреації містян [26]. На острові Труханів закладено п'ять геоботанічних майданчиків на репрезентативній ділянці за методом Раменського. Результати дослідження біорізноманіття природних газонів на острові представлено в таблиці 1. Перший пробний майданчик закладений неподалік ґрунтової дороги на відкритій місцевості. Рослини не вибиті, що пов'язано з малою інтенсивністю руху. Домінантним видом на території першого майданчика є злакові, наявність також синузії седому є індикатором, що піддаються частим пересиханням.

Другий пробний майданчик розташований в глибині острова, де значно зменшено антропогенний вплив. Домінуючим видом є вівсяниця сиза, вона є представником злакових. Цей вид утримує за рахунок мичкуватої кореневої системи піщаний ґрунтовий покрив, що допомагає запобігти вимиванню ґрунту.

Наявність на третьому пробному майданчику холодка лікарського свідчить про

За методом Раменського визначено кількість рослинних угруповань, що знаходиться в межах рамки 1 м на 1 м. Для того, щоб з усіх видів рослинних угруповань виокремити саме багаторічні трав'яні, які будуть основою при створенні природних газонних покриттів в місті, адже вони забезпечують стійкість при зростанні, що дозволить знизити витрати на утримання газону, запропоновано застосувати класифікацію Раункієра [25]. Ця класифікація стосується визначення життєвих форм рослинних угруповань: фанерофіти, гемікриптофіти, хамефіти та криптофіти. При дослідженні обрано життєву форму гемікриптофітів, бо це багаторічні трав'яністі рослинні угруповання, які є основою природних газонів.

Геоботанічне дослідження проведено з метою визначення природного біорізноманіття антропогенно незмінених ділянок міста для розробки рекомендацій зі створення природних газонів в місті для забезпечення стійкості урбосередовища.

більш потужний ґрунтовий покрив та наявність в ньому глинистих частин та нерівномірність зволоження протягом року.

На четвертому та п'ятому пробному майданчику спостерігались оптимальні умови зростання, а саме достатність зволоження та освітленості. Всі представлені види є видами здатними зростати на піщаному ґрунті та закріплювати його.

Ліса гора – наступна ділянка геоботанічного дослідження природного біорізноманіття газонів м. Києва. Це регіональний ландшафтний парк, розташований неподалік від місця впадіння Либіді в Дніпро [26]. На території регіонального ландшафтного парку закладено чотири пробних майданчиків. Результати дослідження представлено в таблиці 2.

Домінантним видом на Лисій горі став пирій повзучий та смикавець звичайний, що свідчить про наявність лужності ґрунту.

Лушак гострий досить цікава культура, бо є не специфічною для природних газонів цього кліматичного регіону, але є досить типовим для узбережжя Дніпра та Сіверського Донця. Інші види представлені поодинокими особинами, що свідчить про суцільну домінацію трьох видів: Пирій повзучий, Смикавець звичайний та Лушак гострий. Територію третього пробного майданчику можна охарактеризувати як повністю

Результати дослідження природного біорізноманіття на острові Труханів

Таблиця 1

## Results of the study of natural biodiversity on Trukhaniv Island

Table 1

Номер майданчику Site number	Назва Name	Кількість екземплярів The number of instances
1	Полинь австрійська ( <i>Artemisia austriaca</i> )	1
	Очиток європейський ( <i>Petrosedum ochroleucum</i> )	синузія
	Очиток кавказький - <i>Phedimus spurius</i>	синузія
	Вівсяниця сиза ( <i>Festuca Glauca</i> )	7
	Вівсяниця нитчаста ( <i>Festuca filiformis</i> )	12
2	Вівсяниця сиза ( <i>Festuca Glauca</i> )	45
	Вівсяниця нитчаста ( <i>Festuca filiformis</i> )	11
	Очиток європейський ( <i>Petrosedum ochroleucum</i> )	синузія
3	Полинь біла ( <i>Artemisia herba-alba</i> )	2
	Холодок лікарський ( <i>Aspáragus officinális</i> )	1
	Вівсяниця сиза ( <i>Festuca Glauca</i> )	4
	Вівсяниця нитчаста ( <i>Festuca filiformis</i> )	12
4	Шавлія діброва ( <i>Salvia nemorosa</i> )	8
	Вівсяниця сиза ( <i>Festuca Glauca</i> )	5
	Вівсяниця нитчаста ( <i>Festuca filiformis</i> )	4
5	Куничник наземний ( <i>Calamagrostis epigejos</i> )	13
	Вівсяниця сиза ( <i>Festuca Glauca</i> )	6
	Вівсяниця нитчаста ( <i>Festuca filiformis</i> )	4
	Очиток кавказький ( <i>Phedimus spurius</i> )	синузія

Результати дослідження природного біорізноманіття на Лисій горі

Таблиця 2

## Results of the study of the natural biodiversity of the first test site on Lysa Gora

Table 2

Номер майданчику Site number	Назва Name	Кількість екземплярів The number of instances
1	Смикавець їстівний ( <i>Cyperus esculentus</i> )	12
	Підмаренник справжній (жовтий) ( <i>Galium verum</i> )	3
	Таволга звичайна ( <i>Filipéndula vulgáris</i> )	1
	Синьоголів польовий ( <i>Eryngium campestre</i> )	1
	Лушак гострий ( <i>Cynanchum acutum</i> )	7
	Пирій повзучий ( <i>Elymus repens</i> )	54
2	Таволга звичайна ( <i>Filipéndula vulgáris</i> )	24
	Підмаренник справжній (жовтий) ( <i>Galium verum</i> )	11
	Амі велике ( <i>Ammi majus</i> )	4
	Вівсяниця нитчаста (костриця ниткоподібна) ( <i>Festuca filiformis</i> )	17
	Молочай кипарисовий ( <i>Euphorbia cyparissias</i> )	2
	Грястиця збірна ( <i>Dactylis glomerata</i> )	5
	Конюшина польова ( <i>Filipéndula vulgáris</i> )	1
3	Молочай кипарисовий ( <i>Euphorbia cyparissias</i> )	5
	Алліум ( <i>Allium</i> )	1
	Суниця зелені ( <i>Fragaria collina</i> )	57
	Чебрець повзучий ( <i>Thymus serpyllum</i> )	8
	Вівсяниця нитчаста (костриця ниткоподібна) ( <i>Festuca filiformis</i> )	43
	Таволга звичайна ( <i>Filipéndula vulgáris</i> )	44
4	Лищиця волотиста ( <i>Gypsophila paniculata</i> )	4
	Молочай кипарисовий ( <i>Euphorbia cyparissias</i> )	23

В четвертому пробному майданчику переважаючим видом став молочай кипарисовий, що може пояснюватися тим, що поруч з тим місцем є оголений схил. Основу Лисої гори складають глини, тому дощі та сніг змивають ґрунт, що утворюється, а в комбінації з близьким розташуванням там схилу цей процес прискорюється і веде до інтенсивного вивітрювання.

Наступним місцем закладання геоботанічних майданчиків стала гора Щекавиця. На цій території закладено три пробних май-

данчика. Обрано ділянки, які найбільш характеризували місцевість. Результати дослідження біорізноманіття гори Щекавиця продемонстровано в таблиці 3.

Перший пробний майданчик на горі Щекавиці досить монохромний та позиціонує себе лише двома видами пирієм та люцерною, ці види знаходяться на відкритій ділянці та постійно витоптуються туристами, тому саме ці культури природного газону змогли витримати антропогенне навантаження і повністю зайняти цю територію.

Таблиця 3

## Результати дослідження природного біорізноманіття на горі Щекавиця

Table 3

## Results of a study of the natural biodiversity on Mount Shchekavytsia

Номер майданчику Site number	Назва Name	Кількість екземплярів The number of instances
1	Пирій повзучий ( <i>Elymus repens</i> )	93
	Люцерна серповидна ( <i>Medicago falcata</i> )	7
2	Молочай кипарисовий ( <i>Euphorbia cyparissias</i> )	24
	Пирій повзучий ( <i>Elymus repens</i> )	18
	Люцерна серповидна ( <i>Medicago falcata</i> )	11
	Вісяниця нитчаста (костриця ниткоподібна) ( <i>Festuca filiformis</i> )	56
	Синьоголів польовий ( <i>Eryngium campestre</i> )	2
3	Астрогал волохатоцвітний ( <i>Astragalus dasyanthus</i> )	1
	Пирій повзучий ( <i>Elymus repens</i> )	73
	Люцерна серповидна ( <i>Medicago falcata</i> )	1
	Скабіоза польова ( <i>Succisa pratensis</i> )	3
	Мильнянка лікарська ( <i>Saponaria officinalis</i> )	4

Другий пробний майданчик досліджень знаходився на північно-західному схилі та мав досить крутий ухил, що вберегло від витоптування та дало змогу зберегти більший видовий склад. Тут вже з'являються як і типова степова рослинність (такі як: астрогал волохатоцвітний, синьоголів польовий) так і рослини піонери (молочай кипарисовий та

пирій повзучий). Дослідна ділянка розташована на північно-східній частині гори та має ухил, що перешкоджає витоптуванню. Має класичну пару видів, що формує кістяк природного газону Щекавиці (пирій повзучий та люцерна серповидна), а також включає вже види котрі характерні для височинних територій (скабіоза польова, мильнянка лікарська).

**Обговорення та рекомендації**

Геоботанічне дослідження дозволило виявити домінуючі види на дослідних ділянках, створити уявлення про фітоценологічний склад природного газону міста Київ, а саме дослідних майданчиків, які було класифіковано як природній газон. Це стало підґрунтям при розробці рекомендацій щодо формування каталогу рослин при створення

природного газону в м. Київ. Здійснено розподіл рослинних фітоценозів за класом притаманності території. Обрано стандартний поділ, відповідно до якого всі види можна розділити на три групи:

- аборигенні (типові або притаманні) види для цієї території [27];

● азональні види, ті види, що не прив'язуються до конкретної території, а мають прив'язку до окремого абіотичного фактору (світло, волога, мінеральні речовини тощо) вони не є агресивними, але в свою ж чергу займають окремі простір в цій спільноті [28];

● адвентивні інтродуценти - не притаманні природним біоценозам місць зростання, де зустрічаються [29].

Біоценоз Труханового острова має домінацію типових видів. Аборигенні види Труханового острова представлені видами: полинь австрійська, костриця глаука, костриця ниткоподібна, шавлія діброва, холодок лікарський. Зустрічаються також азональні види, але це пояснюється тим що острів є частиною річища по якому і проростає азональна рослинність, яка представлена: очитком європейським та очитком кавказьким.

До адвентивних видів належить кунічник наземний. Найстійкішим травостоем з найбільшою кількістю аборигенних видів є біоценоз Лисої гори. До аборигенних видів Лисої гори належать: таволга звичайна, костриця ниткоподібна, конюшина польова, холодок лікарський; азональні види представлені: суницею зеленою, чебрецем повзучим, очитком великим. Адвентивна рослинність

представлена амі великим та молочаєм кипарисовим.

Що до гори Щекавиця, то тут вже присутня конкуренція азональних та типових видів. Сама гора складена глинами та має незначний ґрунтовий профіль. Похилий схил та вільне надходження сонячної радіації, що потрапляє через відсутність фанерофітів, робить цю місцевість одночасно схожою на степи, зону мішаних лісів, та урболандшафт з бідними ґрунтовими умовами.

Через такі співпадіння і бачимо таку конкуренцію видів. Гора Щекавиця має таких представників аборигенної флори: люцерна серповидна, костриця ниткоподібна, скабіоза польова. Азональна флора має таких представників: пирій повзучий, синьоголів польовий, адвентивна флора представлена, як і на Лисій горі, молочаєм кипарисовим.

Для розробки рекомендацій щодо створення природного газону в місті запропоновано каталог рослин. З метою підбору рослин при створення природних газонів (рис. 2) вирішено використовувати аборигенні види для збереження природного біорізноманіття, забезпечення стійкості ландшафтів та кращої реалізації екосистемних послуг з: регулювання якості повітря, мікроклімату та поверхневого стоку [30 – 34].

Назва рослини (Назва латиною)	Комплекс корисності
Вівсяниця сиза ( <i>Festuca Glauca</i> )	Гарна зелень цілий рік, мають естетичні кушички, випускають симпатичні колоски. Проникають вглиб ґрунту створюю захист від вимивання, аивітрювання, перегріву.
Вівсяниця нитчаста ( <i>Festuca filiformis</i> )	Має високі гарні колоски, естетично привабливий вигляд багаторічний злак. Запобігають водній ерозії.
Кунічник наземний ( <i>Calamagrostis epigejos</i> )	Ґрунтопокритва рослина, що утворює гарний килим, здатен затримувати вологу та виконувати функцію з регуляції мікроклімату. Рослина є чудовим медоносом, та буде приваблювати опилювачів.
Чебрець повзучий ( <i>Thymus serpyllum L.</i> )	Естетична привабливість, затримка ерозійних процесів.
Суніш зелені ( <i>Fragaria collina</i> )	Естетична привабливість, затримка ерозійних процесів. Рослина є чудовим медоносом, та буде приваблювати опилювачів.
Гвоздики польові ( <i>Dianthus campestris</i> )	
Шавлія діброва ( <i>Salvia nemorosa</i> )	

Рис. 2 – Пропоновані види аборигенного різноманіття для створення природного газону

Fig. 2 – Suggested species of native diversity for creating a natural lawn

### Висновки

Комплексні геоботанічні дослідження при створенні та розширенні елементів зелено-блакитної інфраструктури є важливим аспектом в розрізі збереження природного біорізноманіття в містах. При проведенні геоботанічних досліджень обрано ділянки з мінімальним антропогенним навантаженням на навколишнє природне середовище.

Зручним методом при проведенні таких досліджень є короткотермінові маршрутні дослідження, в межах яких за методом Раменського виконано аналіз чисельності та різноманітності видів. З метою визначення рослин, які будуть виконувати функціонал стійкого газонного покриття класифіковано виявлені рослинні угруповання за життєвими формами, визначено, що найбільш придатними будуть гемікриптофіти, для них характерним є стійкість та багаторічність, що в свою чергу зменшить витрати на утримання газону. Створення таких покриттів має такі переваги:

- збереження біорізноманіття тих територій, що знаходяться всередині урбосередовища;
- запобігання різним видам ерозії ґрунту;

- економічна доцільність та економія ресурсів;
- виконання функції регулювання мікроклімату;
- загальне естетичне сприйняття (візуальне);
- виховання любові до природних ландшафтів.

В результаті дослідження біорізноманіття зон для рекреації киян, а саме Гори Щекавиця, Лисої гори та Труханового острову виявлено аборигенні види, які вдало доповняють газонні покриття в місті до них віднесено : вівсяницю сизу та нитчасту, кунічник наземний, чебрець повзучий, суніцю зелену, гвоздику польову та шавлію дібровну. Наведені рослинні угруповання можуть слугувати основою для газонних покриттів, не лише у місті Київ, а й в цілому бути рослинною основою для підтримки біологічного різноманіття в містах.

Результати дослідження можуть бути застосовані у інших містах України зі схожими фізико-географічними умовами. А створення в урбосередовищі таких осередків природи дозволить виконувати широкий спектр екосистемних послуг.

### Конфлікт інтересів

Автори повідомляють, що робота виконана за НДР «Розробка рекомендацій використання зеленої інфраструктури для повоєнного відновлення міст» № держреєстрації 0123U100115. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

### Список використаної літератури

1. Максименко Н. В., Бурченко С. В. Теоретичні основи стратегії зеленої інфраструктури: міжнародний досвід. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. № 31. С. 16-25. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31>
2. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe’s Natural Capital. European Commission: Brussels, Belgium. 2013. p. 11. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249>
3. Green Infrastructure to Combat Climate Change URL: <http://www.greeninfrastructurenw.co.uk/climatechange/>
4. Гречко А. А. Досвід та переваги застосування зелених дахів як елементу зеленої інфраструктури. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Серія «Екологія»*, 2022, Вип. 26. С. 32-42. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-03>
5. Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J., James, P. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 81. P. 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
6. Кочанов Е. О., Коваль І. М., Бурченко С. В., Уткіна К. Б., Гречко А. А. Проблеми функціонування зеленої інфраструктури сучасних міст (на прикладі м. Харків). Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія. За ред. Н. В. Максименко, А. Д. Шкаруба. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. С. 30-43.

7. Dover John W.. Green infrastructure. Incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments. Routledge, New York, 2015. P. 350. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203121993>
8. Газон. *Greenway*: веб-сайт. URL: [https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pdr-single/rozdil-1/punkt-10\\_ghazon](https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pdr-single/rozdil-1/punkt-10_ghazon)
9. Mata L., Andersen A. N., Morán-Ordóñez A., Hahs A. K., Backstrom A., Ives C. D., Bickel D., Duncan D., Palma E., Thomas F., Cranney K., Walker K., Shears I., Semeraro L., Malipatil M., Moir M. L., Plein M., Porch N., Vesk P. A., Lynch, Y. Indigenous plants promote insect biodiversity in urban greenspaces. *Ecological Applications*, 2021. Vol. 31. N 4. e02309. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.2309>
10. Cardoso P., Barton P.S., Birkhofer K., ets. Scientists' warning to humanity on insect extinctions *Biological Conservation*. 2020. T. 242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108426>
11. Goulson D. The insect apocalypse, and why it matters. *Current Biology*. 2019. T. 29, № 19. P. R967–R971. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.069>
12. Гололобова О. О., Дорогань В. В., Сирова А. В. Сучасні підходи до екологізації міського середовища (на прикладі Шевченківського району м. Харкова). *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2019. Вип. 32, С. 42-57. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-32-04>
13. Максименко Н. В., Гололобова О. О., Щербань В. І., Погоріла М. В. Впровадження стійких рослинних компонентів в зелену інфраструктуру в контексті природоорієнтованих рішень. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2021. Вип. 35, С. 58-71. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-06>
14. Коленкіна М. С. Озеленення населених місць. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 125 с.
15. Кузнецова О. В. Фітоценотичні особливості газонів та травостоїв газонного типу урбанізованих екосистем (на прикладі м. Дніпропетровськ) : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. Дніпроп. нац. ун-т ім. О. Гончара. Дніпропетровськ, 2016. 263 с.
16. Кулич В. В., Мацюк О. Б. Роль рослин з алопатичними властивостями в озелененні міст. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2020* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 22-23 трав. 2020 р. Тернопіль : Вектор, 2020. С. 35-39.
17. McKinney M., L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 2006. Vol. 127. N 3. P. 247–260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
18. Крупа Н. М. Газони як елементи садово-паркового ландшафту в системі міського озеленення. *Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 16-17 вересня 2021 р.). Біла Церква: БНАУ, 2021, С. 74-76.
19. Семанчикова Є. Газони з польовими квітами в місті Ческе-Будейовіце, Чехія. *Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 : колективна монографія / За ред. Н. В. Максименко, А. Д. Шкаруба. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. с. 105-109. URL: [https://karazin.ua/storage/static-content/source/documents/vydavnytstvo/2022/monohrafii/Maksymenko\\_.pdf](https://karazin.ua/storage/static-content/source/documents/vydavnytstvo/2022/monohrafii/Maksymenko_.pdf)*
20. Лукаш О., Гутник Є., Морський В. Сукцесії рослинності придорожніх газонів міста Чернігова у зв'язку антропогенним тиском та змінами погодно-кліматичних умов. *Biota. Human. Technology*. 2023. № 3. С. 69–82. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.23.5>
21. Марутяк С. Б., Скробала В. М. Екологічні закономірності розподілу рослинності газонів в умовах міста Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.9. С. 243-246.
22. Кравцова А. В. Спонтанна флора газонних насаджень міста Сміла. *Актуальні проблеми природничих та гуманітарних наук у дослідженнях молодих учених «Родзинка – 2018»*: матеріали XX Всеукраїнської наукової конференції молодих учених. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2018. С. 410-411.
23. Shkaruba A. Skryhan H., Likhacheva O., Katona A., Maryshevych O., Kireyev V., Sepp K. Shpakivska, I. Development of sustainable urban drainage systems in Eastern Europe: an analytical overview of the constraints and enabling conditions. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2021, Vol. 64 № 13. P. 2435–2458. DOI: <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1874893>
24. Методи ботанічних та геоботанічних досліджень. Навчально-методичний посібник / Укл. О. Р. Шелегада. Запоріжжя: КЗ «ЗОЦКУМ» ЗОР, 2011. 32 с.
25. Raunkjær, C. Planteriget's livsformer og deres Betydning for Geografyaften. Copenhagen: Munksgaard, 1907. 251 p.
26. Труханів острів. *Київ цифровий*. URL: <https://guide.kyivcity.gov.ua/places/truhaniv-ostriiv> (дата звернення 10.10.2023).
27. Аборигенні види. *Юніонпедія*: URL: <https://uk.unionpedia.org/%D0%90%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%96%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%B8> (дата звернення 10.10.2023).

28. Азональні види. *Велика Українська Енциклопедія*: веб-сайт. URL: <https://vue.gov.ua/%D0%90%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата звернення 10.10.2023).
29. Інтродукція рослин. *Фармацевтична енциклопедія*: веб-сайт. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/3353/introdukciya-roslin> (дата звернення 10.10.2023).
30. Гречко А. А. Використання елементів зеленої інфраструктури для збереження біорізноманіття у містах. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*: матеріали V (XVI) міжнар. конф. молодих учених (Львів, 18-19 жовтня 2023 р.). Львів, 2023. С. 23-24.
31. Іщук Л. П., Іщук Г. П. Перспективи використання аборигенної флори в озелененні урбанізованих просторів. *Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації*: Матеріали міжнародної наукової конференції 16-17 вересня 2021 р. Біла Церква. С. 38-40.
32. Іщук Л. П., Діденко І. П., Іщук Г. П., Миронюк Т. М. Перспективи використання аборигенної флори у сталих ландшафтах урбанізованих просторів України. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки»*. 2022. Вип. 12-13, С. 242-249. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.29.04.2022.038>
33. Prendergast K. S., Tomlinson S., Dixon K. W., Bateman P. W., Menz M. H. M. Urban native vegetation remnants support more diverse native bee communities than residential gardens in Australia's southwest biodiversity hotspot. *Biological Conservation*. 2022. Vol. 265. P. 109408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109408>
34. Krimmer E., Martin E. A., Krauss J., Holzschuh A., Steffan-Dewenter I. Size, age and surrounding semi-natural habitats modulate the effectiveness of flower-rich agri-environment schemes to promote pollinator visitation in crop fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2019. Vol. 284. P. 106590. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106590>

Стаття надійшла до редакції 24.04.2024

Стаття рекомендована до друку 27.05.2024

#### A. A. HRECHKO

PhD student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management

e-mail: [a.a.hrechko@karazin.ua](mailto:a.a.hrechko@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-2586>

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

**N. V. MAKSYMENKO**, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management

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

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

**A. D. SHKARUBA**, PhD (Geography), Senior Researcher

e-mail: [anton.shkaruba@emu.ee](mailto:anton.shkaruba@emu.ee) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2536-2123>

Estonian University of Life Sciences Environmental Protection and Landscape Management,  
1, Kreutzwaldi, 51006 Tartu, Estonia

#### Ye. O. KUTUZOV

Master of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management

e-mail: [kutuzovjenia2001@gmail.com](mailto:kutuzovjenia2001@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-8050-7079>

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

### BIODIVERSITY OF PLANTS IN SUBURBAN MEADOWS TO CREATE URBAN LAWNS WITH WILDFLOWERS

The creation of natural lawns is a means of optimizing costs for maintaining green infrastructure in the city by including natural biodiversity in lawns, which will increase the stability of plant communities in lawns and the quality of ecosystem services.

**Purpose.** Determine the predominant species of plant groups of natural phytocenoses, which are further appropriate for planting in semi-natural lawns to ensure the stability of territories..

**Methods.** The Ramensky method was employed to determine the quantitative composition of natural lawns in the study areas, while the Raunkiaer classification was utilized to identify persistent and perennial plant species.

**Results.** The geobotanical investigation enabled the identification of dominant species in the study areas, providing insights into the phytocoenological composition of natural lawns for the city of Kyiv. This served as the foundation for developing recommendations for a plant catalogue tailored to the creation of such lawns in Kyiv. The grass stand at Lysa Hora exhibited the highest stability, with a significant presence of native species. Adventitious species were less dominant in this area, likely due to their conditional pathogenicity. Conversely, Trukhaniv Island displayed dominance by typical species, albeit with the occasional presence of azonal species. Mount Shchekavytsia showed competition between azonal and typical species. Surveys of recreational areas, including Lysa Hora, Mount Shchekavytsia, and Trukhaniv Island, underscored the presence of native, azonal, and adventitious species. The study identified common native hemicryptophytes, including filamentous fescue, grey fescue, and creeping wheatgrass. A developed plant catalogue is poised to enhance ecosystem regulation services, such as microclimate regulation, water and wind erosion control, biodiversity maintenance, and social services through increased territorial attractiveness.

**Conclusions.** When creating a natural lawn, the best species are considered to be indigenous, which allows for the sustainability of plant communities. The study identified the following native species that will successfully complement lawn coverings in the city: gray and filamentous fescue, ground fescue, creeping thyme, green strawberry, field carnation, and oak sage. The recommendations can be applied in other cities of Ukraine with similar physical and geographical conditions.

**KEY WORDS:** *green infrastructure, biodiversity assessment, natural lawn, element of green infrastructure, ecosystem services, urban area*

### References

1. Maksymenko, N. V., & Burchenko, S. V. (2019). Theoretical Basis of the Green Infrastructure Strategy: International Experience. *Man and Environment. Issues of Neocology*, 31(31), 16-25. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-02> (In Ukrainian)
2. Green Infrastructure (GI) –Enhancing Europe’s Natural Capital. (2013). European Commission: Brussels, Belgium. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249>
3. Green Infrastructure to Combat Climate Change. (2011). Retrieved from <http://www.greeninfrastructurenw.co.uk/climatechange/>
4. Hrechko, A. A. (2022). Experience and benefits of using green roofs as an element in green infrastructure. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (26), 32-42. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-03> (In Ukrainian)
5. Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
6. Kochanov, E.O., Koval, I.M., Burchenko, S.V., Utkina, K.B., Hrechko, A.A. (2022). Problems of functioning of green infrastructure of modern cities (on the example of Kharkiv). In Maksymenko N. V., & Shkarub A. D. (Eds.). *Green and blue infrastructure in the cities of the post-Soviet space: studying the heritage and connecting to the experience of V4 countries*. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, P. 30-43. (In Ukrainian)
7. Dover, John W. (2015). *Green infrastructure. Incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments*. Routledge, New York, <https://doi.org/10.4324/9780203121993>
8. *Greenway*. Retrieved from [https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pdr-single/rozdil-1/punkt-10\\_ghazon](https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pdr-single/rozdil-1/punkt-10_ghazon)
9. Mata, L., Andersen, A. N., Morán-Ordóñez, A., Hahs, A. K., Backstrom, A., Ives, C. D., Bickel, D., Duncan, D., Palma, E., Thomas, F., Cranney, K., Walker, K., Shears, I., Semeraro, L., Malipatil, M., Moir, M. L., Plein, M., Porch, N., Vesk, P. A., ... Lynch, Y. (2021). Indigenous plants promote insect biodiversity in urban greenspaces. *Ecological Applications*, 31(4). e02309. <https://doi.org/10.1002/eap.2309>
10. Cardoso, P., Barton, P.S., Birkhofer, K., .....& Samways, M.J. (2020). Scientists' warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*. 242. 108426. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108426>
11. Goulson D. (2019). The insect apocalypse, and why it matters. *Current Biology*, 29(19), R967–R971. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.069>
12. Golobova, O. O., Dorogan, V. V., & Syrova, A. V. (2019). Modern Approaches to Greening the Urban Environment (on the Example of the Shevchenkivsky District, Kharkov). *Man and Environment. Issues of Neocology*, (32), 42-57. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-32-04> (In Ukrainian)
13. Maksymenko, N. V., Golobova, O., Shcherban, V. I., & Pohorila, M. V. (2021). Introduction of Sustainable Plant Components in Green Infrastructure in the Context of Nature-Oriented Solutions. *Man and Environment. Issues of Neocology*, (35). <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-06> (In Ukrainian)
14. Kolenkina, M. S. (2019). *Landscaping of populated areas*. KhNUOG named after A.M. Beketov. (In Ukrainian)

15. Kuznetsova, O. V. (2016). *Phytocoenotic features of lawns and grass stands of lawn type of urbanised ecosystems (on the example of Dnipro city)*. PhD's thesis. Dnipro National University named after O. Honchar. (In Ukrainian)
16. Kulich, V. V., & Matsyuk, O. B. (2020). The role of plants with allopathic properties in urban greening. In *Ternopil Biological Readings - Ternopil Bioscience - 2020 35-39*. (In Ukrainian)
17. McKinney, M., L. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127 (3), 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
18. Krupa, N. M. (2021). Lawns as elements of the garden and park landscape in the urban greening system. In *Actual problems, ways and prospects of development of landscape architecture, gardening, urban ecology and phytomelioration*. 74–76. BNAU. (In Ukrainian)
19. Semančiková, E. (2022). Wildflower turfs in the city České Budějovice, the Czech Republic. In Maksymenko N.V., & Shkaruba A. D. (Eds). *Green & Blue Infrastructure in Post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience*. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 105-109. Retrieved from [https://karazin.ua/storage/static-content/source/documents/vydavnytstvo/2022/monohrafi/Maksymenko\\_.pdf](https://karazin.ua/storage/static-content/source/documents/vydavnytstvo/2022/monohrafi/Maksymenko_.pdf)
20. Lukash, O., Gutnyk, E., Morskyi, V. (2023). Vegetation successions of roadside lawns in the city of Chernigov in connection with anthropogenic pressure and changes in weather and climate conditions. *Biota. Human. Technology*. 3. 69–82. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.23.5> (In Ukrainian)
21. Marutyak, S.B., Skrobala, V.M. (2013). Ecological patterns of distribution of vegetation lawns in Lviv. *Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, (23.9), 243-246. (In Ukrainian)
22. Kravtsova, A. V. (2018). Spontaneous flora of lawns in the city of Smila. In *Current problems of natural sciences and humanities in the research of young scientists "Rodzinka - 2018* (p. 410-411). CHNU named after B. Khmelnytskyi. (In Ukrainian)
23. Shkaruba, A., Skryhan, H., Likhacheva, O., Katona, A. Maryshevych, O., Kireyeu, V., Sepp, K.; Shpakivska, I. (2021). Development of sustainable urban drainage systems in Eastern Europe: an analytical overview of the constraints and enabling conditions. *Journal of Environmental Planning and Management*, 64 (13), 2435–2458. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1874893>
24. Shelegeda, O. R. (Ed.). (2011). *Methods of botanical and geobotanical research*. KZ "ZOTSKUM" ZOR. (In Ukrainian)
25. Raunkjær, C. (1907). *Planterigetets livsformer og deres Betydning for Geograpyrafiien*. Copenhagen: Munksgaard, 251.
26. *Trukhaniv Island*. (n. d.). Kyiv is digital. Retrieved from <https://guide.kyivcity.gov.ua/places/truhaniv-ostrov> (In Ukrainian)
27. *Native species, the Glossary*. Unionpedia. Retrieved from [https://uk.unionpedia.org/Аборигенні\\_види](https://uk.unionpedia.org/Аборигенні_види) (In Ukrainian)
28. *Native species, the Glossary*. Unionpedia. Retrieved from [https://uk.unionpedia.org/Аборигенні\\_види](https://uk.unionpedia.org/Аборигенні_види) (In Ukrainian)
29. M, S. L. (2010, 13 September). *INTRODUCTION OF PLANTS*. Pharmaceutical encyclopaedia. Retrieved from <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/3353/introdukciya-roslin>
30. Hrechko, A. A. (2023). Using green infrastructure elements to preserve biodiversity in cities. In *Scientific basis for the conservation of biotic diversity* ( 23–24). (In Ukrainian)
31. Ishchuk, L. P., & Ishchuk, G. P. (2021). Prospects for the use of indigenous flora in landscaping urbanised spaces. In *Current problems, ways and prospects of development of landscape architecture, gardening, urban ecology and phytomelioration*: 38–40. (In Ukrainian)
32. Ishchuk, L. P., Myroniuk, T. M., Ishchuk, H. P., & Didenko, I. P. (2022). Prospects for the use of indigenous flora in sustainable landscapes of urbanised spaces in Ukraine. *International scientific journal "Grail of Science"*, (12-13), 242–249. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.29.04.2022.038> (In Ukrainian)
33. Prendergast, K. S., Tomlinson, S., Dixon, K. W., Bateman, P. W., & Menz, M. H. M. (2022). Urban native vegetation remnants support more diverse native bee communities than residential gardens in Australia's southwest biodiversity hotspot. *Biological Conservation*, 265, 109408. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109408>
34. Krimmer, E., Martin, E. A., Krauss, J., Holzschuh, A., & Steffan-Dewenter, I. (2019). Size, age and surrounding semi-natural habitats modulate the effectiveness of flower-rich agri-environment schemes to promote pollinator visitation in crop fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 284, 106590. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106590>

The article was received by the editors 24.04.2024

The article is recommended for printing 27.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-41-08>

УДК(UDC): 712.4/635.9/504.75

**О. О. ГОЛОЛОБОВА**<sup>1</sup>, канд. с.-г. наук, доц.

доцентка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: [elena.gololobova@karazin.ua](mailto:elena.gololobova@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5558-2114>

**В. В. ГОЛОЛОБОВ**<sup>1</sup>,

аспірант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

e-mail: [vadim.gololobov@gmail.com](mailto:vadim.gololobov@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-0086-0303>

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

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

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ ВИКОРИСТАННЯ КУЛЬТИВАРІВ ВИДУ *BERBERIS THUNBERGII* ДЛЯ СТАЛОГО ЛАНДШАФТНОГО ДИЗАЙНУ

**Мета.** Для цілей сталого ландшафтного дизайну міського простору обґрунтувати нові сучасні природоорієнтовані рішення застосування карликових культиварів виду *Berberis thunbergii*.

**Методи.** Візуальне оцінювання, комп'ютерне моделювання та візуалізація.

**Результати.** Одним із аспектів реалізації цілей сталого розвитку, а саме – Сталий розвиток міст та спільнот, є раціоналізація життєвого простору у містах. Невід'ємною складовою цього процесу є естетичне впорядкування територій, що забезпечує сталий ландшафтний дизайн. Дизайн квіткових композицій, клумб може і повинен змінюватися, оновлюватися, вбирати нове. Одним із шляхів реалізації такого контексту при створенні сталих квітників є використання металевих каркасних конструкцій, за допомогою яких вирішується завдання створення контрасту з кольорами декоративно-рослинних композицій. Вибір кольору металевого каркасу повинен бути підпорядкований тематичному і ландшафтному контексту. Задля надання графічності декоративно-рослинним композиціям з культиварів виду *Berberis thunbergii* показана доцільність горизонтального ооконтурювання рослинного орнаменту металевими конструкціями з шириною ліній ооконтурювання 3–5% від лінійних розмірів конструкції. Моделювання конструкцій проводилося за допомогою програми Realtime Landscaping Architect 2023.02, Trial Free Version. Обґрунтовано використання кольорового вирішення, форми, текстури змодельованих конструкцій, використання контурного підсвічування декоративно-листяної інсталяції. Наведені культивари *Berberis thunbergii*, які доречні для використання, тривалість життя яких за умов виконання необхідного мінімального догляду може досягати 50 років.

**Висновки.** Створення сталих естетично виразних клумб і квітників передбачає не лише використання екологічно чистих матеріалів, але й вибір місцевих або адаптивних декоративних культиварів, що забезпечують всесезонну декоративність, відсутність необхідності щорічного оновлення рослинного матеріалу, штучного поливу, створення середовища існування для запилювачів і птахів. Використання культиварів виду *Berberis thunbergii*, сприяє створенню сталих квітників, які здатні зберігати свої декоративні характеристики упродовж тривалого часу.

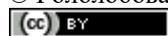
Найбільш гармонічно запропоновані композиції будуть розкриватися при наявності динамічних візуальних точок, глибокої перспективи і панорамного краєвиду.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** декоративно-листяні види, сталий розвиток, ландшафт, візуальна привабливість, комп'ютерне моделювання, декоративно-рослинні композиції, модуль «Метелик»

**Як цитувати:** Гололобова О. О., Гололобов В. В. Сучасні підходи використання культиварів виду *Berberis thunbergii* для сталого ландшафтного дизайну. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 112 - 122. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-08>

**In cites:** Gololobova, O. O., & Gololobov, V. V. (2024). Modern approaches to the use of *Berberis Thunbergii* cultivars for sustainable landscape design. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (41), 112-122. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-08> (in Ukrainian)

© Гололобова О. О., Гололобов В. В., 2024



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

### Вступ

Функції сучасного ландшафтного дизайну гарантують естетизацію предметно-просторового оточення людини [1 – 3]. На сьогодні можна відокремити два основні підходи до проектування відкритих просторів: традиційний і сталий. Традиційний дизайн містить у собі давно усталені практики проектування відкритих просторів. Він характеризується своєю естетичною спрямованістю. Цей підхід віддає перевагу декоративним і немісцевим видам рослин через їхню візуальну привабливість, навіть якщо вони не можуть бути адаптовані до місцевого середовища, потребують регулярного поливу, підживлення, захисту, не можуть надавати важливі екосистемні послуги або підтримувати комах-запилювачів. Сталий ландшафтний дизайн – це цілісний та екологічно свідомий підхід до проектування відкритих просторів, метою якого є мінімізація впливу на довкілля за умови максимізації функціональності та довгострокової життєздатності. Основна увага приділяється створенню естетично привабливих ландшафтів, які гармонійно співіснують із природою і сприяють благополуччю людини та екологічному здоров'ю. Цей підхід містить у собі такі стратегії, як вибір місцевих або адаптивних видів рослин, створення місця існування для запилювачів, використання екологічно чистих матеріалів, які спрямовані на скорочення споживання ресурсів та мінімізацію екологічного сліду проєктованого простору [4, 5, 6].

Квітники – один із найбільш естетично яскравих елементів громадських зелених зон. Незважаючи на таку важливу роль, досліджень клумб як окремого елемента міського ландшафту дуже мало [7].

Створення довговічної клумби, яка зберігає свої декоративні характеристики упродовж тривалого часу, підкоряється принципу: правильна рослина, правильне місце. Під час вибору рослинного матеріалу для стійкої клумби важливо враховувати ставлення до екстремальних температур, вимоги до води, рН ґрунту, освітлення, стійкість до хвороб і шкідників, враховувати обсяги догляду.

Традиційний підхід до дизайну клумб передбачає використання однорічних і дворічних рослин (рис. 1). Такі клумби потребують регулярного догляду, щорічного оновлення та прибирання в кінці сезону [8]. З

позицій сталого дизайну багаторічні декоративні рослини заслуговують на більш помітне місце в громадських зелених насадженнях, їх більш широке використання є важливим кроком на шляху до більшої стійкості міського ландшафту. Клумби з декоративними багаторічними рослинами збільшують біорізноманітність урболандшафтів, захоплюють динамічними змінами впродовж всього вегетаційного періоду, потребують значно менше ресурсів, що автоматично знижує витрати на їх утримання [4].

Ландшафт – це і фізично-візуальне сприйняття [4, 5, 6]. Сучасні дослідження фокусують увагу на суб'єктивні уподобання громадськості щодо рослинних ландшафтів і зосереджуються на таких характеристиках як колір листя, висота і густина рослинності, природність та видове різноманіття. Високі рівні кольорового контрасту, яскравості та візуальної насиченості рослинно-квіткових композицій асоціюються з оптимальними естетичними уподобаннями та емоційним сприйняттям. Як колір листя, так і колір квіток відіграють важливу роль у визначенні ландшафтних уподобань і сприйняття [9].

Період максимальної декоративності у багаторічних декоративно-листяних видів набагато довший, ніж у квітучих видів, тому останнім часом саме декоративно-листяні види у фокусі уваги ландшафтних архітекторів і дизайнерів. Композиції, які побудовані на кольоровому ефекті, утвореному за рахунок забарвлення листків, тримають барвистий ефект впродовж всього вегетаційного періоду. Використовуючи переходи від темно-зеленого кольору деяких вічнозелених рослин через світліші до жовто-зеленого, сріблястого або сизого, і додаючи «випадкові» мазки контрастних кольорів – пурпурових, темно-червоних і жовтих екземплярів, можна створювати дуже ефектні композиції [10].

До перспективних декоративно-листяних видів відносяться види і культивари роду *Berberis* [11]. Найбільшу кількість декоративних культиварів має вид *Berberis thunbergii*, серед яких виділяють культивари кулястої та вертикальної форми. Обидві форми мають щільну, компактну крону, повільну швидкість зростання, зокрема, річний приріст не перевищує 5 см у висоту і ширину. Кольорова гамма дрібного листя нагадує палітру, в якій представлені відтінки

жовтого, помаранчевого, червоного, пурпурного, фіолетового, рожевого, зеленого колірив або їх міксів. Культивари *Berberis thunbergii* – посухостійкі рослини, які воліють рости під відкритим сонцем, які добре ростуть як на кислих так і слабо-лужних, помірно зволжених ґрунтах. Ці рослини абсолютно зимостійкі по всій території України: кліматична зона: 5а [12].

Культивари сучасної селекції завдяки привабливому забарвленню, щільній кроні включають як елемент альпінаріїв, рокаріїв, работок, розаріїв, бордюрів, моносадків, використовують для контрастного обрамлення газонів, в якості солітерів задля створення ефектного акценту на газоні або на березі водойми, розміщують на схилах для їх зміцнення та декорування.

На наш погляд є ще кілька перспективних сталих рішень використання культиварів *Berberis thunbergii*. В роботі ми хочемо показати декілька прикладів не зовсім звичної практики використання кар-ликових культиварів з кулястою формою. Сталі характеристики, а саме повільне зростання, генетична здатність зберігати правильну кулясту форму, великий вибір колірної гама листя, всесезонна декоративність, добра пристосованість до міських умов роблять культивари виду *Berberis thunbergii* достойним доповненням до асортименту однорічних рослин, які використовують для створення квіткових композицій.

Приклади декоративно-листяних композицій, які виконані з використанням кар-ликових культиварів *Berberis thunbergii* кулястої форми змодельовані з використанням програми Realtime Landscaping Architect 2023.02, Trial Free Version. Обґрунтування вибору задіяної програми представлено в попередніх публікаціях [13, 14].

При моделюванні квіткових композицій ми дотримувалися такого значущого принципу створення ландшафтних об'єктів, як той, що одноразові витрати на створення ландшафтного об'єкта можуть бути великими, але витрати з його подальшого утримання мають бути максимально малі.

Саме клумби і квітники є найбільш декоративними ландшафтними об'єктами серед усіх, які створюються за допомогою рослинного матеріалу. Вони виконують роль ландшафтних аксесуарів, за допомогою яких можливо не спокушаючись на сформований базовий набір зелених насаджень впустити в

місто сучасні ландшафтні тренди. Дизайн квіткових композицій, клумб може і повинен змінюватися, оновлюватися, вибирати нове. Наблизитися до сучасного розуміння сталого дизайну ландшафту можливо завдяки залученню до високих технологій, поєднуючи живий природний матеріал з лініями, формами, фактурою сучасних матеріалів. Нові матеріали та технології слугують створенню нових візуальних кодів міста, оновлюючи композиційно-стильову та колористичну організацію міського ландшафту.

Одним із шляхів реалізації такого контексту є використання металу, який виконує не тільки технологічні завдання, а й набуває якостей актора в візуальному перетворенні міського простору.

З безлічі існуючих форм квіткових ландшафтних об'єктів модуль-метелик, модуль-квітка є затребувані в середовищі ландшафтних дизайнерів. Ландшафтні дизайнери люблять створювати квітники, обриси яких нагадують обриси метеликів та квітів. Огляд виконаних проектів дозволяє зробити деякі попередні висновки.

Щоб квітова композиція або клумба мала привабливий вигляд, необхідно передбачити використання матеріалу, який зможе створити її чіткий контур. В якості прикладу створення модулю «Метелик» з чіткими контурами ми звертаємось до кейсу, який представлений нижче (рис. 2). Чіткість контуру досягається за рахунок використання вертикальних металевих складових представленої конструкції.

Але для надання графічності конструкції найбільш доцільно використовувати не вертикальне, а горизонтальне оковтування з шириною ліній 3–5% від лінійних розмірів конструкції, що буде оптимальним для візуального сприйняття.

Другою важливою складовою для вирішення цього завдання є вибір кольору. Наразі трендом створення візуальної привабливості міських ландшафтів є активне звернення до білого кольору, який привносить відчуття свіжості, чистоти, елегантності, оптичного збільшення розмірів об'єкта, створює контраст з іншими кольорами, текстурами. Другим кольором нашого вибору є чорний, який надає ефектний графічний контраст, перетворює, облагороджує бюджетні матеріали, створює точку тяжіння, але не заглушає рослинний декор.

Вибір кольору повинен бути підпорядкований тематичному і ландшафтному контексту.



**Рис. 1** – Створення клумби на проспекті Науки, Харків. Рослинний матеріал – однорічні декоративні рослини. [15]

**Fig. 1** – Creating a flower bed on Nauky Avenue, Kharkiv. The plant material is annual ornamental plants [15]



**Рис. 2** – Металевий модуль для створення клумби «Метелик» [16].

**Fig. 2** – A metal module for creating a butterfly flowerbed [16]

На рис. 3.1–3.2. представлені моделі, які виконані з металу білого і чорного кольорів, розмірами 5\*7 м. Метелики парять над газonom на висоті 40–50 см. Висота польоту метеликів детермінована висотою культиварів карликових форм *Berberis thunbergii*. Контрастність, контурна чіткість конструкцій досягається за допомогою домінуючих горизонтальних елементів металевої конструкції білого або чорного кольорів.

Важливою складовою реалізації художнього задуму є розміри конструкцій і повинні мати розміри, які підпорядковуються законам перспективи, а наявність динамічних і статистичних видових точок створюють можливість максимально розкриття ландшафтної

композиції для спостерігачів.

Для кожного модуля задля створення щільної рослинної текстури необхідна достатньо висока кількість рослинних екземплярів, посадка рослин передбачається безпосередньо в підготовлений ґрунт, при цьому немає необхідності створювати горизонтальну поверхню в разі її відсутності, культивари витривалі, їхнє розміщення на пологих схилах завдяки міцній добре розгалуженій кореневій системі виконує екологічну функцію збереження ґрунту і є дуже вигідним для візуального сприйняття ландшафтної декоративної композиції. Тривалість життя культиварів за умов виконання необхідного мінімального догляду може досягати 50 років.



**Рис. 3.1** – Змодельована металева конструкція білого кольору

**Fig. 3. 1** – A modeled b white metal structure



**Рис. 3.2** – Змодельована металева конструкція чорного кольору

**Fig. 3.2** – A modeled black metal structure



**Рис. 4.1** – Приклад заповнення квіткового модулю рослинним матеріалом. Колір металевої конструкції – білий

**Fig. 4.1** – The example of filling a flower module with plant material. The color of the metal structure is white



**Рис. 4.2** – Приклад заповнення квіткового модулю рослинним матеріалом. Колір металевої конструкції – чорний

**Fig. 4.2** – The example of filling a flower module with plant material. The color of the metal structure is black

На рис. 4.1–4.2 представлені приклади можливих варіантів заповнення модулів білого і чорного кольорів рослинним матеріалом.

Кількість модулів для створення декоративно-рослинної композиції залежить від конкретного ландшафтного простору, кожен модуль має набути своєї оптимальної ширини, протяжності та підбору культиварів в бажаній колірній гамі (Рис. 5.1–5.2). Сучасні технології надають можливість обробки металевої текстури інноваційними брудно-відштовхувальними фарбами, що зберігає чистоту кольору на протязі великого часу експлуатації.

Використання металів теплих тонів, зокрема, міді і латуні, також можливе, воно підтримуються палітрою рослин з жовтими, помаранчевими, коричневими відтінками, але вартість таких модулів буде достатньо високою, що є обмежувальним фактором їх використання.

За допомогою SWOT-аналізу представлений комплексний огляд сильних і слабких сторін, можливостей і загроз, які можуть впливати на успішність проекту (табл. 1).

Декоративне акцентне освітлення елементів ландшафтного дизайну: рослинних груп, елементів геопластики, водних пристроїв, малих архітектурних форм, декора-



**Рис. 5.1** – Приклад створення сталої композиції з білим контуром

**Fig. 5.1** – An example of creating a steady composition with a white outline



**Рис. 5.2** – Приклад створення сталої композиції з чорним контуром

**Fig. 5.2** – An example of creating a steady composition with a black outline

тивної скульптури декоративного покриття має велике значення у формуванні середовища будь-якого ландшафтного об'єкту. Декоративне акцентне освітлення створюється за допомогою застосування певних композиційних прийомів формування світло-кольорового середовища локальних елементів.

При використанні контурного підсвічування, яке виявляє силует, обриси форми об'єктів ландшафтного дизайну, доцільно використовувати оптико-волоконні технології, зокрема світлодіодні стрічки для вуличного декору, які мають декілька режимів різнобарвного освітлення [17, 18].

**Таблиця 1**

**Комплексний огляд сильних і слабких сторін, можливостей і загроз, які можуть впливати на успішність проєкту**

**Table 1**

**A comprehensive review of the strengths, weaknesses, opportunities and threats that may affect the success of the project**

<b>Сильні сторони Strengths</b>	<b>Слабкі сторони Weaknesses</b>
<p>Всесезонна декоративність: період максимальної декоративності упродовж всього вегетаційного періоду; збереження достатньо високої візуальної привабливості у холодний період року.</p> <p>Відсутність необхідності щорічного оновлення рослинного матеріалу.</p> <p>Збільшення біорізноманітності за рахунок використання багаторічних адаптованих до місцевих умов декоративних культурварів зі сталими характеристиками (невибагливість до ґрунтово-кліматичних умов, повільне зростання, куляста форма крони).</p> <p>Підтримання життєдіяльності місцевих видів птахів і комах-запилювачів (наявність квітів та плодів).</p>	<p>Великі одноразові витрати на створення ландшафтного об'єкту.</p>
<b>Можливості Opportunities</b>	<b>Загрози Threats</b>
<p>Формування сучасних трендів сталого ландшафтного дизайну, залучення високих технологій, поєднання живого рослинного матеріалу з лініями, формами, фактурою сучасних матеріалів.</p> <p>Створення сталих квітників, які здатні зберігати свої декоративні характеристики на протязі тривалого часу.</p> <p>Формування світло-кольорового середовища у вечірній час та при створенні зимового декору.</p> <p>Створення нових візуальних кодів міста, відчуття «духу місця».</p>	<p>Ландшафтний об'єкт, не забезпечений достатнім рівнем догляду, швидко деградує.</p>

Приклад формування світло-кольорового середовища за допомогою використання контурного підсвічування декоративно-рослинної композиції, яке достатньо зручно реалізувати для запропонованих модулів, представлений на рис. 6.

Нижче наводимо характеристики затребуваних у ландшафтних фахівців культурварів *Berberis thunbergii*, які доречно використовувати для створення декоративно-рослинних композицій [12].

Барбарис Тунберга 'Інспірейшн' – карликовий, густий кущ подушкоподібної форми з компактною, щільною кроною – виведений в Чехії в 2014 році, відрізняється компактним ростом, різнобарвним строка-тим забарвленням червоно-рожево-білого листя.

*Berberis thunbergii* 'Kobold' – витончений, мініатюрний кущ з подушко-подібною,

низькою, компактною кроною з невеликими річними приростами і смарагдово-зеленими листочками навесні і влітку, оранжево-жовтим листям восени.

*Berberis thunbergii* 'Admiration' – високодекоративний селекційний сорт. Листопадний, карликовий кущ з округлою, дуже щільною кроною. Листя довжиною до 3,5 см, насиченого червоного або темно-оранжевого кольору і незвичайною жовтою облямівкою.

*Berberis thunbergii* 'Concorde' – невисокий кулястий щільний кущ з насиченим бордовим кольором листя, яке зберігається на протязі всього вегетаційного періоду. Близьк темного листя створює ефектні контрасти з жовтими квітками.

*Berberis thunbergii* 'Orange Dream' – повільно ростучий, карликовий сорт, який завоював бронзову медаль на міжнародній



**Рис.6** – Формування світло-кольорового середовища з використанням контурного підсвічування декоративно-рослинної композиції

**Fig. 6** – Formation of light and color environment using contour illumination of a decorative and plant composition



**Рис. 7** – Декоративно-рослинна композиція «Метелики на Павловому Полі», м. Харків.  
Рослинний матеріал – культивари виду *Berberis thunbergii*

**Fig. 7** – Decorative and plant composition "Butterflies on Pavlov Pole", Kharkiv.  
Plant material - cultivars of the *Berberis thunbergii* species

виставці Плантаріум 2011 року. Листя невеликі, овальні, загострені на кінцях, рівно-мірного яскравого помаранчевого кольору, які восени набувають багряно-червоного відтінку.

*Berberis thunbergii* 'Golden Nugget' – карликовий густий подушковидний кущ висотою до 50 см і діаметром до 80 см з щільною, компактною кроною золотистого

відтінку. Листя дрібні, оберненояйцевидні, жовто-золотаві протягом усього вегетаційного періоду, не вигоряє на сонці. Навесні і восени може набувати помаранчевого відтінку. Назва сорту перекладається як «Золотий самородок». Один з найпопулярніших культиварів сучасної світової селекції барбарисів.

*Berberis thunbergii atropurpurea* 'Bagatelle' – повільно зростаючий, карликовий кущ кулястої форми з оригінально забарвленим листям в багряно-червоний колір з мідним відливом.

*Berberis thunbergii* 'Orange Ice', може досягати 60–70 см, але цей культивар має найяскравіший з усіх культиварів барбарисів інтенсивний світло-помаранчевий колір листя. Але як і всі представлені культивари добре піддається формуванню, з часом зростає в

ширину і набуває більш кулястої форми.

*Berberis thunbergii* 'Ruby Star' – повільно зростаючий кущ кулястої форми, з яскраво червоними молодими пагонами. Листя великі, округлі, щільно ростуть на гілках. Молоде листя яскраве, помаранчево-червоне, пізніше з'являється золотиста облямівка.

Приклад можливого використання декоративно-рослинної композиції представлений на рис. 7. Підходом для пояснення представлені організації ландшафту є асоціативно-образні орієнтири «Павлове Поле», «Метелики». Представлений приклад локації «Метелики на Павловому Полі» не претендує на ретельне проектне опрацювання, він спирається на дизайнерську рефлексію, конотацію, фіксування яких ініціюється наявністю динамічних візуальних точок і панорамного краєвиду.

### Висновки

Наблизитися до сучасного розуміння сталого дизайну ландшафту можливо завдяки залученню до високих технологій, поєднуючи живий природний матеріал з лініями, формами, фактурою сучасних матеріалів. Нові матеріали та технології слугують створенню нових візуальних кодів міста, оновлюючи композиційно-стильову та колористичну організацію міського ландшафту.

Клумби і квітники є найбільш декоративними ландшафтними об'єктами серед усіх, які створюються за допомогою рослинного матеріалу. Вони виконують роль ландшафтних аксесуарів, за допомогою яких можливо не спокушаючись на сформований сталий набір зелених насаджень впусити в місто сучасні ландшафтні тренди. Дизайн квіткових композицій, клумб може і повинен змінюватися, оновлюватися, вбирати нове. Одним із шляхів реалізації такого контексту при створенні сталих квітників є використання металевих каркасних конструкцій, за допомогою яких вирішується завдання створення контрасту з кольорами декоративно-рослинних композицій. Вибір кольору металевого каркасу повинен бути підпорядкований тематичному і ландшафтному контексту. Білий колір привносить відчуття свіжості, чистоти, елегантності, оптичного збільшення розмірів об'єкта; чорний – створює ефектний графічний контраст,

перетворює, облагороджує бюджетні матеріали, створює точку тяжіння, але не заглушає рослинний декор.

Створення сталих естетично виразних клумб і квітників передбачає не лише використання екологічно чистих матеріалів, але й вибір місцевих або адаптивних декоративних культиварів, що забезпечують всесезонну декоративність, відсутність необхідності щорічного оновлення рослинного матеріалу, штучного поливу, створення середовища існування для запилювачів і птахів.

Використання культиварів виду *Berberis thunbergii*, тривалість життя яких за умов виконання необхідного мінімального догляду може досягати 50 років, буде сприяти створенню сталих квітників, які здатні зберігати свої декоративні характеристики упродовж тривалого часу.

Створення світло-кольорового середовища за допомогою використання контурного підсвічування декоративно-рослинних композицій, яке достатньо зручно реалізувати для запропонованих квітників, сформує візуальне перетворення міського простору у вечірні часи і під час зимового вуличного декорування.

Найбільш гармонійно запропоновані композиції будуть розкриватися при наявності динамічних візуальних точок, глибокої перспективи і панорамного краєвиду.

### Конфлікт інтересів

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

## Список використаної літератури

1. Варивончик А. Тенденції та перспективи ландшафтного дизайну. *Вісник КНУКіМ. Серія: Мистецтвознавство*, 2022. 46, 221-227. DOI: <https://doi.org/10.31866/2410-1176.46.2022.258799>
2. Hölscher K., Frantzeskaki N., Kindlon D., Collier M. J., Dick G., Dziubała A., Lodder M., Osipiuk A., Quartier M., Schepers S., Van De Sijpe K. & van der Have C. (2024). Embedding co-production of nature-based solutions in urban governance: Emerging co-production capacities in three European cities. *Environmental Science & Policy*, Vol. 152, 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103652>
3. Mouratidis K. (2019). The impact of urban tree cover on perceived safety. *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126434>
4. Poje M., Židovec V., Prebeg T., Kušen M. Does the Use of Perennials in Flower Beds Necessarily Imply Sustainability? *Plants*. 2023. Vol.12. 4113. URL: <https://doi.org/10.3390/plants12244113>
5. Kruize H., Van Der Vliet N., Staatsen B., Bell R., Chiabai A. & al. (2019). Urban Green Space: Creating a Triple Win for Environmental Sustainability, Health, and Health Equity through Behavior Change. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. Vol.16. 4403. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16224403>
6. Bele, A. & Chakradeo, U. Public Perception of Biodiversity: A Literature Review of Its Role in Urban Green Spaces. *J. Landsc. Ecol.* 2021. Vol. 14. P. 1–28. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2021-0008>
7. Poje, M., Vukelić, A. Han Dovedan, I. Perception of Flower Beds in Public. Green Areas. *Agriculturae Con-spectus Scientificus*. 2013. Vol. 78. N 2. P.125–129. URL:<https://acs.agr.hr/acs/index.php/acs/issue/view/64>
8. Бойко Т. О., Ворона А. М. Аналіз стану квітничкового оформлення міста Кропивницький та шляхи поліпшення. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2023. № 2. С.71-76. DOI: <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2023-2-71-76>
9. Zhuang J., Qiao L., Zhang X., Su, Y. & Xia, Y. (2021). Effects of Visual Attributes of Flower Borders in Urban Vegetation Landscapes on Aesthetic Preference and Emotional Perception. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021. Vol. 18. № 17. 9318. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18179318>
10. Бондарчук О. О., Олешко О. Г. Принципи використання декоративно-листяних кущів у садово-паркових композиціях. *Інноваційні технології в агрономії, землеустрої та садово-парковому господарстві: матеріали міжнародної науково-практичної конференції магістрантів, 20 листопада 2020 р. Біла Церква: БНАУ, 2020. С. 54–57. [https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/zbornik\\_tez\\_agro\\_magistr\\_20.11.2020.pdf](https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/zbornik_tez_agro_magistr_20.11.2020.pdf)*
11. Якобчук О. М., Колесніченко О. В. Використання рослин виду та культиварів роду BERBERIS L. при створенні моносаду. *Наукові доповіді НУБіП*. 2013. Т.1. № 37. [https://nd.nubip.edu.ua/2013\\_1/13yom.pdf](https://nd.nubip.edu.ua/2013_1/13yom.pdf)
12. Proxima. Декоративні рослини. URL: <https://proxima.net.ua/barbaris-tunberga-berberis-thunbergii-inspiration.html>
13. Максименко Н. В., Гололобова, О. О. Еколого-естетичні аспекти організації територій суспільного використання засобами зеленої інфраструктури. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2023. Вип. 39. С. 98-108. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-09>
14. Гололобов В. В., Коваль, І. М., Гололобова О. О. Ревіталізація регулярних ландшафтів експозиційної зони дендропарку Державного біотехнологічного університету. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2023. Вип. 40. С. 66–84. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-06>
15. Infociti. URL: <https://izvestia.kharkov.ua/obshchestvo/na-odnomu-z-prospektiv-kharkova-stvoriuit-velyku-klumbu-foto/>
16. Житомир.info. URL: [https://www.zhitomir.info/news\\_166170.html?fb\\_comment\\_id=1614410045249630\\_1615384621818839](https://www.zhitomir.info/news_166170.html?fb_comment_id=1614410045249630_1615384621818839)
17. Крижановская Н. Я., Вотінов М. А., Смірнова О. В. Основы ландшафтной архитектуры та дизайну : підручник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 348 с.
18. Вотінов М. А. Ландшафтна архітектура : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 73 с.

Стаття надійшла до редакції 24.01.2024

Стаття рекомендована до друку 27.03.2024

**O. O. GOLOLOBOVA**<sup>1</sup>, PhD (Agriculture),

Associate Professor of the Department of Environmental Monitoring  
and Protected Area Management

e-mail: [elena.gololobova@karazin.ua](mailto:elena.gololobova@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5558-2114>

**V. V. GOLOLOBOV**<sup>1</sup>,

PhD Student of the Department of Environmental Monitoring  
and Protected Area Management

e-mail: [vadim.gololobov@gmail.com](mailto:vadim.gololobov@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-0086-0303>

*V. N. Karazin Kharkiv National University,*

4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

## MODERN APPROACHES TO THE USE OF *BERBERIS THUNBERG* CULTIVARS FOR SUSTAINABLE LANDSCAPE DESIGN

**Purpose.** For the purposes of sustainable landscape design of the urban space, to substantiate new modern nature-oriented solutions for the use of dwarf cultivars of the *Berberis Thunberg* species.

**Methods.** Visual assessment, computer modeling and visualization.

**Results.** One of the aspects of realizing the goals of sustainable development, namely Sustainable development of cities and communities, is the rationalization of living space in cities. An integral part of this process is the aesthetic arrangement of territories, which ensures sustainable landscape design. The design of flower arrangements, flower beds can and should change, be updated, absorb new things. One of the ways of realizing such a context when creating permanent flower beds is the use of metal frame structures, which solve the task of creating a contrast with the colors of decorative plant compositions. The choice of the color of the metal frame should be subject to the thematic and landscape context. In order to give graphicness to decorative plant compositions from cultivars of *Berberis thunbergii* species, the expediency of horizontal contouring of the plant ornament with metal structures with a width of contour lines of 3–5% of the linear dimensions of the structure is shown. Modeling of structures was carried out using the program Realtime Landscaping Architect 2023.02, Trial Free Version. The use of the color solution, shape, texture of the modeled structures, the use of contour lighting of the decorative-but-foilage installation is substantiated. Cultivars of *Berberis Thunberg* are given, which are appropriate for use, the life span of which can reach 50 years under the conditions of performing the necessary minimum care.

**Conclusions.** The creation of permanent, aesthetically expressive flower beds and flower beds involves not only the use of environmentally friendly materials, but also the choice of local or adaptive decorative cultivars that provide all-season decorativeness, the absence of the need for annual renewal of plant material, artificial watering, and the creation of a habitat for pollinators and birds. The use of cultivars of the *Berberis Thunberg* species contributes to the creation of stable flower beds that are able to preserve their decorative characteristics for a long time.

The most harmoniously proposed compositions will be revealed in the presence of dynamic visual points, a deep perspective and a panoramic view.

**KEYWORDS:** *ornamental deciduous species, sustainable development, landscape, visual appeal, computer modeling, ornamental plant compositions, Butterfly module*

### References

1. Varivonchyk, A. (2022). Trends and prospects of landscape design. *Bulletin of the KNUKiM. Series: Art History*, 46, 221–227. <https://doi.org/10.31866/2410-1176.46.2022.258799> (in Ukrainian)
2. Hölscher, K., Frantzeskaki, N., Kindlon, D., Collier, M. J., Dick, G., Dziubała, A., Lodder, M., Osipiuk, A., Quartier, M., Schepers, S., Van De Sijpe, K. & van der Have, C. (2024). Embedding co-production of nature-based solutions in urban governance: Emerging co-production capacities in three European cities. *Environmental Science & Policy*, 152, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103652>
3. Mouratidis, K. (2019). The impact of urban tree cover on perceived safety. *Urban Forestry & Urban Greening*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126434>
4. Poje, M., Židovec, V., Prebeg, T. & Kušen, M. (2023). Does the Use of Perennials in Flower Beds Necessarily Imply Sustainability? *Plants*, 12, 4113. <https://doi.org/10.3390/plants12244113>
5. Kruize, H., Van Der Vliet, N., Staatsen, B., Bell, R., Chiabai, A., Muiños, G., Higgins, S., Quiroga, S., Martinez-Juarez, P., Aberg Yngwe, M. (2019). Urban Green Space: Creating a Triple Win for Environmental Sustainability, Health, and Health Equity through Behavior Change. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 4403. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224403>
6. Bele, A. & Chakradeo, U. (2021). Public Perception of Biodiversity: A Literature Review of Its Role in Urban Green Spaces. *J. Landsc. Ecol.* 14, 1–28. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2021-0008>

7. Poje, M., Vukelić, A. Han Dovedan, I. (2023). Perception of Flower Beds in Public. Green Areas. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. Vol. 78, 2, 125–129. Retrieved from <https://acs.agr.hr/acs/index.php/acs/issue/view/64>
8. Boyko, T. O., & Vorona, A. M. (2023). Analysis of the state of flower gardening in the city of Kropyvnytskyi and ways to improve it. *Bulletin of the Uman National University of Horticulture*, 2, 71–76. <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2023-2-71-76> (in Ukrainian)
9. Zhuang, J., Qiao, L., Zhang, X., Su, Y. & Xia, Y. (2021). Effects of Visual Attributes of Flower Borders in Urban Vegetation Landscapes on Aesthetic Preference and Emotional Perception. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 18, 9318. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179318>
10. Bondarchuk, O. O., & Oleshko, O. G. (2020). Principles of using ornamental deciduous shrubs in landscape gardening compositions. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Master's Students: Innovative technologies in agronomy, land management and landscape gardening*, November 20. Bila Tserkva: BNAU, 54–57. Retrieved from [https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/zbirnik\\_tez\\_agro\\_magistr\\_20.11.2020.pdf](https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/zbirnik_tez_agro_magistr_20.11.2020.pdf) (In Ukrainian)
11. Yakobchuk, O. M., & Kolesnichenko, O. V. (2013). The use of plants of the species and cultivars of the genus BERBERIS L. in the creation of a mono-garden. *Scientific reports of NUBiP*. 1 (37). Retrieved from [https://nd.nubip.edu.ua/2013\\_1/13yom.pdf](https://nd.nubip.edu.ua/2013_1/13yom.pdf) (in Ukrainian)
12. Proxima. Ornamental plants. Retrieved from <https://proxima.net.ua/barbaris-tunberga-berberis-thunbergii-inspiration.html>
13. Maksymenko, N. V. & Gololobova, O. O. (2023). Ecological and aesthetic aspects of the organization of public use areas by means of green infrastructure. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (39), 98–108. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-39-09> (in Ukrainian)
14. Gololobov, V. V., Koval, I. M., & Gololobova, O. O. (2023). Revitalization of regular landscapes of the Arboretum exposition zone of the State Biotechnology University. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (40), 66-84. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-06> (in Ukrainian)
15. Infociti. Retrieved from <https://izvestia.kharkov.ua/obshchestvo/na-odnomu-z-prospektiv-kharkova-stvoriti-velyku-klumbu-foto/>
16. Zhitomir.info Retrieved from [https://www.zhitomir.info/news\\_166170.html?fb\\_comment\\_id=1614410045249630\\_1615384621818839](https://www.zhitomir.info/news_166170.html?fb_comment_id=1614410045249630_1615384621818839)
17. Kryzhanovskaya, N. Y., Votinov, M. A. & Smirnova, O. M. (2019). Fundamentals of landscape architecture and design. Kharkiv: A. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy. (in Ukrainian)
18. Votinov, M. A. (2019). Landscape architecture. Kharkiv: A.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy. (in Ukrainian)

The article was received by the editors 24.01.2024

The article is recommended for printing 27.03.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-09>

УДК (UDC): 502.5:712.253]:911.375.1(477.84-25)

Л. П. ЦАРИК<sup>1</sup>, д-р географ. наук, проф.,  
завідувач кафедри геоєкології та методики навчання екологічних дисциплін  
e-mail [tsarykl@gmail.com](mailto:tsarykl@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0944-1905>

П. Л. ЦАРИК<sup>1</sup>, канд. географ. наук,  
доцент кафедри географії України та туризму  
e-mail: [pitertsaryk@gmail.com](mailto:pitertsaryk@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4503-4437>

<sup>1</sup>Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка,  
вул. М. Кривоноса, 2, м. Тернопіль, 46027, Україна

## ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «ЗАГРЕБЕЛЛЯ» В УРБАНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ м. ТЕРНОПОЛЯ: КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ, ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ

**Мета.** Розглянути проблему відсутності врегульованого нормативно-правового середовища, комплексних методик та системних практик оцінки екосистемних послуг в Україні.

**Результати.** На матеріалах регіонального ландшафтного парку (РЛП) «Загребелля» проведено оцінювання вартості екологічних послуг для урбоекосистеми Тернополя. Відзначено, що річна вартість екосистемних послуг складає 16 млрд 586 млн 627 тис. 610 грн. Для порівняння, річний бюджет м. Тернопіль складає 3,3967 млрд грн. (2024 р.). Таке порівняння є свідченням того, що вартість екосистемних послуг природних ландшафтів РЛП не тільки у 4,9 рази перевищує річний бюджет міста. Ці послуги безпосередньо споживаються людьми і передусім вигідні місцевим жителям, адже саме вони їх отримують, а якщо і продають далі – то стають посередником між екосистемами і кінцевими споживачами їхніх послуг. Грамотне використання цієї групи послуг є важливим вікном можливостей для кожної із територіальних громад.

**Висновки.** Україна стоїть перед потребою сучасної модернізації принципів сталого розвитку та включення в процеси розвитку управління екосистемами. Це може відбутися лише на основі залучення України до міжнародних тенденцій включення природних екосистемних послуг у механізми сталого розвитку, що потребує відповідної економічної оцінки цих послуг. У перспективі актуальним є імплементація категорії «екосистемна послуга» в законодавчі та інші нормативно-правові акти України та розвиток і впровадження плати за екосистемні послуги в практику бюджетного планування.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** екосистемні послуги, концепція, оцінювання

**Як цитувати:** Царик Л. П., Царик П. Л. Екосистемні послуги регіонального ландшафтного парку «Загребелля» в урбанізованому середовищі м Тернополя: концептуальні засади, підходи до оцінювання. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 123-131. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-09>

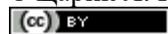
**In cites:** Tsaryk L. P., & Tsaryk P. L. (2024). Ecosystem services of "Zagrebella" regional landscape park in the urbanized environment of Ternopol: conceptual frameworks, approaches to assessment. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (41), 123-131. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-09> (in Ukrainian)

### Вступ

Регіональний ландшафтний парк «Загребелля» був одним із трьох, створених на Тернопільщині у 90-х роках минулого століття з ініціативи Миколи Чайковського – відомого дослідника природи Подільського краю. Проїшло більше 30-и років його функціонування і варто продемонструвати його значущість в межах міської екосистеми, зробивши це мовою цифр і розрахунків. В межах міст України знаходяться 5 регіональних

ландшафтних парків (РЛП): «Знесіння» – у Львові, «Загребелля» – у Тернополі, «Ялівщина» – у Чернігові, «Кагамлицький» – у Кременчузі, «Слов'янський курорт» – у Слов'янську та один національний природний парк «Голосіївський» – у Києві. Їх геоєкологічні функції в межах урбосистем описані багатьма дослідниками [1 – 6]. Зазвичай ми оцінюємо геоєкологічні функції природних комплексів (кліматорегулюючу, повітряочи

© Царик Л. П., Царик П. Л., 2024



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

сну, рекреаційну, естетичну, екологостабілізаційну тощо) [5].

Основою для оцінювання геоecологічних послуг послужили розробки проектів організації території регіональних ландшафтних парків «Знесіння» і «Загребелля» охорони, відтворення та рекреаційного використання їх природних комплексів та об'єктів, які фактично розроблено одночасно у 2013 році [4, 6, 7]. Проблема дослідження паркового комплексу «Знесіння» присвячена низка публікацій Завадович О., Койнової І., Ямелинця Т. [1, 2, 3]. Дослідженню природних комплексів РЛП «Загребелля» присвячені праці Царика Л., Чернюк Г., Царика П., Позняк І. [4 – 6]. Екосистемні послуги РЛП

«Знесіння» досліджено у колективній праці неурядової організації у 2019 році [7]. В публікаціях Штик Ю. В. [8 – 10] розглянуті питання розбудови категоріального апарату екосистемних послуг та обґрунтуванням їх обліку, що дало б забезпечити теоретичний фундамент формування концепції обліку, аналізу, контролю екосистемних послуг.

Об'єктом дослідження виступає міський РЛП «Загребелля» урбоекосистеми м. Тернополя на предмет оцінювання наданих ландшафтами парку екосистемних послуг населенню. Застосовано статистичний, картографічний, експертного оцінювання, метод аналогій тощо.

### Методика

Врахування екосистемних послуг (ЕП) необхідно проводити для оцінювання ролі живої природи у процесі еколого-соціально-економічного (сталого) розвитку [11 – 17]. Подув вітру, шелест листя, спів птахів, журчання струмка – ці звичні природні блага стають коштовнішими і необхідними на фоні динамічних урбанізаційних процесів. Ці блага природи отримали термінологічне визначення як екосистемні послуги.

Під **екосистемними послугами розуміють** – всі вигоди, які можна отримати від близького сусідства з природою. Від них безпосередньо залежить задоволення базових потреб людини у безпечному природному середовищі. Тому збереження природи є інвестицією у власний добробут. Важливо усвідомлювати, що інвестиції в охорону природи і збереження біорізноманіття на всіх рівнях сприятимуть не лише підтриманню стану самого довкілля, а й покращенню здоров'я, зростанню цін на нерухомість в місцях збережених ландшафтів тощо. Дефініція «екосистемні послуги» як наукова категорія є важливим елементом комплексної системи управління та показує взаємозв'язки між функціонуванням всіх природних екосистем, діяльністю суб'єктів підприємництва та суспільним добробутом. Категорія екосистемні послуги тісно пов'язана з такими категоріями і поняттями як природне середовище життєдіяльності, безпечне середовище життєдіяльності, потенціал природних систем. Поняття «екосистемні послуги» (ecosystem services) вперше запропонував англійський учений E.F. Schumacher у праці *Small is Beautiful: Economics as if People Mattered* (1973). Вивчаючи взаємозалежність людини і навколишнього середовища, він наводить термін «екосистемні (чи екологічні, чи

природні) послуги». У публікаціях Farley J. [18], Costanza R. [19], а також М. Лук'янчикова [20] екосистемні послуги визнано «економічною категорією, однак частково ототожненою з екосистемними функціями та екосистемними властивостями». Costanza R. [19] і Folke C. [21 –23], а також інші науковці [24, 25] ЕП вважають отриманням людських переваг від екосистемних функцій прямо чи опосередковано. Відповідно до рішення ООН Millennium Ecosystem Assessment [26], яке використовувався у наукових дослідженнях створено безпосередньо або опосередковано різними екосистемами для людських потреб.

У 2009 році в країнах ЄС розроблено визначення та поділ екосистемних послуг – the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) [27]. Виділяють чотири групи екосистемних послуг (ЕП):

- **забезпечувальні (provisioning services)** – послуги від продукції, наданої екосистеми: продовольство, поверхневі води, підземні води, питна вода, мінеральна сировина, деревина, волокно, паливо, генетичні ресурси [18, 28];
- **регулювальні (regulating services)** – послуги екосистемних процесів: формування і змін клімату, захист від повеней, паводків стихійних лих, запобігання захворювань, поглинання відходів людської життєдіяльності, очищення повітря, води, ґрунту, протидія шкідникам [25, 26];
- **культурні (cultural services)** – роль екосистем у забезпеченні культурних, духовних та естетичних сторін добробуту людей: емоції і натхнення від краси компонентів навколишнього природного середовища, вплив на формування способу життя, традицій і звичаїв [26];

- **підтримувальні (supporting services)** – послуги, щодо забезпечення основних екосистемних процесів: первинна біопродуктивність, біогеохімічні процеси (фотосинтез, кругообіг речовин та енергії), підтримання природного середовища [28].

Для вимірювання ЕП у національних масштабах країн ЄС розроблено індикатори для

### *Результати дослідження*

До *постачальних* послуг екосистем відносять сировину, продовольство, прісну воду, ґрунти та інші матеріальні блага, ціни на які визначають у грошовому еквіваленті і які мають реальну ринкову ціну. Дані послуги споживає населення і вони вигідні місцевим жителям, оскільки власне вони їх отримують. Продаж цих послуг зацікавленим особам надає право місцевим жителям стати посередниками між екосистемами і остаточними споживачами їхніх послуг. Виважене використання послуг даної групи є важливим аспектом потенційних можливостей для кожної із громад. В окремих громадах можуть мати прибутки від регулювання доступу до користування ОП (наприклад, надавати дозвільну документацію на розробку природних ресурсів місцевого значення: лісу, торфовищ, мінеральних ресурсів тощо) або ж надавати інфраструктурні послуги (приміром, надавати логістичні послуги з доставки потенційних користувачів у місця користування послугами). Жителі громад можуть виробляти необхідне спорядження або інструменти. Даною групою екосистемних послуг ми користуємося завжди свідомо. Створення відповідного попиту на товари, продукти й вироби із природних матеріалів і є опосередковано свідомим використанням екосистемних послуг. Враховуючи стабільність цієї групи екосистемних послуг, їх необхідно відслідкувати, облікувати, аналізувати і комунікувати. Невиснажливе споживання послуг екосистем та підтримуючи, стає природокористування громади отримають передбачувану перспективу.

До *регуляторних* екосистемних послуг відносять різноманіття процесів у екосистемах, які формують середовище існування живих організмів та людини. Це регуляція клімату, погодних умов, якості повітря, якості і кількості прісної води, процесів ґрунтоутворення та певна кількість процесів, які можна віднести до «середовищевірних». Усі ці екосистемні послуги оберігають процеси життєдіяльності від змін у довкіллі, стихійних лих, які негативно впливають на придатність природного середовища для життя. Монетизу-

вазових типів екосистем [наземних (лісових, аграрних, поверхневих вод) та морських] [24, 27, 29]. Таким чином, враховуються безпосередні зв'язки між екосистемними послугами і процесами природокористування, оскільки інтенсивність процесів природокористування впливають на формування спектру і якості екосистемних послуг.

ваги такого роду послуги неможливо. Користування більшістю з них є підсвідомим, оскільки ми живемо в середовищі, яке придатне для нашого проживання за рахунок функціонування природних екосистем. Натомість такі послуги відчуються нами тоді, коли вони вже втрачені. Використання послуг цієї групи не призводить до їх виснаження або збіднення. Загалом, збереження стійкості екосистем, щоб вони на перспективу не втрачали здатності надавати подібні послуги, а також культурні і соціальні послуги, надзвичайно важливе завдання підтримання життя на планеті.

*Культурні та соціальні послуги.* Такого роду послуги екосистем проявляються в наданні споживачам нематеріальних вигід та благ, які надсилає нам природа: можливість оздоровлення організму, духовного збагачення, натхнення для творчості у будь-якій сфері діяльності, формування ідентичності соціальних і етнічних груп. Не зважаючи на свідоме користування цією групою ЕП, всі вони є нематеріальними придатне для нашого проживання, тому оцінити їх вартість можливо опосередковано, оцінюючи можливість користування ними. Ці послуги невиснажливі в користуванні, однак їх популяризація може призвести до покращення якості життя громади у перспективі. Оберігаючи природні території, популярними серед відвідувачів, громада матиме стабільне поступлення капіталу за рахунок наявності на її території (збережених ландшафтів, які можна використовувати для організації, наприклад, зимових лижних трас для гірськолижників тощо).

*Послуги підтримання екосистем* Ця група екосистемних послуг є доволі складною для сприйняття. Ідеться про глобальні процеси у геосферах Землі (формування атмосферних процесів, протікання процесів колообігу речовин і енергії у природі кліматичних особливостей тощо). Глобальні процеси на геосферних та планетарному рівнях формують біорізноманіття, яке бере найактивнішу роль у протіканні цих процесів. Нам не завжди вдається відслідкувати різносторон-

ню користь від створення національного природного парку або від збереження якоїсь території невирубаного та нерозораного (заказника). Осушуючи водно-болотні угіддя нам було не зовсім зрозуміло, чому в прилеглих річкових басейнах знижується водність річок, пересихають потічки, відбуваються часті зміни водного балансу, погіршуються умови існування гідробіоценозів.

Крім того, за особливостями і характером споживання послуги екосистем поділяють на конкурентні та неконкурентні, а за ознакою усунення від споживання ресурсу – на виключні й невиключні у споживанні. Їх поділяють також на індивідуальні й глобальні. Приміром, зібрані людиною ягоди споживаються індивідуально, а регулювання лісами кліматичних особливостей стосується всіх людей. Відділити екосистемні послуги одну від одної неможливо. Потрапляючи в певну екосистему або в зону дії надаваних нею послуг, ми отримуємо «безкоштовний талон» на всі з них. Тобто ідучи до лісу за грибами, ми дихаємо чистим повітрям, просякнутим корисними для легеней ефірними маслами, насолоджуємось тишею, пташиним співом, лісовою прохолодою й вологішим мікрокліматом. Заразом можемо збирати ягоди, слухати спів птахів, зробити неймовірні фото. Така вже особливість ресурсних і культурно-соціальних екосистемних послуг: вони часто є самою можливістю їх споживати, ніж самим споживанням. Ми витрачаємо кошти на захоплення від пошуку ягід, а не на самі ягоди. Тож у деяких випадках культурна значущість використання певної ресурсної послуги може вийти на перший план та затьмарити її базову цінність. Так, у випадку збирання ягід і грибів вигоди для здоров'я та відпочинку є часто важливішими, ніж можлива економічна вигода від збору.

У разі неможливості вказати, яким чином монетизувати зазначену послугу, ми

вказуємо можливість оцінити важливість послуги – через ймовірні втрати й збитки від її недоотримання. Відсутність ринкових цін на послуги екосистем та біотичне і ландшафтне різноманіття вели до того, що блага, які від них отримуємо, зазвичай нами не враховувались або недооцінювались. Це, в свою чергу, вело до необдуманих дій, що не тільки згубно впливало на збереженні біотичного і ландшафтного різноманіття, а й на ступінь сприятливості природного середовища проживання населення, добробут людей. Занижена оцінка природних благ і геоекологічних послуг або навіть їх відсутність призводять до втрати конкурентоспроможності зелених насаджень, зелених зон населених пунктів.

На наступному етапі дослідження переходимо до оцінювання екосистемних послуг екосистем регіонального ландшафтного парку «Загребелля». У таблицях 1 і 2 наведено дані вартості екосистемних послуг природних територій за різними розрахунками і джерелами.

Структура земельних угідь РЛП «Загребелля» відображена у таблиці 3. Спробуємо продемонструвати покомпонентну і сукупну вартість екосистемних послуг у м. Тернопіль природних комплексів РЛП «Загребелля» і порівняти їх зі створеними виробничими і соціальними благами соціально-економічним комплексом міста. Відповідно до розрахунків на основі форми державної статистичної звітності № 6-зем, водно-болотні угіддя, лучний та лучно-степовий покрив РЛП «Загребелля» складають 38,57 га, площа водного плеса водосховища в межах Парку становить 306,6 га, лісовкриті ділянки займають 266,3 га.

На основі даних наведених таблиць та структури земельних угідь РЛП «Загребелля» можна поррахувати, що 1 га водно-болотних угідь надає екосистемних послуг на 66 825 грн впродовж року, а 1 га лісовкритих

Таблиця 1

## Водно-болотні угіддя і лучний покрив [4]

Table 1

## Wetlands and meadow cover [4]

Категорія угідь, природні компоненти, процеси Land category, natural components, processes	Вартість ЕП, дол/га/рік The cost of ES, dollars/hectare/year	Вартість ЕП, грн/га/рік The cost of ES, UAH/hectare/year
Контроль повеней / регуляція рівня води	464	11 600
Очищення води	288	7 200
Регуляція клімату	133	3 325
Оселище для біорізноманіття	214+201	10 375
Естетична інформація	881	22 025
Рекреація і туризм	492	12 300
Всього	2 673	66 825

Таблиця 2

## Деревний та чагарниковий покрив [4]

Table 2

## Tree and shrub cover [4]

Екосистемні послуги Ecosystem services	Вартість, дол/га/рік The cost, dollars/hectare/year	Вартість, грн/га/рік The cost, UAH/hectare/year
Збір пилу	3260	81 500
Регуляція клімату	800	20 000
Регуляція повеней	25	625
Забезпечення вологою	1000	25 000
Запилення	50	1 250
Депонування вуглецю	280	7 000
Боротьба з комахами-шкідниками	525 000	13 125 000
Стабілізація ґрунту, зменшення ерозії та вивітрювання	1 940 000	48 500 000
Збереження біорізноманіття	17 500	437 500
Всього	2 487 915	62 197 875

ділянок – 62 197 875 грн на рік. У результаті зазначаємо, що 310,0 га водно-болотних угідь надають сукупних екологічних послуг на суму 20 755 845 грн/рік. 30,57 га водно-болотних угідь та луків надають екосистемних послуг 2 577 440 грн на рік, а 266,3 га лісів – 16 563 294 311 грн на рік.

Отже, уся площа природних територій парку «Загребелля» надає щороку послуг на 16 586 627 610 грн. Якщо у Тернополі мешкає близько 217 тис. осіб, то на одного мешканця припадає 76336 , 967 грн. екосистемних послуг. Для порівняння, річний бюджет

м. Тернопіль складає 3,3967 млрд грн. (2024 р.). Зауважимо, що складова екосистемних послуг перевищує річний бюджет у 4,9 рази. Можливо це не зовсім вдале порівняння, однак при цьому відчувається «вага» екосистемних послуг у процесі узгодженого розвитку. Щоденний вклад екосистем РЛП у безкоштовні послуги для пересічного громадянина Тернополя складає 209 грн (76336,967 грн. на рік). З цього підрахунку видно, що найбільш вартісним ресурсом серед тих, які надає нам природа, є зовсім не традиційні природні ресурси.

Таблиця 3

## Структура земельних угідь РЛП "Загребелля"

Table 3

## The structure of land plots of RLP "Zagrebella"

Категорія земель Land category	Площа в межах об'єкту Area within the object	
	Га hectare	%
Землі сільськогосподарського призначення - всього	18,7	3,0
з них: сільгоспугіддя	18,7	3,0
з сільгоспугідь: - рілля	18,7	3,0
Землі лісового фонду - всього	144,3	22,9
з них: - ліси	144,3	22,9
Землі паркової зони - всього	156,4	24,8
Болота - всього	4,0	0,6
Водний фонд - всього	306,6	48,6
<b>РАЗОМ ЗЕМЕЛЬ:</b>	<b>630,0</b>	<b>100</b>

У 2018 році подібні розрахунки проведені для НПП «Голосіївський», у 2019 році оцінено екосистемні послуги РЛП «Знесіння» у Львові. Тим самим, подібного роду

оцінювання демонструють роль парків, паркових комплексів у сталому функціонуванні сучасних великих міст України.

### Висновки

Науковці України зайняті потребами сучасної модернізації принципів сталого розвитку та включенням у процеси розвитку екосистемного управління на засадах залучення до міжнародних тенденцій включення послуг природних екосистем у механізми сталого розвитку. При цьому необхідно провести відповідні економічні оцінки цих послуг. Окремі методичні підходи до оцінки деяких екосистемних послуг в нашій країні вже створені та застосовуються в контексті використання Кіотського протоколу. Проте, відсутність врегульованого нормативно-правового середовища, комплексних методик та системних практик оцінки екосистемних послуг, потребує прийняття таких заходів:

- імплементувати категорію «екосистемна послуга» до законодавчих нормативно-правових актів України, узгодивши їх з існуючими термінами нормативно-правового поля України;

- розробити та впровадити методичні рекомендації оцінки послуг різних екосистем (водних, лісових, лучних, аграрних) та рекомендувати на їх основі механізмів враху-

вання вартості екосистемних послуг в процесі сталого природокористування;

- провести інвентаризацію та типологію екосистемних послуг за основними типами екосистем, й видами послуг, приуроченістю до регіонів, природних зон, категорії споживачів тощо;

- сформувати комплексний реєстр екосистемних послуг;

- розробити та впровадити у практику бюджетного планування платежі за екосистемні послуги;

- створити інформаційний портал, щодо забезпечення можливості доступу споживачів усіх зацікавлених сторін до даних надання усіх видів екосистемних послуг.

Насамкінець варто зауважити, що тільки безпосередньо відпрацьована вартісна оцінка екосистемних послуг на різних рівнях та включення останніх у реальний ринковий обіг, зможуть стати надійним заходом формування дієвих механізмів запобігання подальшої деградації та поетапного відновлення як місцевих, так і регіональних, а через них і глобальних екосистем.

### Конфлікт інтересів

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

### Список використаної літератури

1. Завадович О. Аспекти і проблеми функціонування природоохоронних установ місцевого значення» (на прикладі регіонального ландшафтного парку «Знесіння» у Львові). *Проблеми і перспективи розвитку природоохоронних об'єктів на Розточчі: матеріали міжнар. наук.-практ. конф.* Львів: Логос, 2000. С.35-40.
2. Завадович О., Захарко Е., Швадчак Б., Ямелинець Т. Інформаційна система регіонального ландшафтного парку «Знесіння». *Геоінформаційні технології сьогодні: матеріали міжнар. наук.-практ. конф.* Львів, 1999. С. 37.
3. Койнова І., Завадович О. Особливості функціонування та можливості збалансованого розвитку регіонального ландшафтного парку «Знесіння». *Вісник Львівського університету. Серія географічна.* 2005. Вип. 32. С. 121-129. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/3231/3289>
4. Царик Л., Позняк І. До проблеми озеленення і ролі паркових комплексів у функціонуванні урбоекосистеми Тернополя. *Наукові записки ТНПУ. Серія: географія.* 2016, №1. С. 263-270. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg\\_2016\\_1\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2016_1_39)
5. Царик П.Л., Царик Л.П. Регіональний ландшафтний парк «Загребелля» у системі заповідного і рекреаційного природокористування. Монографія. Тернопіль: Ред.-вид. відділ ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2013. 186 с.
6. Чернюк Г., Царик Л., Царик П. Морфологічна структура ландшафтів РЛП "Загребелля" і їх трансформаційні зміни. *Наукові записки ТНПУ. Серія Географія.* №2. 2015. С.32-37. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg\\_2015\\_2\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2015_2_8)
7. Екосистемні послуги регіонального ландшафтного парку «Знесіння». Дослідження Львів, 2019. URL: <https://epi.org.ua/wp-content/uploads/2019/10/Ekosystemni-poslugy-RLP-Znesinnya.pdf>
8. Штик Ю.В. Особливості обліку екосистемних послуг в Україні. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету.* 2021. Т. 51 . № 5. С. 43-49. DOI: <https://doi.org/10.32841/2413-2675/2021-51-5>

9. Штик Ю.В. Особливості оцінки екосистемних послуг: формування інтегрального показника. 2021. URL: [https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/21709/1/t-k\\_23.04.21-170-173.pdf](https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/21709/1/t-k_23.04.21-170-173.pdf)
10. Штик Ю. В. Формування та розвиток ринку екосистемних послуг в Україні. *Економічний простір*. 2022, № 180. С. 159-162. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/180-26>
11. Василюк О., Львівська Л. Екосистемні послуги. Огляд. БО «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України», 2020. URL: [https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslugy\\_web\\_new.pdf](https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslugy_web_new.pdf)
12. Чеболда І. Ю., Кузик І. Р. Оцінка нематеріальних екосистемних послуг лісів Тернопільської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*, 2023. Вип. 28ю С. 91-100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-08>
13. Максименко Н. В., Воронін В. О., Бурченко С. В. Геоекологічна оцінка лісових ландшафтів як підґрунтя для визначення екосистемних послуг. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2023. Вип. 29. С.37-47. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-04>
14. Pistón N., Silva Filho D.S.E., Dias A.T.C. Social inequality deeply affects people's perception of ecosystem services and disservices provided by street trees. *Ecosystem Services*. 2022. Vol. 58. 101480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101480>
15. Варуха А. Огляд підходів з оцінки екосистемних послуг через призму їхнього застосування для визначення збитків, завданих військовими діями рф на території України. за заг. ред. О. Кравченко. Львів: «Компанія «Манускрипт», 2022. 56 с.
16. Lyu R., Zhao W., Pang J., Tian X., Zhang J., Wang N. Towards a sustainable nature reserve management: Using Bayesian network to quantify the threat of disturbance to ecosystem services. *Ecosystem Services* 2022. Vol. 58. 101483. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101483>
17. Казанцев Т., Халаїм О., Василюк О., Філіпович В., Крилова Г. Адаптація до змін клімату: зелені зони на варті прохолоди. К: Зелена Хвиля, 2016. 40 с. [https://www.researchgate.net/publication/323016606\\_Kazancev\\_T\\_Halaim\\_O\\_Vasiluk\\_O\\_Filipovic\\_V\\_Krilova\\_G\\_Adaptacia\\_do\\_zmin\\_klimatu\\_zeleni\\_zoni\\_na\\_varti\\_proholodi\\_-\\_K\\_Zelena\\_Hvila\\_2016\\_-\\_40\\_s](https://www.researchgate.net/publication/323016606_Kazancev_T_Halaim_O_Vasiluk_O_Filipovic_V_Krilova_G_Adaptacia_do_zmin_klimatu_zeleni_zoni_na_varti_proholodi_-_K_Zelena_Hvila_2016_-_40_s)
18. Farley J. Ecosystem services: The economics debate. *Ecosystem Services*. 2012. Vol. 1. N 1. P. 40-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.002>
19. Costanza R. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997. Vol. 387. P. 253-260. DOI: <https://doi.org/10.1038/387253a0>
20. Лукьянчиков Н.Н., Потравный И.М. Экономика и организация природопользования. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2011. 687 с
21. Folke C., Colding J., Olsson P. Hahn T. Integrated Social-Ecological Systems and Adaptive Governance of Ecosystem Services. In: Pretty, J., A. Ball, T. Benton, J. Guivant, D. Lee, D. Orr, M. Pfeffer and H. Ward (eds). *Sage Handbook on Environment and Society*, Chapter 37: 2007. P. 536-552. Sage Publications, London. <https://doi.org/10.4135/9781848607873>
22. Folke C. Resilience (Republished). *Ecology and Society* 2016. Vol.21. N 4. P.44. <https://doi.org/10.5751/ES-09088-210444>
23. Folke C., Haider J., Lade S., Norström A., J. Rocha. Resilience in Social-Ecological Systems: A Handful of Frontiers. *Global Environmental Change*. 2021. Vol. 71. 102400. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102400>
24. Finlayson C. M., Aladin N. V. Inland Water Systems. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. 2005. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/265038948>
25. Sedell J., Sharpe M., Dravnieks Apple D., Copenhagen M., Furniss M. Water and the Forest Service. FS-660. United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. 2000. Retrieved from [https://www.fs.fed.us/sites/default/files/legacy\\_files/media/types/publi\\_cation/field\\_pdf/water-forest-service-01-2000.pdf](https://www.fs.fed.us/sites/default/files/legacy_files/media/types/publi_cation/field_pdf/water-forest-service-01-2000.pdf)
26. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. Retrieved from <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
27. Structure of the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). 2024. Retrieved from <https://cices.eu/cices-structure/>
28. TEEB (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. Retrieved from [http://www.biodiversity.ru/programs/international/teeb/materials\\_teeb/TEEB\\_SynthReport\\_English.pdf](http://www.biodiversity.ru/programs/international/teeb/materials_teeb/TEEB_SynthReport_English.pdf)
29. ForCES – Forest Certification for Ecosystem Services – A groundbreaking pilot project to expand FSC's scope and relevance. 2014. Retrieved from <https://www.slideshare.net/CIFOR/fa-fsc-al>

Стаття надійшла до редакції 19.04.2024

Стаття рекомендована до друку 21.05.2024

L. P. TSARYK<sup>1</sup>, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Geocology and Methods of Teaching Environmental Disciplines  
e-mail [tsarykl@gmail.com](mailto:tsarykl@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0944-1905>

P. L. TSARYK<sup>1</sup>, PhD (Geography),

Associate Professor of the Department of Geography of Ukraine and Tourism  
e-mail: [pitertsaryk@gmail.com](mailto:pitertsaryk@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4503-4437>

<sup>1</sup>*Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,*  
2, Махума Kryvonosa str., Ternopil 46027, Ukraine

## ECOSYSTEM SERVICES OF "ZAGREBELLA" REGIONAL LANDSCAPE PARK IN THE URBANIZED ENVIRONMENT OF TERNOPOL: CONCEPTUAL FRAMEWORKS, APPROACHES TO ASSESSMENT

**Purpose.** To consider the problem of the lack of a regulated regulatory and legal environment, complex methods and systematic practices of ecosystem services assessment in Ukraine.

**Results.** The problem of the lack of a regulated regulatory and legal environment, complex methods and systematic practices of evaluating ecosystem services in Ukraine is considered. An assessment of the value of these services for the urban ecosystem of Ternopil was carried out using the materials of the regional landscape park "Zagrebellya". It was noted that the annual cost of ecosystem services is 16 billion 586 million 627 thousand 610 UAH. For comparison, the annual budget of Ternopil is UAH 3.3967 billion. (2024). Such a comparison is evidence that the cost of ecosystem services of natural landscapes of the RLP is not only 4.9 times higher than the annual budget of the city. These services are directly consumed by people and are primarily beneficial to local residents, because they are the ones who receive them, and if they sell them on, they become an intermediary between ecosystems and the end users of their services. Competent use of this group of services is an important window of opportunity for each of the territorial communities. In the future, it is important to implement the category "ecosystem service" in the legislative and other normative legal acts of Ukraine and to develop and implement payments for ecosystem services in the practice of budget planning.

**Conclusion.** Ukraine faces the needs of modern modernization of the principles of sustainable development and inclusion in the development processes of ecosystem management. It can take place only on the basis of Ukraine's involvement in international trends of inclusion of natural ecosystem services in the mechanisms of sustainable development, which requires an appropriate economic assessment of these services. In the future, it is important to implement the category "ecosystem service" in the legislative and other normative legal acts of Ukraine and to develop and implement payments for ecosystem services in the practice of budget planning.

**KEYWORDS:** *ecosystem services, concept, evaluation*

### References

1. Zavadovych, O. (2000). Aspects and problems of the functioning of nature conservation institutions of local importance" (on the example of the regional landscape park "Znesinnia" in Lviv). *Proceedings of the International Science and Practice Conf.: Problems and prospects of the development of nature conservation objects in Roztochchi*. Lviv: Logos, 35-40.
2. Zavadovych, O., Zakharko, E., Shvadchak, B., & Yamelynets, T. (1999). Information system of the regional landscape park "Znesinnia". *Proceedings of the International Science and Practice Conf.: Geoinformation technologies today*, Lviv. 37.
3. Koynova, I., & Zavadovych, O. (2005). Features of functioning and possibilities of balanced development of regional landscape park "Znesinnia". *Visnyk Lviv University. Series Geographical*, 32, 121-129. Retrieved from <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/3231/3289>
4. Tsaryk L., & Pozniak, I. (2016). To the problem of greening and the role of park complexes in the functioning of the urban ecosystem of Ternopil. *Scientific notes of TNPU. Series: Geography*, (1), 263-270. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg\\_2016\\_1\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2016_1_39)
5. Tsaryk, P.L., & Tsaryk, L.P. (2013). Regional landscape park "Zagrebellya" in the system of protected and recreational nature use. Monograph. Ternopil: Editorial and publishing department of TNPU named after V. Hnatyuk.
6. Chernyuk, A., Tsaryk, L., & Tsaryk, P. (2015). The morphological structure of the landscapes of the "Zagrebellya" RLP and their transformational changes. *Scientific notes of TNPU. Series Geography*, (2), 32-37. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg\\_2015\\_2\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUg_2015_2_8)
7. Ekosystemni poslugy rehionalnoho landshaftnoho parku «Znesinnia». Doslidzhennia. (2019). Lviv. Retrieved from <https://epl.org.ua/wp-content/uploads/2019/10/Ekosystemni-poslugy-RLP-Znesinnya.pdf>
8. Shtyk, Yu.V. (2021). Peculiarities of accounting for ecosystem services in Ukraine. *Scientific Bulletin of the International Humanitarian University*, 51(5), 43-49. <https://doi.org/10.32841/2413-2675/2021-51-5>

9. Shtyk, Yu. V. (2021). Peculiarities of assessment of ecosystem services: formation of an integral indicator. Retrieved from [https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/21709/1/t-k\\_23.04.21-170-173.pdf](https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/21709/1/t-k_23.04.21-170-173.pdf)
10. Shtyk, Yu. V. (2022). Formation and development of the ecosystem services market in Ukraine. *Economic space*, (180), 159-162. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/180-26>
11. Vasylyuk, O., & Ilminska, L. (2020). Ecosystem services. Review. BO "BF "Biodiversity Protection Fund of Ukraine". Retrieved from [https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslugy\\_web\\_new.pdf](https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslugy_web_new.pdf)
12. Chebolda I. Y., & Kuzyk, I. R. (2023). Assessment of intangible ecosystem services of the Ternopil region forests. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (28), 91-100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-08>
13. Maksymenko, N. V., Voronin, V. O., & Burchenko, S. V. (2023). Geoecological assessment of forest landscapes as a basis for the evaluation of ecosystem services. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (29), 37-47. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-04>
14. Pistón N., Silva Filho D.S.E., Dias A.T.C. Social inequality deeply affects people's perception of ecosystem services and disservices provided by street trees. *Ecosystem Services*. 2022. Vol. 58. 101480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101480>
15. Varukha, A. (2022). An overview of approaches to the assessment of ecosystem services through the prism of their application to determine the damage caused by the military actions of the Russian Federation on the territory of Ukraine. Lviv: "Manuscript Company". (In Ukrainian)
16. Lyu, R., Zhao, W., Pang, J., Tian, X., Zhang, J., & Wang, N. (2022). Towards a sustainable nature reserve management: Using Bayesian network to quantify the threat of disturbance to ecosystem services. *Ecosystem Services*, 58, 101483. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101483>
17. Kazantsev T., Halaim O., Vasylyuk O., Filipovych V., & Krylova G. (2016). Adaptation to climate change: green zones are worth the coolness. Kyiv: Green Wave. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/323016606\\_Kazancev\\_T\\_Halaim\\_O\\_Vasiluk\\_O\\_Filipovic\\_V\\_Krilova\\_G\\_Adaptacia\\_do\\_zmin\\_klimatu\\_zeleni\\_zoni\\_na\\_varti\\_proholodi\\_-\\_K\\_Zelena\\_Hvila\\_2016\\_-\\_40\\_s](https://www.researchgate.net/publication/323016606_Kazancev_T_Halaim_O_Vasiluk_O_Filipovic_V_Krilova_G_Adaptacia_do_zmin_klimatu_zeleni_zoni_na_varti_proholodi_-_K_Zelena_Hvila_2016_-_40_s)
18. Farley, J. (2012). Ecosystem services: The economics debate. *Ecosystem Services*. 1(1), 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.002>
19. Costanza, R. (1997). The value of the worlds ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
20. Lukyanchikov, N.N. (2011). Economy and organization of nature management. M.: UNITY-DANA.
21. Folke, C., Colding, J., Olsson, P. & Hahn, T. (2007). Integrated Social-Ecological Systems and Adaptive Governance of Ecosystem Services. In: Pretty, J., A. Ball, T. Benton, J. Guivant, D. Lee, D. Orr, M. Pfeffer and H. Ward (Eds). *Sage Handbook on Environment and Society*, Chapter 37: 536-552. Sage Publications, London. <https://doi.org/10.4135/9781848607873>
22. Folke, C. (2016). Resilience (Republished). *Ecology and Society*, 21(4), 44. <https://doi.org/10.5751/ES-09088-210444>
23. Folke, C., Haider, J., Lade, S., Norström A., & J. Rocha. (2021). Resilience in Social-Ecological Systems: A Handful of Frontiers. *Global Environmental Change*. Vol. 71. 102400 <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102400>
24. Finlayson, C. M., & Aladin, N. V. (2005). Inland Water Systems. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/265038948>
25. Sedell, J., Sharpe, M., Dravnieks Apple, D., Copenhagen, M., & Furniss, M. (2000). Water and the Forest Service. FS-660. United States Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. Retrieved from [https://www.fs.fed.us/sites/default/files/legacy\\_files/media/types/publi\\_cation/field\\_pdf/water-forest-service-01-2000.pdf](https://www.fs.fed.us/sites/default/files/legacy_files/media/types/publi_cation/field_pdf/water-forest-service-01-2000.pdf)
26. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. Retrieved from <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
27. Structure of the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). (2024). Retrieved from <https://cices.eu/cices-structure/>
28. TEEB (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. Retrieved from [http://www.biodiversity.ru/programs/international/teeb/materials\\_teeb/TEEB\\_SynthReport\\_English.pdf](http://www.biodiversity.ru/programs/international/teeb/materials_teeb/TEEB_SynthReport_English.pdf)
29. ForCES – Forest Certification for Ecosystem Services – A groundbreaking pilot project to expand FSC's scope and relevance. (2014). Retrieved from <https://www.slideshare.net/CIFOR/fa-fsc-al>

The article was received by the editors 19.04.2024

The article is recommended for printing 21.05.2024

**СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-10>

УДК(UDC): 630\*561.24

**І. М. КОВАЛЬ**, д-р. с.-г. наук, ст. наук. співроб.

Провідний науковий співробітник сектору екології лісу відділу лісівництва  
та економіки лісового господарства<sup>1</sup>

Професорка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи<sup>2</sup>

e-mail: [Koval\\_Iryna@ukr.net](mailto:Koval_Iryna@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

<sup>1</sup>Український науково-дослідний інститут лісового господарства та  
агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

вул. Григорія Сковороди, 86, м. Харків, 61024, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Майдан Свободи, 6, м. Харків, 61022, Україна

**A. BRÄUNING**, д-р географ. наук, проф.

Професор кафедри географії та природничих наук

e-mail: [achim.braeuning@fau.de](mailto:achim.braeuning@fau.de) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3106-4229>

Інститут географії при Університеті ім. Фрідріха-Олександра міст Ерлангена та Нюрнберга  
Веттеркреуз 15, 91058, Ерланген, Німеччина

**ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА РАДІАЛЬНИЙ ПРИРІСТ *PINUS SYLVESTRIS* L.  
ТА *QUERCUS ROBUR* L. В НАСАДЖЕННЯХ ЗЕЛЕНОЇ ЗОНИ М. ХАРКІВ<sup>1</sup>**

**Мета.** Виявлення особливостей реакції радіального приросту сосни звичайної (*Pinus Sylvestris* L.) та дуба звичайного (*Quercus robur* L.) на зміну клімату в лісостеповій зоні України.

**Методи.** Застосовано дендрохронологічні, дендрокліматологічні, статистичні методи. Використано програми COFESHA та ARSTAN.

**Результати.** Дослідження проведено в 100-річних насадженнях дуба звичайного та сосни звичайної в Південному лісництві (Лівобережний Лісостеп). Порівняно реакцію радіального приросту дерев на зміну клімату для 1960-1987 та 1988-2016 рр. Для дендрокліматичного аналізу використано гідротермічні показники де Мартонне, гідротермічний коефіцієнт Селянинова, індекс аридності лісів та гідротермічний коефіцієнт  $O_1$ . Також використано показники відносної вологості, які є похідними від температури та опадів. Виявлено, що у другому періоді підвищилася чутливість реакції радіального приросту дерев до варіацій клімату, що свідчить про деяке ослаблення насаджень у зв'язку з підвищенням температур. Дендрокліматичний аналіз *Pinus sylvestris* L. та *Quercus robur* L. показав, що при порівнянні відгуку радіального приросту дерев до варіацій клімату у 1960-1987 рр. та 1988-2016 рр., стан як сосни так і дуба послабився, про що свідчить збільшення значущих коефіцієнтів кореляції між індексами приросту і кліматичними чинниками.

**Висновки.** Сосна виявилася більш чутливою до зміни клімату порівняно з дубом. Водночас ці породи дерев на даному етапі змогли адаптуватися до зміни клімату, про що свідчать деревно-кільцеві хронології, які показують стабільний приріст упродовж 2010-2016 рр.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** дуб звичайний, сосна звичайна, зміна клімату, гідротермічні коефіцієнти, відносна вологість

**Як цитувати:** Коваль І. М., Bräuning A. Вплив зміни клімату на радіальний приріст *Pinus Sylvestris* L. та *Quercus Robur* L. в насадженнях зеленої зони м. Харків. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 130-142. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-10>

**In cites:** Koval I. M., & Bräuning A. (2024). The effect of climate change on the radial growth of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus robur* L. in the stands of Kharkiv green zone. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (41), 130-142. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-10> (in Ukrainian)

© Коваль І. М., Bräuning A., 2024



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

<sup>1</sup> Дослідження виконане за проектом «Radial growth of Scots pine and Scots oak in the Forest Steppe of Ukraine» із грантовою підтримкою Університету ім. Фрідріха-Олександра міст Ерлангена та Нюрнберга

### Вступ

Клімат Землі швидко змінюється, тому важливо оцінити ймовірний вплив зміни клімату на вразливі екосистеми по всьому світу. Ліси містять найбільший у світі наземний басейн вуглецю і є основним поглиначем, який зменшує накопичення вуглекислого газу в атмосфері. Зміна клімату, ймовірно, призведе до суттєвих змін у структурі та функціях лісів [1].

Вплив мінливості клімату на ліси можна якнайкраще оцінити за кільцями дерев, які дуже чутливі до змін умов навколишнього середовища. Проте існують суперечливі дані щодо реакції лісів на зміну клімату. Кліматичні зміни в останні десятиліття та в найближчі роки можуть стати серйозною загрозою для лісів світу та їх ролі як потенційних поглиначів вуглецю, тому в майбутньому необхідні узгоджені дослідження, щоб підтвердити динаміку росту лісів у зв'язку зі зміною клімату та їх адаптацію до цієї зміни [2].

В 2023 році опубліковано новий кліматичний звіт [3], у якому говориться, що з усіх континентів Землі, саме Європа нагрівається вдвічі швидше за інші частини світу. Дані дослідження свідчать про те, що починаючи з 1980-х років, температура тут підвищилася на 1,2°C. Однією з найбільш важливих функцій лісів є кліматорегулювальна. Найбільш відчутними є впливи на температуру повітря, ґрунту, вологість, швидкість вітру, рухомість повітряних мас, зниження шуму, очищення повітря від пилегазових викидів та ін., а також як головний наземний поглинач парникових газів [4]. Зміна клімату характеризується як підвищенням температури так і зміною режиму опадів. Відповідно, екстремальні кліматичні явища, такі як сильні посухи, зросли за частотою та інтенсивністю, і ця тенденція, за прогнозами, збережеться в майбутньому [5].

### Об'єкти та методи дослідження

Керни сосни відібрано в Південному лісництві (квартал 159, вид. 2) в чистому основному насадженні (широта 50°03'27"N 36°21'08"E (50,0575690; довгота 36,3524113). Для насадження характерні такі показники:  $H_{\text{сер.}}=24$  м,  $D_{\text{сер.}}=42$  см, клас бонітету II, тип лісу В<sub>2</sub>-дС (свіжа соснова-дубова субір), повнота 0,6, запас деревини на 1 га 310 м<sup>3</sup>.

Дендрохронологія (вивчення кілець дерев) надає важливу інформацію для реконструкції клімату в минулому та оцінки впливу кліматичних змін і антропогенних порушень на ріст дерев. Кільця дерев, якщо розглядати їх як часові ряди річних приростів, представляють цінний довгостроковий запис росту дерев у багатьох лісових середовищах. Види дерев унікальні у своїй реакції на умови довкілля і можуть бути використані як відбиток недавніх кліматичних змін і природний архів минулого клімату. Вплив зміни клімату на ліси світу є дискусійним питанням. Існує невизначеність щодо того, чи можуть підвищення температури та зміна схеми опадів посилити чи зменшити ріст та продуктивність лісів. Зміна температури та опадів і швидкість цих змін є одними з найважливіших факторів зміни клімату. Є сенс аналізувати температуру й опади одночасно. Параметри, в яких є математичний коефіцієнт/співвідношення опадів (або значень вологості повітря) і температури, відомі як індекси посушливості та використовуються як міра посушливості. Таким чином, індекси посушливості є важливими не тільки як індикатори росту рослин, але також можуть розглядатися як важливі індикатори змін клімату [2, 6, 7].

Дослідженням впливу варіацій клімату на радіальний приріст дуба звичайного та сосни звичайної в Україні присвячена низка досліджень [8, 9].

Дослідження є продовженням досліджень реакції радіального приросту сосни звичайної та дуба звичайного на варіації клімату [10, 11].

Мета – виявлення особливостей реакції радіального приросту сосни звичайної (*Pinus Sylvestris* L.) та дуба звичайного (*Quercus robur* L.) на зміну клімату в лісостеповій зоні України.

Керни дубу відібрано в 100-річних чистих дубових насадженнях вегетативного походження Південного лісництва (кв. 116, вид. 9) (50°05'31"N 36°17'40"E., або 50,0920616, 36,2944293).  $H_{\text{сер.}}$  становить 25 м,  $D_{\text{сер.}}$  – 40 см. Бонітет II. Тип лісу (ТЛУ) Д<sub>2</sub>-кл.Д (Свіжа кленово-липова діброва). Повнота – 0,60, запас – на 1 га 270 м<sup>3</sup>.

Використано дані Харківської метеостанції, розташованої в аеропорту (49°55'N 36°17'E, висота на рівнем моря 152 м). Клімат помірно-континентальний із середньорічною температурою повітря 8,1 °C і середньорічною кількістю опадів 558 мм.

Застосовано стандартні дендрохронологічні методики [7, 12, 13]. Керни було відібрано буровом Преслера на висоті 1,3 м від кореневої шийки. З кожної біогрупи в сосновому та дубовому насадженні було відібрано по 20 зразків. Шари річної, ранньої та пізньої деревини виміряно за допомогою стереомікроскопу та цифрового приладу для вимірювання деревних кілець LINTAB з використанням програми TSAP з точністю 0,01 мм в дендрохронологічній лабораторії Інституту географії при Університеті ім. Фрідріха-Александра міст Ерлангена та Нюрнберга в Німеччині. Методом скелетних графіків проведено перехресне датування за допомогою якого встановлено календарну дату формування для кожного деревного кільця. Якість датування перевірено за допомогою програми COFESHA. На базі індивідуальних деревно-кільцевих хронологій створені локальні хронології шляхом осереднення індивідуальних хронологій сосни та дубу. Біологічна (вікова) складова, тобто некліматичний тренд було видалено з деревно-кільцевих хронологій за допомогою програми ARSTAN, тобто було проведено стандартизацію деревно-кільцевих хронологій. Отримано три індексних деревно-кільцевих хронологій: STANDART, RESIDUAL, ARSTAN.

Під час обчислення STANDART хронології використано негативну експоненту. Ця версія обчислюється за формулою:

$$\text{Index}(t) = R(t) / Y(t), \quad (1)$$

де  $Y(t)$  – очікуваний річний приріст, визначений із апроксимованої кривої;  $R(t)$  – величина кільця поточного року.

Без авторегресійного аналізу створюється тільки ця версія хронології. Версія хронології RESIDUAL обчислюється таким самим способом, що і стандартна, але використовується однімірне авторегресійне моделювання. Хронологію ARSTAN обчислено на основі коефіцієнтів авторегресії, отриманих під час багатомірного авторегресійного моделювання. Ми використали хронологію RESIDUAL, яка показала найкращі результати при дендрокліматичному аналізі.

Для виявлення зв'язків між радіальним приростом дерев та кліматичними чинниками використано кореляційний аналіз. Для дендрокліматичного аналізу застосовано гідротермічні коефіцієнти [6]. Найбільш відомим параметром посушливості є індекс посушливості Де Мартонне ( $DM$ ). Цей індекс можна розрахувати для різних часових масштабів, таких як місяці, сезони та роки. Індекс  $DM$  використовується в усьому світі для визначення умов сухого/вологого клімату будь-якого даного регіону або регіонів. Річні та місячні значення індексу посушливості  $DM$ ,  $Ia_{DM}$  та  $Im_{DM}$ , можуть бути представлені рівняннями 2 та 3 відповідно:

$$Ia_{DM} = \frac{Pa}{Ta + C'} \quad (2)$$

$$Im_{DM} = \frac{Pm}{Tm + C'} \quad (3)$$

де  $Pa$  та  $Pm$  – річна та місячна кількість опадів,  $Ta$  та  $Tm$  – середні річні та місячні температури повітря та  $C' = 10$  °C – константа Де Мартонне.

Гідротермічний коефіцієнт зволоження Г.Т. Селянінова (ГТК) – це сума опадів за період, коли середньодобова температура повітря вище +10° C поділена на суму активних температур за той же період, коли температури перевищували +10° C, зменшена в 10 разів.

Розраховується за формулою:

$$\text{ГТК} = R / 0,1 \sum T \quad (4)$$

де  $R$  – кількість опадів за період з температурою вище 10;

$\sum T > 10^\circ$  – сума активних температур вище 10°C.

Цей показник має перевагу над іншими і характеризує не тільки прибуткову частину водного балансу (опаді), а й непродуктивну витрату вологи (випаровуваність з поверхні ґрунту, рослинності). ГТК є достовірним показником зволоження в тих районах, для яких характерний однорідний тип річного ходу опадів. Окрім того, він об'єктивний і працює в достатньо широкому діапазоні сполучень температури та опадів.

Індекс аридності лісів (Forestry Aridity Index,  $FAI$ ) визначається як

$$FAI = Cg \cdot T_{VII-VIII} / (P_{V-VII} + P_{VII-VIII}) \quad (5)$$

Де  $T_{VII-VIII}$  – середня температура в липні та серпні в °C,  $P_{V-VII}$  – сума опадів з травня по липень та  $P_{VII-VIII}$  – сума опадів для

липня-серпня, в мм та  $Cg - 100 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}$  є константою. Вводячи константу  $Cg$  з розмірністю, FAI втратив свою розмірність і став «істинним» індексом, тобто безрозмірним числом. FAI може бути дуже хорошим інструментом для представлення кліматичних умов під час щорічного росту лісу, що особливо важливо для тих, хто займається лісовим і сільським господарством [6].

Для характеристики умов довкілля можна також використовувати комплексні кліматичні показники – співвідношення температури повітря і кількості опадів за гідрологічний рік, який починається з жовтня попереднього року і закінчується у вересні поточного року:

### Результати дослідження

При порівнянні середньорічних температур за 1960-1987 та 1988-2016 рр. виявлено збільшення температур у другому періоді на  $14^{\circ}\text{C}$  (14%) та відповідно збільшення кількості опадів на 42 мм (7%) (рис. 1). Тобто у першому періоді середньорічна температура становила  $7,47 \pm 0,18$ , а у другому періоді –  $8,68 \pm 0,16$ . Кількість опадів збільшилася у другому періоді на 42 мм (7%). Отже, у

$$O_I = t_o \cdot 100 / V_o \quad (6)$$

де  $O_I$  – гідротермічний коефіцієнт;  $t_o$  – температура за гідрологічний рік ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $V_o$  – сума опадів (мм) за той же період.

Відносну вологість, що є інтегральним показником, який відображає співвідношення тепла та вологи, також використано для дендрокліматичного аналізу.

Температури та опади обчислено за гідрологічний рік, тобто з жовтня попереднього року по вересень поточного. Норму опадів та температур за різні періоди гідрологічного року обчислювали як середнє за 1960-2016 рр.

першому періоді випало  $536,74 \pm 20,02$ , а у другому –  $578,69 \pm 18,30$  (рис. 1). Збільшення опадів відбувалося нерівномірно по сезонам року. Так в теплий період (упродовж квітня-серпня) кількість опадів збільшилася на 18 мм (7%) у другому періоді порівняно з першим, а упродовж холодного періоду, коли відбувається вологонакопичення в ґрунті навпаки зменшилася на 21 мм (11%).

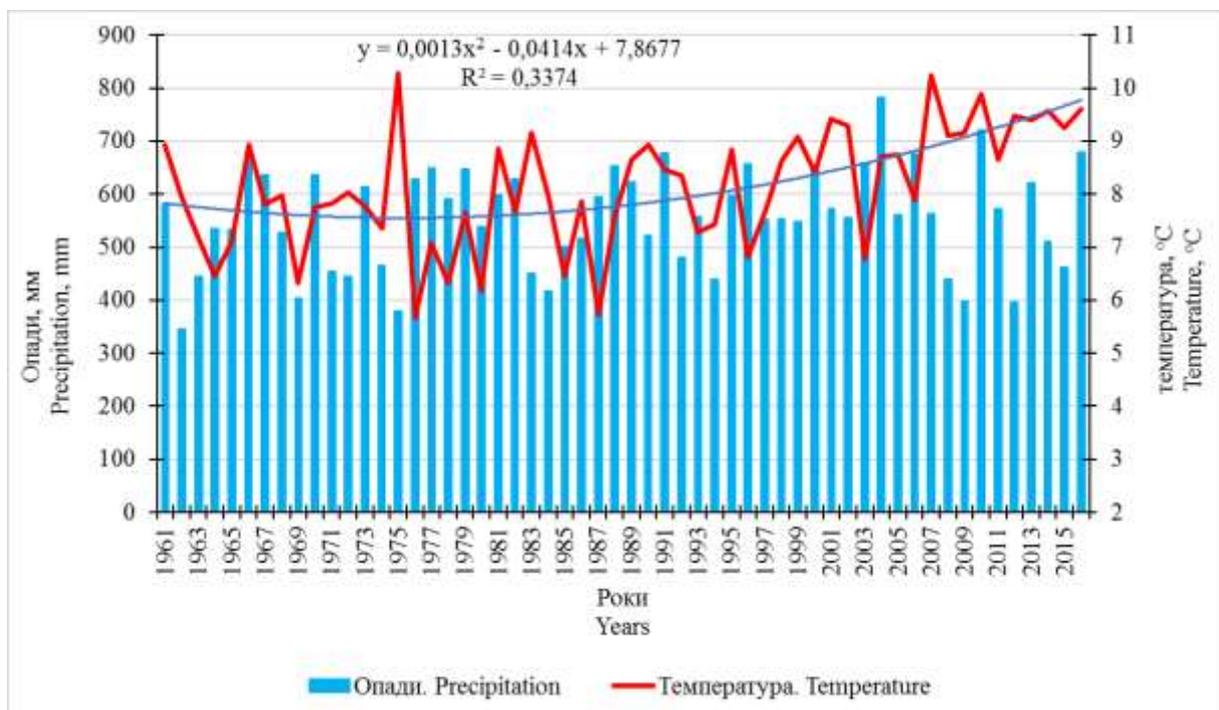
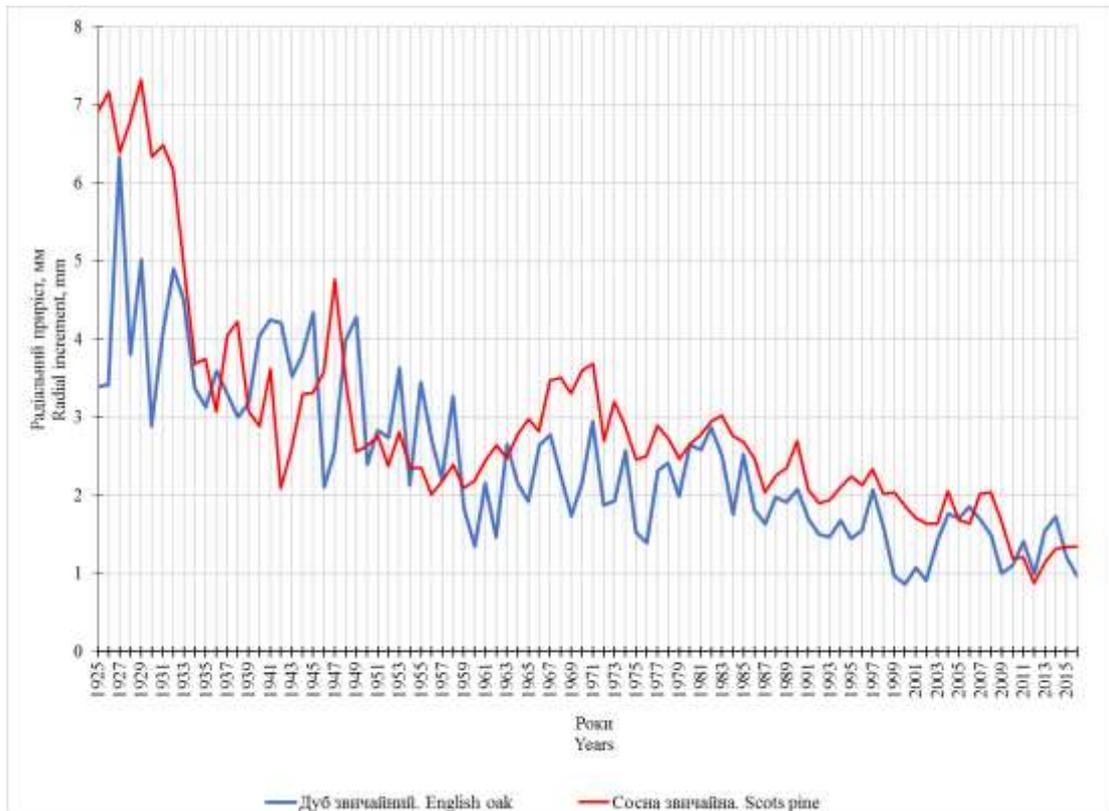


Рис. 1 – Динаміка середніх температур та сум опадів за гідрологічний рік за даними Харківської метеостанції

Fig. 1 – Dynamics of average temperatures and amounts of precipitation for the hydrological year according to the data of the Kharkiv weather station

Між локальними деревно-кільцевими хронологіями дубу та сосни виявлена висока синхронність ( $r=0,71\pm 0,07$ ,  $\alpha_{0,05}=0,001$ ). Встановлено загальні роки мінімального приросту для обох хронологій: 1930, 1969, 1969, 1975-1975, 1976, 2009, та 2012 рр. і максимального приросту: 1941, 1958, 1967, 1971, 1998 рр. У роки депресії

радіального приросту дерев опадів спостерігалось менше на 27-32% від норми, а температури перевищували норму на 22-26%. При цьому норма опадів за 1960-2016 рр. становила 555 мм, а для температур – 8,1°C. Роки максимального приросту характеризувалися сприятливим для росту дерев тепла та вологи (рис. 1, 2).



**Рис. 2** – Динаміка локальних деревно-кільцевих хронологій дуба звичайного та сосни звичайної в насадженнях Лівобережного Лісостепу

**Fig. 2** – Dynamics of local tree-ring chronologies of English oak and Scots pine in the stands of the Left Bank Forest Steppe

Проведено кореляційний аналіз між індексами ранньої, пізньої, річної деревини та гідротермічними показниками, який. Найменш чутливою до гідротермічного режиму виявилася рання деревина для деревно-кільцевої хронології дуба звичайного порівняно з пізньою та ранньою деревиною. Сосна виявилася більш чутливою до кліматичних варіацій порівняно з дубом, про що свідчить найбільша кількість значущих зв'язків між індексами радіального приросту та гідротермічними коефіцієнтами (табл. 1).

Як для дуба звичайного, так і для сосни звичайної виявлено, що чутливість

насаджень у 1998-2016 рр. збільшилася порівняно з попереднім періодом (1960-1987 рр.), про що свідчать значущі кореляції між індексними деревно-кільцевими хронологіями. Найбільш інформативним гідротермічним показником виявився ГТК Селянинова, який виявив значущий вплив температур та опадів упродовж вегетаційного періоду на пізню та річну деревину упродовж 1987-2016 рр., водночас для сосни цей вплив встановлено у першому періоді (1960-1987 рр.) для ранньої деревини та у другому періоді для ранньої та річної

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції між індексами ранньої та пізньої та річної деревини дуба звичайного і сосни звичайної і гідротермічними коефіцієнтами

Table

Correlation coefficients between indices of early and late and annual wood of English oak and Scots pine wood and hydrothermal coefficients

Індекси деревно-кільцевих хронологій Indexes of tree-ring chronologies	Гідротермічний коефіцієнт де Мартонне за квітень-вересень Hydrothermal coefficient of de Martonne for April-September			
	Дуб звичайний English oak		Сосна звичайна Scots pine	
	1960-1987 pp.	1988-2016 pp.	1960-1987 pp.	1998-2016 pp.
Пізня деревина Late wood	-0,19	0,39	0,19	<b>0,39*</b>
Рання деревина Early wood	-0,18	0,14	0,18	0,07
Річна деревина Annual wood	-0,24	<b>0,38*</b>	0,24	0,32
ГТК (гідротермічний коефіцієнт) Селянінова GTK (hydrothermal coefficient) Selyaninov				
Пізня деревина Late wood	0,21	<b>0,39*</b>	0,32	-0,03
Рання деревина Early wood	-0,24	0,14	<b>0,39*</b>	<b>0,54*</b>
Річна деревина Annual wood	0,15	<b>0,38*</b>	0,07	<b>0,44*</b>
Індекс аридності лісів, ІАЛ Forestry Aridity Index, FAI				
Пізня деревина Late wood	0,02	0,33	0,04	<b>0,38*</b>
Рання деревина Early wood	0,01	0,05	<b>0,42*</b>	0,19
Річна деревина Annual wood	0,01	0,30	0,32	0,13
Гідротермічний коефіцієнт O <sub>1</sub> Hydrothermal coefficient O <sub>1</sub>				
Пізня деревина Late wood	0,35	<b>0,43*</b>	<b>-0,41*</b>	-0,18
Рання деревина Early wood	0,12	0,01	-0,01	-0,32
Річна деревина Annual wood	0,29	0,35	<b>-0,45*</b>	0,07

Примітка: \* – достовірність на рівні 0,05 значущості

Note: \* – significance at the 0.05 level

Гідротермічний коефіцієнт O<sub>1</sub>, який відображає гідротермічні умови з жовтня попереднього року по вересень поточного, показав, що чутливість дубу до варіацій клімату у другому періоді збільшилася. Щодо сосни – то необхідно зауважити, що у першому періоді цей вплив виявився значущим негативним, а у другому періоді цей вплив пом'якшився.

Проведено кореляційний аналіз між деревно-кільцевими хронологіями всіх видів деревини та відносною вологістю за квітень-серпень, за гідрологічний рік, за холодний період (листопада попереднього року по

березень поточного). Встановлено, що позитивний вплив відносної вологості для дубу звичайного спостерігався для пізньої та річної деревини, а також для пізньої деревини сосни звичайної у 1962-1987 pp. У наступних 1998-2016 pp. ці позитивні кореляції стали незначущими, тобто позитивний вплив відносної вологості зменшився. Для відносної вологості За холодний період значущого впливу відносної вологості на радіальний приріст не встановлено, водночас знайдено позитивний вплив температур на пізню деревину сосни для першого періоду (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції між індексами ранньої та пізньої та річної деревини дубу звичайного і сосни звичайної і відносною вологістю

Table 2

Correlation coefficients between indices of early and late and annual wood of English oak and Scots pine wood and relative humidity

Індекси деревно-кільцевих хронологій Indexes of tree-ring chronologies	Відносна вологість за квітень-серпень Relative humidity for April-August			
	Дуб звичайний English oak		Сосна звичайна Scots pine	
	1962-1987 pp.	1988-2016 pp.	1962-1987 pp.	1998-2016 pp.
Пізня деревина Late wood	<b>0,47*</b>	0,35	<b>0,54*</b>	0,17
Рання деревина Early wood	0,09	0,18	-0,04	0,32
Річна деревина Annual wood	<b>0,43*</b>	0,35	0,37	0,40
Відносна вологість за гідрологічний рік Relative humidity for hydrological year				
Пізня деревина Late wood	0,37	0,34	<b>0,51*</b>	0,15
-0,04 Рання деревина 0,51* Early wood	-0,04	0,09	-0,04	0,11
Річна деревина Annual wood	0,33	0,31	0,39	0,28
Відносна вологість за холодний період (з листопада попереднього року по березень поточного року) Relative humidity during the cold period (from November of the previous year to March of the current year)				
Пізня деревина Late wood	0,35	0,33	0,14	0,12
Рання деревина Early wood	0,16	0,15	0,02	-0,03
Річна деревина Annual wood	0,30	0,35	0,17	0,11

## Обговорення

Посуха згадується як основна проблема в букових лісах Сербії, тому проведена ідентифікація посух за допомогою індексу лісової посушливості (FAI), щоб дослідити їх вплив на ліси в Сербії. Виявлено статистично значущий зв'язок між FAI та шириною кілець для бука звичайного (*Fagus Sylvatica* L.). В наших дослідженнях виявлено позитивний зв'язок між FAI і ранньою та пізньою деревиною сосни, а в дослідженнях сербських вчених – вплив на приріст дерев виявився негативним [14].

Дослідження деревно-кільцевих хронологій *Pinus nigra* (Болгарія) [15] виявили чутливість до літньої посухи та підвищення

літніх температур як в рік формування річного кільця, так і попереднього року. При цьому дослідженні використано гідротермічний коефіцієнт Пальмера. В наших дослідженнях виявлено зміну чутливості радіального приросту дерев до клімату за допомогою гідротермічних коефіцієнтів Селянинова, де Мартонне та клімату аридності лісів. Виявлено, що у 1988-2016 pp. порівняно з 1960-1987 pp. збільшилася чутливість до співвідношення тепла та вологи в поточному році формування річного кільця. При цьому більш чутливою до зміни клімату виявилася сосна в порівнянні з дубом. Погодні умови попереднього року та поточного відображає

коефіцієнт  $O_1$ , який показав, що чутливість шарів пізньої деревини дубу збільшилася у другому періоді порівняно з першим, а для сосни навпаки – зменшилася.

Khaleghi M.R. [12] з Ірану обчислив індекс де Маргонне для вивчення впливу посух на радіальний приріст дерев для періоду з березня по вересень. В наших дендрокліматичних дослідженнях ми теж успішно використали цей індекс для вегетаційного періоду (упродовж квітня-серпня). Водночас річні дані застосовані для обчислення цього індексу не змогли виявити суттєвий вплив цього показника на радіальний приріст дерев.

Індексні деревно-кільцеві хронології *Pinus tabulaeformis* позитивно корелюють з опадами та відносною вологістю, але негативно корелюють з температурою упродовж вегетаційного періоду. Відносна вологість контролюється кількістю опадів і температурою [16]. Ми теж отримали позитивний вплив відносної вологи на сосну і дуб

упродовж першого періоду, у другому періоді цей зв'язок послабився.

Аналіз реакції між шириною деревного кільця та кліматичними змінними був застосований для виявлення змін у реакції дерев шляхом порівняння двох 25-річних періодів на окремих ділянках лісу в Баварії (Німеччина) [17]. Результати показали, що сосна звичайна (*Pinus sylvestris*) виявилася найбільш вразливою та найменш посухостійкою з усіх досліджених порід дерев (вивчалися ялина звичайна (*Picea abies*) і бук звичайний (*Fagus sylvatica*). В наших дослідженнях кореляційний аналіз радіального приросту дерев з гідротермічними коефіцієнтами виявив, що сосна більш чутлива до посух порівняно з дубом. Всі породи дерев виявили вищу чутливість до посухи за останні 25 років. Кореляції з добовими кліматичними змінними підтвердили, що навіть короточасні погодні умови можуть сильно вплинути на радіальний ріст дерев [17].

### Висновки

Дендрокліматичний аналіз *Pinus sylvestris* L. та *Quercus robur* L. показав, що при порівнянні відгуку радіального приросту дерев до варіацій клімату у 1960-1987 рр. та 1988-2016 рр., стан як сосни так і дуба послабився, про що свідчить збільшення чутливості яке виражається у значущих коефіцієнтів кореляції між індексами радіального приросту і кліматичними чинниками. Найбільш інформативним гідротермічним коефіцієнтом виявився коефіцієнт Селянинова.

Сосна виявилася більш чутливою до зміни клімату порівняно з дубом. Водночас як дуб, так і сосна на даному етапі змогли адаптуватися до зміни клімату, про що свідчать деревно-кільцеві хронології, які показують стабільний приріст упродовж 2010-2016 рр.

Автори вдячні за змогу обробити кери в лабораторії дендрохронології в Інституті географії при Університеті ім. Фрідріха-Олександра міст Ерлангена та Нюрнберга

### Конфлікт інтересів

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

### Інформація про фінансування

Дослідження виконане за проектом «Radial growth of Scots pine and Scots oak in the Forest Steppe of Ukraine» із грантовою підтримкою Університету ім. Фрідріха-Олександра міст Ерлангена та Нюрнберга

### Список використаної літератури

1. Debel, A, Meier, W.J., Bräuning, A. Climate Signals for Growth Variations of *F. Sylvania*, *P. abies*, and *P. Sylvestris* in Southeast Germany over the Past 50 Years. *Forests*. 2021. Vol.12. N 11. 1433. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12111433>
2. BhuyanU., Zang Ch., Menzel A. Different responses of multispecies tree ring growth to various drought indices across Europe. *Dendrochronologia*. 2017. Vol. 44. P.1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.02.002>

3. Whitfill M. Europe Warming Faster Than Any Other Continent, Report Suggests Forbes. 2023. Retrieved from: <https://www.forbes.com/sites/maryroeloffs/2023/06/19/europe-warming-faster-than-any-other-continent-report-suggests/>
4. Tkach, V. P., Vysotska, N. Yu, Torosov, A. S., Buksha, I. F., Pasternak, V. P., Los, S. A., Kobets O. V., Tarnopil'ska, O. M., Tarnopil'skyi, P. B., Kalashnikov, A. O., Zhezhkun, I. M., Koval, I. M., Sydorenko, S. G., Sydorenko, S. V., Bondarenko, V. V., Bondar, O. B. Economic evaluation of ecosystem services of forests of Ukraine: Scientific publication Kharkiv: URIFFM, 2023. 28 p. DOI: [10.33220/2023.978-617-8195-57-1](https://doi.org/10.33220/2023.978-617-8195-57-1)
5. Steckela, M., del Riob, M., Heyma, M., Aldead, J., Bielake, K., .... Pretzsha, H. Species mixing reduces drought susceptibility of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and oak (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Site water supply and fertility modify the mixing effect. *Forest Ecology and Management*, 2020. Vol. 461. 117908. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117908>
6. Gavrilov, M.B, An, W., Xu, C., Radaković, M.G., Hao, Q., Yang, F., Guo, Z., Perić, Z., Gavrilov, G., & Marković, S.B. Independent Aridity and Drought Pieces of Evidence Based on Meteorological Data and Tree Ring Data in Southeast Banat, Vojvodina, Serbia. *Atmosphere*. 2019. Vol. 10. N 10 P.586. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos10100586>
7. Kastridis, A., Kamperidou, V. and Stathis, D. Dendroclimatological Analysis of Fir (*A. borisii-regis*) in Greece in the frame of Climate Change Investigation. *Forests* 2022. Vol.13. N 6. 879. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13060879>
8. Novak, A. A. Kopyi, S. L., Agii, V. O. Some features of radial growth of phenological forms of common oak (*Quercus Robur* L.) in the Western Forest-steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2022, Vol.32 N 4. P. 7-11. DOI: <https://doi.org/10.36930/40320401> (in Ukrainian).
9. Romanenko, V. A., & Kovalevskyi, S. B. (2023). Influence of climate change on the radial growth of Scots pine in Forest Stands of the Boyarka Forest Research Station. *Scientific Bulletin of UNFU*. Vol. 33. N 5. P. 40-45. DOI: <https://doi.org/10.36930/40330505> (in Ukrainian).
10. Коваль І. М., Браунинг А. Вплив клімату на радіальний приріст дуба звичайного в насадженні Лівобережного лісостепу, *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2018*: зб. тез доповідей XXI Міжнародної науковопрактичної конференції, (Харків, 18-20 квітня 2018 року). Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2018. с. 100-102 URL: [https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2019/12/tezi-hhii\\_mezhd-konf-2018.pdf](https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2019/12/tezi-hhii_mezhd-konf-2018.pdf)
11. Koval, I. M., Bräuning, A., Melnik E. E., & Voronin, V. O. Dendroclimatological research of scots pine in stand of the Left-bank Forest-steppe of Ukraine. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2017. № 3-4 (28), С.66–73. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-28-07>
12. Khaleghi, M.R. Application of dendroclimatology in evaluation of climatic changes. *Journal of Forest Science*. 2018. Vol.64. N 3. P.139-147 pp. DOI: <https://doi.org/10.17221/79/2017-JFS>
13. Speer, Ja. H. Fundamentals of Tree-Ring Research. Research – Tucson: University of Arizona Press. 2010. 368 pp. Retrieved from: <https://archive.org/details/fundamentalsoftr0000speer>
14. Stjepanović, S., Miletić, B., Drašković, B., Tunguz, V. The impact of climate change on the growth of European beech at optimal altitudes in the Republic of Srpska, *Topola*. 2021. 207. P.5-10. DOI: <https://doi.org/10.5937/topola2101005S>
15. Shishkova V., Panayotov M. Climate-growth relationship of *Pinus nigra* tree-ring width chronology from the Rhodope mountains, *Bulgaria Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2013. Vol.19. N 2. P.225–228. Retrieved from: <https://www.agrojournal.org/19/02-56s.pdf>
16. Sun Ch., Li Q., Liu Yu., Song H., Fangm C., Cai, Qi., Ren, M., Ye Ju., Riochi, L., & Sun Ju. Tree rings reveal changes in the temperature pattern in eastern China before and during the Anthropocene. *Environmental Research Letters*. 2022. Vol. 17. N 12. 124034. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aca68e>
17. Bräuning, A. De Ridder, M. Zafirov, N, García-González, I., Dimitrov, D.P., Gärtner, H (2016). Tree-ring features: indicators of extreme event impacts, *IAWA Journal*, 37 (2), 206–231. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-20160131>

Стаття надійшла до редакції 20.04.2024

Стаття рекомендована до друку 27.05.2024

**I. M. KOVAL**, DSc (Agriculture), Senior Researcher,  
Senior Researcher of Forest Ecology Section of Department of Forestry and Forest Economics<sup>1</sup>  
Professor of the Department of Environmental Monitoring and Protected Area<sup>2</sup>  
e-mail: [Koval\\_Iryna@ukr.net](mailto:Koval_Iryna@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

<sup>1</sup>Ukrainian research institute of forestry and forest melioration named after G.M. Vysotsky  
86, str. Hryhoriy Skovoroda, Kharkiv, 61024, Ukraine

<sup>2</sup>V. N. Karazin Kharkiv National University  
4, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

**A. BRÄUNING**, DSc (Geography), Prof.,  
Professor of Department of Geography and Earth Sciences  
e-mail: [achim.braeuning@fau.de](mailto:achim.braeuning@fau.de) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3106-4229>  
Institute of Geography, Friedrich -Alexander-Universität Erlangen - Nürnberg  
Wetterkreuz 15, 91058 Erlangen, Germany

## THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON THE RADIAL GROWTH OF *PINUS SYLVESTRIS* L. AND *QUERCUS ROBUR* L. IN THE STANDS OF KHARKIV GREEN ZONE

**Purpose.** To identify the characteristics of the reaction of the radial growth of Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) and Scots oak (*Quercus robur* L.) to climate change in the forest-steppe zone of Ukraine.

**Methods.** Dendrochronological, dendroclimatological, and statistical methods are applied. COFECHA and ARSTAN programs were used.

**Results.** The study was conducted in 100-year-old stands of English oak and Scots pine in the Southern Forestry (Left-bank Forest-steppe). The reaction of the radial growth of trees to climate changes was compared for 1960-1987 and 1988-2016. For the dendroclimatic analysis, the de Martonne hydrothermal indices, the Selyaninov hydrothermal coefficient, the forest aridity index, and the O<sub>1</sub> hydrothermal coefficient were used. Relative humidity indicators, which are derived from temperature and precipitation, were also used. It was found that in the second period, the sensitivity of the reaction of the radial growth of trees to climate variations increased, which indicates a certain weakening of the stands due to the increase in temperature. Dendroclimatic analysis of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus robur* L. showed that when comparing the response of the radial growth of trees to climate variations in 1960-1987 and 1988-2016, the condition of both pine and oak weakened, as evidenced by an increase in significant coefficients correlations between growth indices and climatic factors.

**Conclusions.** Pine was found to be more sensitive to climate change compared to oak. At the same time, these species of these trees at this stage were able to adapt to climate change, as evidenced by tree-ring chronologies, which show stable growth during 2010-2016.

**KEY WORDS:** *English oak, Scots pine, climate change, hydrothermal coefficients, relative humidity*

### Funding information

The research was carried out under the project "Radial growth of Scots pine and Scots oak in the Forest Steppe of Ukraine" with the grant support of the Institute of Geography, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen -Nürnberg

### Referenses

1. Debel, A, Meier, W.J., Bräuning, A. (2021). Climate Signals for Growth Variations of *F. Sylvatica*, *P. abies*, and *P. Sylvestris* in Southeast Germany over the Past 50 Years. *Forests*, 12 (11), 1433. <https://doi.org/10.3390/f12111433>
2. Bhuyan, U., Zang, Ch., Menzel, A. (2017). Different responses of multispecies tree ring growth to various drought indices across Europe, *Dendrochronologia*, 44, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.02.002>
3. Whitfill M. (2023, Jun 19). Europe Warming Faster Than Any Other Continent, Report Suggests. *Forbes*. Retrieved from: <https://www.forbes.com/sites/marioeloffs/2023/06/19/europe-warming-faster-than-any-other-continent-report-suggests/>
4. Tkach, V. P., Vysotska, N. Yu, Torosov, A. S., Buksha, I. F., Pasternak, V. P., Los, S. A., Kobets O. V., Tarnopilska, O. M., Tarnopilskyi, P. B., Kalashnikov, A. O., Zhezhkun, I. M., Koval, I. M., Sydorenko, S. G., Sydorenko, S. V., Bondarenko, V. V., Bondar, O. B. (2023). Economic evaluation of ecosystem services of forests of Ukraine: Scientific publication Kharkiv: URIFFM. DOI: [10.33220/2023.978-617-8195-57-1](https://doi.org/10.33220/2023.978-617-8195-57-1)
5. Steckela, M., del Riob, M., Heyma, M., Aldead, J., Bielake, K., .... Pretzsch, H. (2020). Species mixing reduces drought susceptibility of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and oak (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Site water supply and fertility modify the mixing effect. *Forest Ecology and Management*, 461, 117908, 1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117908>

6. Gavrillov, M.B, An, W., Xu, C., Radaković, M.G., Hao, Q., Yang, F., Guo, Z., Perić, Z., Gavrillov, G., & Marković, S.B. (2019). Independent Aridity and Drought Pieces of Evidence Based on Meteorological Data and Tree Ring Data in Southeast Banat, Vojvodina, Serbia. *Atmosphere*, 10 (10), 586. <https://doi.org/10.3390/atmos10100586>
7. Kastridis, A., Kamperidou, V. & Stathis, D. (2022). Dendroclimatological Analysis of Fir (*A. borisii-regis*) in Greece in the frame of Climate Change Investigation. *Forests*, 13(6), 879. <https://doi.org/10.3390/f13060879>
8. Novak, A. A. Kopyi, S. L., Agii, V. O. (2022). Some features of radial growth of phenological forms of common oak (*Quercus Robur L.*) in the Western Forest-steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*. 32 (4), 7-11. <https://doi.org/10.36930/40320401> (in Ukrainian).
9. Romanenko, V. A., & Kovalevskiy, S. B. (2023). Influence of climate change on the radial growth of Scots pine in Forest Stands of the Boyarka Forest Research Station. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(5), 40-45. <https://doi.org/10.36930/40330505> (in Ukrainian).
10. Koval I. M., Bräuning A. The influence of climate on the radial growth of common oak in the plantation of Livoberezhny Forest Steppe. *Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference "Ecology, Environmental Protection and Balanced Nature Management: Education - Science - Production - 2018"* April 18-20, 2018, 100-102. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2019/12/tezi-hhii mezhd-konf-2018.pdf> (in Ukrainian).
11. Koval, I. M., Bräuning, A., Melnik E. E., & Voronin, V. O. (2017). Dendroclimatological research of scots pine in stand of the Left-bank Forest-steppe of Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (3-4 (28)), 66–73. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-28-07>
12. Khaleghi, M.R. (2018). Application of dendroclimatology in evaluation of climatic changes. *Journal of Forest Science*, 64 (3), 139-147. <https://doi.org/10.17221/79/2017-JFS>
13. Speer, Ja. H. (2010). *Fundamentals of Tree-Ring Research*. Research – Tucson: University of Arizona Press. 368 pp. Retrieved from <https://archive.org/details/fundamentalsoftr0000speer>
14. Stjepanović, S., Miletić, B., Drašković, B., Tunguz, V. (2021). The impact of climate change on the growth of European beech at optimal altitudes in the Republic of Srpska. *Topola*, 207, 5-10. <https://doi.org/10.5937/topola2101005S>
15. Shishkova, V. & Panayotov, M. (2013). Climate-growth relationship of *Pinus nigra* tree-ring width chronology from the Rhodope mountains. *Bulgaria Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19 (2), 225–228. Retrieved from: <https://www.agrojournal.org/19/02-56s.pdf>
16. Sun, Ch., Li, Q., Liu, Yu., Song, H., Fangm C., Cai, Qi., Ren, M., Ye, Ju., Riochi.L., & Sun, Ju. (2022). Tree rings reveal changes in the temperature pattern in eastern China before and during the Anthropocene. *Environmental Research Letters*, 17 (12), 124034. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aca68e>
17. Bräuning, A. De Ridder, M. Zafirov, N, García-González, I., Dimitrov, D.P., & Gärtner, H (2016). Tree-ring features: indicators of extreme event impacts. *IAWA Journal*, 37 (2), 206–231. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160131>

The article was received by the editors 20.04.2024

The article is recommended for printing 27.05.2024

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-11>

УДК (UDC): 504.14:37](063)"2024"

**Н. В. МАКСИМЕНКО**, д-р географ. наук, проф.,  
завідувачка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи  
e-mail: [maksymenko@karazin.ua](mailto:maksymenko@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

**А. А. ГРЕЧКО**  
аспірантка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи  
e-mail: [a.a.hrechko@karazin.ua](mailto:a.a.hrechko@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-2586>  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

### ПРО ПРОВЕДЕННЯ ІІІ МІЖНАРОДНОЇ ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ФОРМАЛЬНОЇ І НЕФОРМАЛЬНОЇ ОСВІТИ З МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ ТА ЗАПОВІДНОЇ СПРАВИ»

26 квітня 2024 року в Каразінському навчально-науковому інституті екології відбулася ІІІ Міжнародна інтернет-конференція «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи», яку організувала кафедра екологічного моніторингу та заповідної справи. На конференції було заслухано доповіді за наступними темами: Вплив військових дій на довкілля та шляхи повоєнної ревіталізації природних комплексів; Проблеми та перспективи розвитку заповідної справи в Україні і світі; Моніторинг довкілля: наука, освіта, практика; Формальна та неформальна освіта у заповідній справі; Чорнобильська катастрофа: наслідки трагедії і застереження на майбутнє. Особливу увагу заслуговують три доповіді-презентації сертифікатних освітніх програм ННІ екології Каразінського університету (доповідачі О. Гололобова, А. Клещ та С. Бурченко).

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *формальна освіта, неформальна освіта, заповідна справа, моніторинг, повоєнне відновлення, Чорнобильська трагедія, перспективи розвитку заповідної справи, сертифікатні програми*

**Як цитувати:** Максименко Н. В., Гречко А. А. Про проведення ІІІ міжнародної інтернет-конференції «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи». *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 143 - 147. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-11>

**In cites:** Maksymenko, N. V., & Hrechko, A. A. (2024). About holding the III International Internet conference «Current issues of Formal and Non-Formal Education in Environmental Monitoring and Conservation». *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (41), 143 – 147. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-11> (in Ukrainian)

В квітні 2024 року вже традиційно відбулася ІІІ Міжнародна інтернет-конференція «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи», яку організовано кафедрою екологічного моніторингу та заповідної справи навчально-наукового інституту екології. Цього року конференцію присвячено обговоренню наступних питань:

• Вплив військових дій на довкілля та шляхи повоєнної ревіталізації природних комплексів.

• Проблеми та перспективи розвитку заповідної справи в Україні і світі.

• Моніторинг довкілля: наука, освіта, практика.

• Формальна та неформальна освіта у заповідній справі.

• Чорнобильська катастрофа: наслідки трагедії і застереження на майбутнє.

В конференції приймали участь 86 осіб, з них на захід змогли бути присутніми 54 – представники України та Чехії, в тому

числі працівники освітніх установ: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, ХНУ імені В. Н. Каразіна, Західноукраїнський національний університет, ДНУ імені Олеса Гончара, Національний університет «Києво-Могилянська академія», Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка, ЛНУ імені Івана Франка, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Національний університет водного господарства та природокористування, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Національний лісотехнічний університет України, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Комунальний заклад Київської обласної ради «Центр дітей та юнацтва Київщини». Також були присутні науковці науково-дослідних установ: Науково-дослідний інститут меліорації та охорони ґрунтів (м. Прага), Інститут екології Карпат НАН України, ДП «Бар'єр» і ТОВ (ТОВ «БЦРЕМСЕРВІС»). Традиційно до участі приєдналися представники природно-заповідного фонду України: НПП «Святі гори», НПП «Бойківщина», НПП «Голосіївський», НПП «Північне Поділля», НПП «Слобожанський».

Конференція вже традиційно зацікавила учасників з різних куточків України, в цьому році це такі міста: Харків, Дніпро, Тернопіль, Львів, Київ, Умань, Біла Церква, Кременчук.

Ключовою доповіддю, що висвітлювала тему ролі екологічної освіти в реалізації

Європейського зеленого курсу став виступ Ачасової Алли, наукового співробітника Науково-дослідного інституту меліорації та охорони ґрунтів відділу ґрунтових досліджень у Празі, Чеська республіка (рис. 1а).

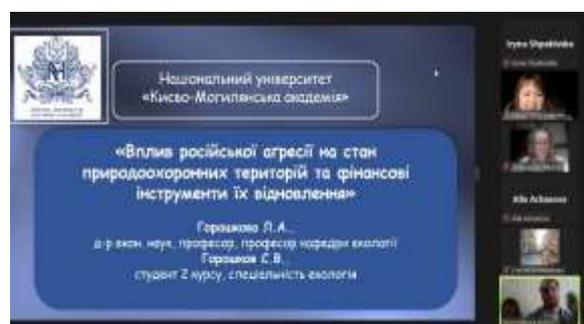
Особливу увагу учасники конференції присвятили секції «Вплив військових дій на довкілля та шляхи повоєнної ревіталізації природних комплексів» враховуючи сучасні реалії кожен поділився своїм баченням наслідків військової агресії РФ на природно-заповідний фонд та компоненти довкілля. Попри різницю у підходах щодо визначення найуразливіших компонентів довкілля всі прийшли до загальної згоди щодо того, що необхідним є початок дій по відновленню територій ще до завершення війни, важливо здійснювати моніторинг на деокупованих територіях, намагатися реалізовувати дистанційні спостереження за територіями, що знаходяться під окупацією.

Потужною групою представлені дослідження кафедра екології Національного університету «Києво-Могилянська академія» під керівництвом проф. Горошкової Л. А. (рис. 1б). Значна кількість їх робіт стосувались оцінки впливу військових дій на довкілля та його довгострокові наслідки в різних регіонах (доповідачі Гераськова Діана, Трохименко Ганна, Горошков Станіслав, Корнійчук Юлія, Менакер Артем, Скринченко Каріна, Маслов Денис, Варіничко Валерія).

Родзинкою пленарного засідання стала презентація сертифікованих освітніх програм Каразінського навчально-наукового інституту екології: «3D моделювання в ландшафтному дизайні у SketchUp», «Управління екологічною діяльністю та екологічна документація підприємства» та «Веб-те-



а)



б)

Рис. 1 – Представлення доповідей на конференції

Fig. 1 – Presenting papers at the conference

хнології та інформаційне забезпечення у заповідній справі». Жваве обговорення викликали виступи та багато питань щодо можливостей долучитись до навчання за сертифікованими програмами.

Сертифікатна програма – встановленої тривалості комплекс навчальних компонент, що надає можливість набути практичні уміння, навички, поглиблені знання та інші компетентності, необхідні для професійної діяльності, успішної самореалізації або як доповнення у межах певних спеціальностей до освітніх програм із метою задоволення освітніх потреб здобувачів вищої освіти університету й зовнішніх зацікавлених осіб, тобто слухачів.

Таким чином з урахуванням особистісних потреб є можливість забезпечення права на безперервне навчання, згідно пріоритетів суспільного розвитку та потреб економіки. Сертифікатні програми, які були представлені кафедрою екологічного моніторингу та заповідної справи націлені на підвищення кваліфікації як працівників об'єктів природно-заповідного фонду так і фахівців-екологів.

Так, сертифікатна програма «Управління екологічною діяльністю та екологічна

документація підприємства» (доповідач Бурченко С.В.) спрямована на формування знань щодо теоретичних та практичних основ управління в екологічній діяльності суб'єктів господарювання, формування навичок збору, обробки та подачі екологічної інформації підприємства до Державної служби статистики та відповідних органів у сфері екологічного управління (рис. 2а).

Метою програми «3D моделювання в ландшафтному дизайні у SketchUp» (доповідач Гололобова О.О.) є засвоєння особливостей програмного інструменту SketchUp та формування навичок 3D моделювання в SketchUp для завдань ландшафтного дизайну (рис. 2б). Програма розрахована на задоволення освітніх потреб здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського), другого (магістерського), третього (PhD) рівнів Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна та зовнішніх слухачів, які бажають вивчити додаткову інформацію та сформувати компетентності, необхідні для розв'язання завдань у галузі 3D моделювання в ландшафтному дизайні за допомогою сучасного програмного інструменту SketchUp.



**Рис. 2** – Презентація сертифікованих освітніх програм Каразинського навчально-наукового інституту екології:

- а) «Управління екологічною діяльністю та екологічна документація підприємства»  
б) «3D моделювання в ландшафтному дизайні у SketchUp»

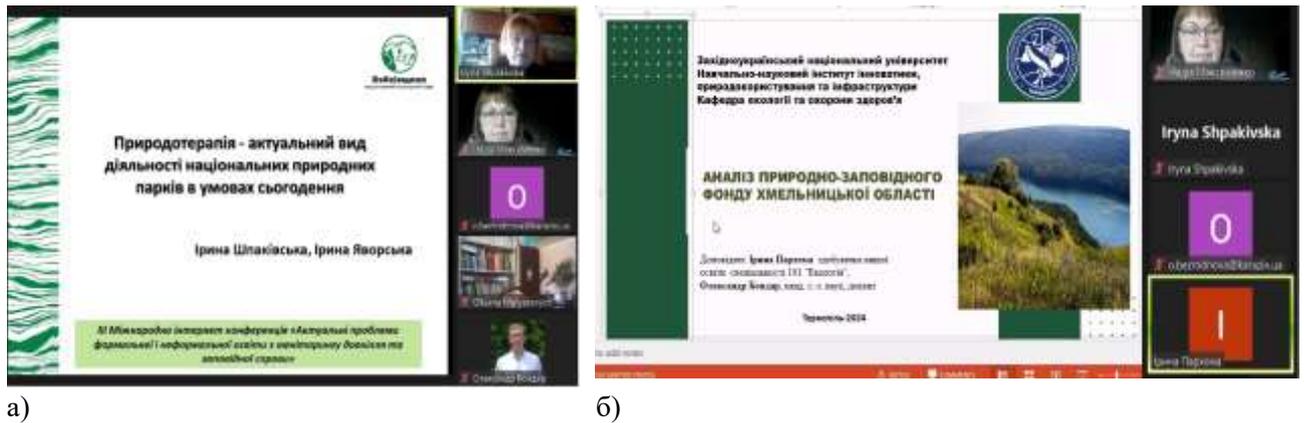
**Fig. 2** – Presentation of the certified educational programs of the Karazin Institute of Environmental Sciences:

- а) “Management of environmental activities and environmental documentation of the enterpris”  
б) “3D modeling in landscape design in SketchUp”

Сертифікатна програма «Веб-технології та інформаційне забезпечення у заповідній справі» (доповідачка Клещ А.А.) покликана сформувати в здобувачів належний рівень практичних умінь із розробки, оптимізації та адміністрування та інформаційного забезпечення веб-ресурсів природоохоронної тематики, достатнього для ефективного брендингу заповідних об'єктів, а також

просування їх туристично-рекреаційних послуг у мережі інтернет.

Жваву дискусію під час проведення конференції викликала доповідь «Природотерапія – актуальний вид діяльності національних природних парків в умовах сьогодення» (рис. 3а). В межах доповіді учасники конференції познайомились з новим поняттям серед фахівців реабілітологів та психологів.



а) б) **Рис. 3** – Доповіді секції «Проблеми та перспективи розвитку заповідної справи в Україні і світі»

**Fig. 3** - Presentations of the section "Problems and prospects of the development of protected area management in Ukraine and the world"

Представлено кейс НПП «Бойківщина», який передбачає горотерапію для військовослужбовців, їх дружин чи наречених. Виїзди передбачають прогулянки та стабілізаційні сесії на природі, майндфулнес (усвідомлена присутність), сенсорну усвідомленість, коло спілкування, залучення учасників у процес розвитку системи допомоги за принципом «рівний-рівному», прийняття викликів та перешкод, релаксацію та відновлення. Групу супроводжуватиме кваліфікований гід-еколог та психолог, який має великий досвід роботи з травмою війни та втратою. Всім

учасникам дуже сподобалась така ідея для допомоги в реабілітації наших військових.

Секцію «Проблеми та перспективи розвитку заповідної справи в Україні і світі» ознаменували дослідження цьогорічних випускників кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи, які здійснювали оцінку динаміки розвитку об'єктів природно-заповідного фонду та порівнювали області нашої держави між собою. До роботи цієї секції долучилися представники Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка (рис. 3б), які розгляда-



**Рис. 4** – Збірник матеріалів конференції та сертифікат учасника  
**Fig. 4** - Collection of conference materials and certificate of participation

ли питання оптимізації ПЗФ та розглядали проблеми ефективного заповідання територій, Львівського національного університету імені Івана Франка з проблематикою географізації природо-заповідного фонду, Національного університету водного господарства та природокористування з проблематикою поширення геотуризму, представники Західноукраїнського національного університету розглядали питання розширення ПЗФ, а науковці Національного університету «Києво-Могилянська академія» зосередили свою увагу на ревіталізації об'єктів ПЗФ після війни.

Учасники секції «Моніторинг довкілля: наука, освіта, практика» сконцентрували увагу не тільки на стані довкілля, а й на сучасних засобах для проведення моніторингу. Значну

частину доповідей секції присвячено моніторингу стану компонентів і комплексів довкілля різних об'єктів природо-заповідного фонду.

Конференція відбулася на роковини Чорнобильської трагедії, тому цього року створено секцію «Чорнобильська катастрофа: наслідки трагедії і застереження на майбутнє». В межах секції розглянуто вплив на здоров'я людей, феномен «Рудого лісу», та перспективи змін зони відчуження.

Всі учасники прийшли до омріяного висновку щодо спільного бажання провести наступну зустріч в очному форматі. Після проведення конференції всім учасникам розіслано збірник матеріалів конференції та сертифікати учасника (рис. 4).

Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи : тези доповідей III Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 26 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. URL: <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/06/akt-probl-form-i-neform-osv-z-monit-dovk-ta-zapov-spr-2024.pdf>

Стаття надійшла до редакції 06.05.2024

Стаття рекомендована до друку 27.05.2024

**N. V. MAKSYMENKO**, DSc (Geography), Prof.,

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

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

**A. A. HRECHKO**

PhD student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management  
e-mail: [a.a.hrechko@karazin.ua](mailto:a.a.hrechko@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-2586>

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

#### **ABOUT HOLDING THE III INTERNATIONAL INTERNET CONFERENCE “CURRENT ISSUES OF FORMAL AND NON-FORMAL EDUCATION IN ENVIRONMENTAL MONITORING AND CONSERVATION”**

On April 26, 2024, the the Karazin Institute of Environmental Sciences hosted the III International Internet Conference "Current issues of Formal and Non-Formal Education in Environmental Monitoring and Conservation", organized by the Department of Environmental Monitoring and Conservation. The conference featured presentations on the following topics: The impact of military operations on the environment and ways of post-war revitalization of natural complexes; Problems and prospects of reserve management in Ukraine and the world; Environmental monitoring: science, education, practice; Formal and non-formal education in reserve management; The Chernobyl disaster: consequences of the tragedy and warnings for the future. Three reports-presentations of the certificate educational programs of the Institute of Ecology of Karazin University (speakers O. Gololobova, A. Kleshch and S. Burchenko) deserve special attention.

**KEYWORDS:** formal education, non-formal education, nature conservation, monitoring, post-war restoration, Chernobyl tragedy, prospects for the development of nature conservation, certificate programs

Current issues of Formal and Non-Formal Education in Environmental Monitoring and Conservation: abstracts of III International Internet conference (2024, Apr 26). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/06/akt-probl-form-i-neform-osv-z-monit-dovk-ta-zapov-spr-2024.pdf>

The article was received by the editors 06.05.2024

The article is recommended for printing 27.05.2024

Наукове видання навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету «Людина та довкілля. Проблеми неоекології» є науковим журналом, який включено до Переліку фахових видань ВАК ( Б), де публікуються основні результати дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора і кандидата географічних наук.

До публікації приймаються статті, які написані українською або англійською мовами згідно за правилами для авторів і отримали позитивні рекомендації рецензентів.

#### ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Електронна версія оформляється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 11, міжрядковий інтервал 1,0, всі поля по 2,5 см. Жирним шрифтом виділяються підзаголовки у статті; курсив допускається лише у виняткових випадках.

Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті. Ілюстрації подаються чорно-білими. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Усі рисунки підписувати як **Рис. 1** – Назва рисунку (розмір 10). Таблиці також оформляти 10 розміром. Слово **Таблиця 1** (жирним, праворуч), на наступному рядку назва таблиці – жирним, по центру, розмір 10. **Назви рисунків та таблиць надаються також англійською.**

Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання – по ширині. Абзац – 1,0 см.

Для статей необхідно вказати УДК (UDC) (ліворуч, розмір 11), **ініціали та прізвище автора** (розмір 11, жирним, прописними, по центру), науковий ступінь та звання (розмір 11), на наступному рядку вказати посаду, на наступному - вказати e-mail та ORCID ID. на наступному рядку вказати повну назву установи (розмір 11, курсив) та її повна адреса

**Назва статті** (жирними прописними, по центру, 11 розмір)

Далі подати анотацію (не менше 1800 знаків) та ключові слова (5-6) мовою статті: розмір 10, інтервал 1,0. Для експериментальних статей подати структуроване резюме, де має бути вказані слова: **Мета. Методи. Результати. Висновки.**

Статті друкуються українською та англійською мовами.

Текст експериментальної статті повинен складатися з наступних розділів: «Вступ», «Методика» («Об'єкти та методи дослідження»), «Результати», «Обговорення» (можливий об'єднаний розділ «Результати та обговорення»), «Висновки», «Список використаної літератури».

Розділ «Вступ» повинен містити постановку проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями; короткий аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких розпочато рішення даної проблеми, виділення конкретних невирішених питань, яким присвячена стаття, формулювання мети роботи.

Розділ «Методика» повинен містити відомості про об'єкт (об'єкти) дослідження, умови експериментів, аналітичні методи, прилади та реактиви.

У розділі «Результати досліджень» надаються отримані результати та повинно відображувати закономірності, які витікають з отриманих даних. Отриману інформацію необхідно порівняти з наявними літературними даними та показати її новизну.

У розділі «Висновки» надається узагальнення та інтерпретація результатів, аналіз причинно-наслідкових зв'язків між виявленими ефектами, і повинно завершуватись відповіддю на питання, яке поставлено у вступі.

Посилання на джерела у тексті подаються у прямокутних дужках з вказуванням номера **за порядком посилання.**

**Список використаної літератури** обов'язково оформляється за ДСТУ 8302:2015, до 60% мають бути джерела, що опубліковані за останні 5 років, **URL** – де є (розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0). Кількість посилань має бути не менше 15.

Через 2 інтервали також подати прізвище, науковий ступінь та наукове звання, посаду, e-mail та ORCID ID, організацію, її повну адресу, назву статті, розширену анотацію та ключові слова англійською (не менше 1800 знаків, розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0). Анотація повинна бути побудована як реферат у реферативних журналах та відражати суть експериментів, основні результати та їх інтерпретацію. Для експериментальних статей подати структуровані резюме де має бути вказані слова: **Purpose. Methods. Result. Conclusion.**; та ключові слова (5-6).

Подати також **References**, за стандартом APA (прізвище, ініціали, назва - англійською, наприкінці у дужках (In Ukrainian) та **Retrieved from** або **DOI**).

**Адреса редакції:** навчально-науковий інститут екології, 4 поверх, к. 473а, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Майдан Свободи, 6, Харків, Україна, 61022  
тел. 057 / 707-56-36, 057 / 707-53-86 моб. 068-612-40-69 e-mail: [ecology\\_journal@karazin.ua](mailto:ecology_journal@karazin.ua)  
Сайт журналу: <http://periodicals.karazin.ua/humanenviron/about>

Наукове видання

ЛЮДИНА ТА ДОВКІЛЛЯ. ПРОБЛЕМИ НЕОЕКОЛОГІЇ

Випуск 41

Українською та англійською мовами

Макетування та комп'ютерне верстання  
Баскакова Л. В.

Підписано до друку 27.05.24  
Формат 60x84/8  
Ум. друк. арк. 13,5, Обл.-вид. арк. 14,8.  
Наклад 100 пр. Зам. № 7/124

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

Надруковано ХНУ імені В. Н. Каразіна  
61022, Харків, майдан Свободи, 4. Тел. 705-24-32  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09