

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

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

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

**ЗАСНОВАНА 2005 р.**

**Випуск 27**

**VISNYK**  
**of V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL**  
**UNIVERSITY**  
**SERIES «ECOLOGY»**  
**Issue 27**

**Харків**

**2022**

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

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

Вісник є фаховим виданням у галузі географічних та біологічних наук (категорія Б)  
Наказ МОН України від 17.03.2020 № 409  
Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (протокол № 18 від 25.11. 2022 р.)

Головний редактор:

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

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

**Уткіна К. Б.**, канд. геогр. наук, доц., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
Технічний секретар: **Баскакова Л. В.**, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна.

#### Редакційна колегія:

**Адаменко М. І.** д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
**Бедункова О. О.**, д-р біол. наук, проф., Національний університет водного господарства та природокористування;  
**Бойко С.**, д-р філософії, Вармінсько-Мазурський університет, Польща;  
**Гавардашвілі Г.**, д-р техн. наук, проф., Інститут водного господарства імені Ц. Мірцхулави, Грузія;  
**Гриценко А. В.**, д-р геогр. наук, проф., НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;  
**Доніка А.**, д-р філософії, Інститут екології та географії, Молдова;  
**Едірішпуліге С.**, д-р географії, Університет Квінсленду, Австралія;  
**Жолткевич Г. М.**, д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
**Кіосопулос Дж.**, д-р філософії, проф., Афіньський університет прикладних наук, м. Афіни, Греція;  
**Крайнюкова А. М.**, д-р біол. наук, проф., НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;  
**Кривцов В.**, д-р філософії, Единбургський університет, Великобританія;  
**Кульбачко Ю. Л.**, д-р біол. наук, проф., Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара;  
**Кучер А. В.**, д-р екон. наук, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
**Максименко Н. В.**, д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
**Млинарчик К.**, д-р, проф., Вармінсько-Мазурський університет, Польща;  
**Нахтнебель Х.-П.**, д-р, проф., Університету природних ресурсів та прикладних наук у Відні – WOKU, Австрія;  
**Некос А. Н.**, д-р геогр. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
**Сафранов Т. А.**, д-р геол.-мин. наук, проф., Одеський державний екологічний університет;  
**Страшнюк В. Ю.**, д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
**Утєвська О. М.**, д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
**Утєвський С. Ю.**, д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
**Цапко Ю. Л.**, д-р біол. наук, с.н.с., ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського НААН»;  
**Чаплигіна А. Б.**, д-р біол. наук, проф., Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди;  
**Шабанов Д. А.**, д-р біол. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;  
**Шкаруба А.**, д-р філософії, Естонський університет наук про життя, Естонія.

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

тел. (057)707-53-86, 705-09-66, 707-56-36, e-mail : [visnykecology@karazin.ua](mailto:visnykecology@karazin.ua)

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

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

Свідоцтво про державну реєстрацію: КВ № 21557-11457Р від 21.08.2015

© Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, оформлення, 2022

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

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

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

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

Approved for printing by the decision of the Academic Council of V.N. Karazin Kharkiv National University  
(Minutes Nr 18, dated November 25, 2022)

Editor-in-chief: **Krainiukov O. M.**, DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
Deputy Editor: **Titenko, G. V.**, PhD (Geography), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
Executive Secretary: **Utkina K. B.**, PhD (Geography), Assoc. Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
Technical Secretary: **Baskakova L. V.**, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine.

#### THE EDITORIAL BOARD

**Adamenko M.I.**, DSc (Technical), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
**Biedunkova O. O.**, DSc (Biology), Prof., National University of Water and Environmental Engineering, Ukraine;  
**Boyko S.**, PhD, Forest Culture Center in Goluchow, Poland;  
**Gavardashvili G.**, DSc (Technical Sciences), Prof., Ts. Mirtskhulava Water Management Institute of Georgian Technical University, Georgia;  
**Grytsenko A. V.**, DSc (Geography), Prof., Scientific and Research Institution "Ukrainian Scientific and Research Institute of Ecological Problems", Ukraine;  
**Donica A.**, DSc (Geography), Institute of Ecology and Geography, Moldova;  
**Edirippulige S.**, DSc (Geography), University of Queensland, Australia;  
**Zholtkevych G. M.**, DSc (Technical Sciences), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
**Kiousopoulos J.**, PhD, Prof., University of West Attica, Greece;  
**Krainiukova A. M.**, DSc (Biology), Prof., Scientific and Research Institution "Ukrainian Scientific and Research Institute of Environmental Problems", Ukraine;  
**Krivtsov V.**, PhD, University of Edinburgh, United Kingdom;  
**Kulbachko Y. L.**, DSc (Biology), Prof., Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine;  
**Kucher A. V.**, DSc (Economy), V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
**Maksymenko N. V.**, DSc (Geography), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
**Mlynarchik K.**, DSc, Prof., University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland;  
**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;  
**Safranov T. A.**, DSc (Geology and Mineralogy), Prof., Odessa State Environmental University, Ukraine;  
**Strashnyuk V. Y.**, DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
**Utevska O. M.**, DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
**Utevsky S. Yu.**, DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
**Tsapko Y. L.**, DSc (Biology), Prof., National Scientific Center "Institute for soil science and agrochemistry research named after A.N. Sokolovsky", Ukraine;  
**Chaplygina A. B.**, DSc (Biology), Prof., H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Ukraine;  
**Shabanov D. A.**, DSc (Biology), Prof., V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine;  
**Shkaruba A.**, PhD, Estonian University of Life Sciences, Estonia.

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

The state registration certificate: KB Nr 21557-11457P dated August 21, 2015

© V.N. Karazin Kharkiv National University, design, 2022

## ЗМІСТ

### *ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ*

<b>Безсонний В. Л., Третьяков О. В., Пляцук Л. Д., Некос А. Н.</b> Ентропійний підхід до оцінки екологічного стану водотоку.....	6
<b>Лісняк А. А., Кулик М. І.</b> Оцінка якості питної води з природних джерел у межах міста Харкова.....	20
<b>Фаллах М., Карамі Т., Коджурі М. К.</b> Національна геопросторова інформаційна система у містобудуванні.....	32

### *ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА*

<b>Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Чорногор Л. Л.</b> Математичні моделі для оцінки екологічних наслідків впливу пірогенного фактору на лісові екосистеми.....	51
<b>Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Лоцман П. І., Сенчихін Ю. М.</b> Постпірогенна трансформація біогеохімічних властивостей сірих лісових ґрунтів при техногенному навантаженні.....	63

### *ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ*

<b>Царик Л. П., Смеречинський Ю. В.</b> Оцінка перспективи створення нових лісів у Тернопільській області.....	72
---	----

### *БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ*

<b>Шамрай М. В., Дідур О. О.</b> Біотична гомогенізація дендрофлори в умовах мегаполісу (м. Дніпро, Україна).....	80
--	----

### *ПРАКТИКА МІЖНАРОДНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА*

<b>Максименко Н. В., Шкаруба А. Д.</b> Щодо видання колективної монографії за проектом міжнародного Вишеградського фонду.....	94
<b>Правила для авторів.....</b>	101

## CONTENTS

### *ECOLOGICAL RESEARCHES OF GEOSYSTEM*

<b>Bezsonnyi V. L., Tretyakov O. V., Plyatsuk L. D., Nekos A. N.</b> Entropy approach to assessment of the ecological state of a water course.....	6
<b>Lisnyak A. A., Kulyuk M. I.</b> Assessment of the drinking water quality from natural sources in the Kharkiv city.....	20
<b>Fallah Mahdi, Karami Tajoddin, Kojouri Moosa Kamanroodi</b> National participant geospatial information system in urban planning.....	32

### *ENVIRONMENTAL ECOLOGICAL SAFETY*

<b>Chernogor L. F., Nekos A. N., Titenko G. V., Chornohor L. L.</b> Mathematical models for estimate of the ecological consequences of the impact of the pyrogenic factor on forest ecosystems.....	51
<b>Buts Y. V., Krainiuk O. V., Lotsman P. I., Senchykhin Y. M.</b> Post-pyrogenic transformation of biogeochemical properties of grey forest soils under technological load .....	63

### *SUSTAINABLE USE OF NATURE*

<b>Tsaryk L. P., Smerechynskyi Y. V.</b> Assessment of the prospects of creating new forests in Ternopil region.....	72
---	----

### *BIOLOGICAL RESEARCH*

<b>Shamray M. V., Didur O. O.</b> Biotic homogenization of dendroflora in the conditions of the megapolis (Dnipro, Ukraine).....	80
--	----

### *PRACTICE OF INTERNATIONAL COOPERATION*

<b>Maksymenko N. V., Shkaruba A. D.</b> Regarding the publication of a collective monograph under the project of the International Vysegrad Fund.....	94
<b>Instructions for Authors.....</b>	101

## ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01>

УДК (UDC): 504.054:628.4.038

**В. Л. БЕЗСОННИЙ**, канд. техн. наук, доц.,  
доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти  
e-mail: [bezsonny@gmail.com](mailto:bezsonny@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>  
*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

майдан Свободи, 6, м. Харків, 61022, Україна

**О. В. ТРЕТЬЯКОВ**, д-р техн. наук, проф.,  
професор кафедри цивільної та промислової безпеки  
e-mail: [mega\\_ovtr@ukr.net](mailto:mega_ovtr@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0095-5846>

*Національний авіаційний університет*

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

**Л. Д. ПЛЯЦУК**, д-р техн. наук, проф.,  
завідувач кафедри екології та природозахисних технологій  
e-mail: [l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua](mailto:l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0095-5846>

*Сумський державний університет*

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна

**А. Н. НЕКОС**, д-р географ. наук, проф.,  
завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти  
e-mail: [alnekos999@gmail.com](mailto:alnekos999@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

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

### ЕНТРОПІЙНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОТОКУ

**Мета.** Оцінка якості води Дніпровського водосховища за допомогою ентропійного індексу.

**Методи.** Аналітико-синтетичний метод, геоінформаційний (картографічне моделювання), аналіз інформаційних джерел, ентропійний аналіз.

**Результати.** Встановлено, що вода за усіма показниками крім БСК<sub>5</sub>, ХСК та завислі речовини не відповідає верхній межі I класу якості за ДСТУ 4808:2007. Спостерігається зниження рівня БСК<sub>5</sub> на постах в м. Дніпро, що свідчить про надходження до водотоку речовин, що пригнічують біохімічні процеси, (t4 та t5) та поступове збільшення цього показника на виході з міста та далі вниз за течією, що свідчить про надходження органічних речовин. Вміст кисню знижується на ділянці водотоку, розташованій у місті (t4 – t6) та збільшується у середній та нижній частині водосховища. Також спостерігається тенденція зростання сульфатів, сполук азоту, фосфатів, СПАР та ХСК для точок контролю, які знаходяться в межах м. Дніпро. Найбільші значення ентропійного індексу якості води характерні для пунктів t2 (0,5444), t7 (0,6264) та t8 (0,5322). Дані пункти контролю знаходяться на значній відстані від промислових центрів, то, ймовірно, вирішальне значення у формуванні якості води відіграють забруднення, спричинені сільськогосподарським виробництвом. Найменше значення індексу (0,3889) характерне для пункту t1 – с. Шульгівка, після ГВК Дніпро-Донбас.

**Висновки.** Встановлено, що основними забруднювачами води є нітрити, нітрати та фосфати і завислі речовини. Це може спричинити негативний вплив на здоров'я, внаслідок мутагенної та канцерогенної дії, також прискорює евтрофікацію водного об'єкту. Спостерігається негативний вплив агропромислового виробництва на екологічний стан Дніпровського водосховища. Величина ентропійного індексу якості води коливається від 0,3889 до 0,6264.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** екологічний стан поверхневих вод, ентропійний індекс якості води, Дніпровське водосховище, забруднення

**Як цитувати:** Безсонний В. Л., Третяков О. В., Пляцук Л. Д., Некос А. Н. Ентропійний підхід до оцінки екологічного стану водотоку. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 28. С. 6-19. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01>

**In cites:** Bezsonnyi, V. L., Tretyakov, O. V., Plyatsuk, L. D., & Nekos, A. N. (2022). Entropy approach to assessment of the ecological state of a water course. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 6 - 19. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01> (in Ukrainian)

## Вступ

Збільшення чисельності населення, розширення господарської діяльності, розростання міст призводять до збільшення попиту на воду. Надмірне використання поверхневих і підземних вод ставить під загрозу численні ресурси через скорочення наявних кількостей і погіршення їх якості [1].

Водні ресурси та їх якість мають вирішальне значення для здоров'я людини, економічного розвитку та навколишнього середовища [2–3]. Глобальне використання прісної води, в тому числі муніципальними громадами, промисловістю та сільським господарством стрімко зросло за останні 100 років. Проте через забруднення води в різних регіонах і країнах [4] погіршення якості води стало проблемою в усьому світі [5]. Діяльність людини та природні процеси, включаючи вивітрювання гірських порід, ерозію та зміну клімату, впливають на якість води [6 – 7]. Забруднення поверхневих вод створює серйозну проблему для управління якістю води. Оцінка якості води є важливою для управління водними ресурсами. При розробці планів управління водними ресурсами слід оцінювати різні властивості поверхневих вод. Забруднення водою загрожує екологічному середовищу та здоров'ю людей, тому для оцінки якості води були розроблені багато індексів поверхневих вод (наприклад, індекси якості води, індекси трофічного стану та ін) [8, 9]. Хортоном вперше була розроблена система [10] загальних показників, що дозволяють систематизувати різні параметри якості води. Далі ця методологія була вдосконалена Національним фондом санітарії США, що призвело до появи відомого індексу якості води [11], який показує рівень кумулятивного впливу обраних параметрів на загальну якість води єдиним числовим значенням [12 – 15]. Цей підхід знайшов поширення у світовій практиці для оцінки

якості води [16 – 21]. Оцінка якості води є необхідною умовою реалізації водоохоронної політики та оптимального розподілу різних джерел води відповідно до їх використання. Поверхневі води часто оцінювалися за допомогою норм. Оскільки жодна унікальна змінна не може достатньо описати якість води, вона була оцінена шляхом вимірювання ряду фізико-хімічних інтенсивних змінних (наприклад, концентрації катіонів або аніонів тощо). Останніми роками набуває поширення використання ентропійних підходів до оцінки якості води [22 – 23].

У гідроекологічних системах можуть виникати проблеми як зі збільшенням, так і зі зниженням ентропії. Поняття ентропії має безліч тлумачень в найрізноманітніших областях людського знання. Поряд з ентропією Клаузіуса з'явилися статистичні, інформаційні, математичні, лінгвістичні, інтелектуальні та інші ентропії. Ентропія стала базисним поняттям теорії інформації і стала виступати мірилом невизначеності якоїсь ситуації. Для характеристики міри складності системи У. Ешбі [24] вперше запропонував використовувати поняття ентропії. Система взаємодіє із зовнішнім світом як єдине ціле. В цілому, система не втрачає своєї організованості або високої впорядкованості. Відкриті системи можуть обмінюватися енергією, матерією і, не в останню чергу, інформацією з навколишнім середовищем. Щоб екологічна система могла діяти і взаємодіяти з навколишнім середовищем, вона повинна споживати інформацію з навколишнього середовища і доносити інформацію до навколишнього середовища. Цей процес називається інформаційним метаболізмом, який спільно з речовинним та матеріальним метаболізмом утворює повний метаболізм. Вперше пов'язав поняття ентропії та інформації К. Шеннон [25]. З його подачі ентропія – це кількість інформації, що припадає на одне елементарне повідомлення джерела, яке



виробляє статистично незалежні повідомлення. Отримання будь-якого обсягу інформації дорівнює втраченій ентропії. Інформаційна ентропія для незалежних випадкових подій  $x$  з  $N$  можливих станів розраховується за формулою (1):

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

де:  $p_i$  – ймовірність частоти настання якоїсь події.

Вперше для оцінки ступеню структурованості екосистем Мак-Артур в 1955 р. використав загальне рівняння ентропії Шеннона [26], в якому  $p_i = n_i/N$ , де  $n_i$  – загальне число особин виду  $i$ ,  $N$  – загальне число особин в екосистемі). У 1957 р. Р. Маргалєф постулював теоретичну концепцію, згідно з якою різноманітність відповідає ентропії при випадковому відборі видів зі спільноти [27]. В результаті цих робіт набув широкого поширення і загальноновизнаності індекс Шеннона  $H$ , іноді званий індексом інформаційної різноманітності К. Шеннона [25]. При розрахунку ентропії  $H$  за Шенноном вважається, що кожна проба – випадкова вибірка із спільноти як співвідношення видів у пробі відображає їх реальне співвідношення у природі. В якості оцінок ймовірностей незалежних подій  $p_i$  для формули (1):

$$H = -\sum \left( \frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left( \frac{n_i}{N} \right) \quad (2)$$

На сьогодні для комплексної оцінки якості поверхневих вод використовується ентропійний індекс якості води –  $G$ , котрий

отримується із індексу Шеннона [25]. Поверхневі води є одним із основних джерел питного водопостачання. Забруднені водойми та водотоки стають не досить придатними для питного, а іноді і технічного водокористування, втрачають рибогосподарське значення та стають не придатними для сільськогосподарських потреб. Тому оцінка екологічного стану водних об'єктів залишається актуальною проблемою.

До головних джерел забруднення Дніпровського водосховища відносяться скиди стічних вод у річку без належної обробки, самовільне скидання стічних та забруднених вод, недотримання водоохоронного режиму в прибережних смугах і водоохоронних зонах, ерозійні процеси узбережжя. Тобто антропогенний вплив є суттєвим фактором функціонування річкової екосистеми, що призводить до порушення природного стану водотоку та погіршує якість води в річці Дніпро та Дніпровському водосховищі. Надходження забруднюючих речовин стічними водами в Дніпро ускладнює процес очищення води і вимагає збільшення на це енергетичних витрат.

Метою роботи є оцінка якості води Дніпровського водосховища за допомогою ентропійного індексу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) оцінити динаміку зміни основних компонентів екологічного стану поверхневої води;
- 3) визначити ентропійний індекс якості води.

### Об'єкти та методи дослідження

Дніпровське водосховище – одне з водосховищ на Дніпрі, розташоване в межах Дніпропетровської та Запорізької областей. Утворено 1932 р. при спорудженні Дніпрогесу, 1948 р. відбудоване, 1980 р. повністю реконструйоване. Водосховище призначено для виконання лише добового та тижневого регулювання стоку. При цьому коливання рівнів води допускається в межах 0,7 м. При значному маловодді Дніпровське водосховище може бути спрацьоване до рівня мертвого об'єму. З нього відбирається значна кількість води для побутових та господарських потреб (17,4 м<sup>3</sup>/сек.), потреб промисловості (до 148 м<sup>3</sup>/сек.) та зрошення земель (до 39

м<sup>3</sup>/сек.). Площа водного дзеркала водосховища (при підпертому рівні) 41 тис. га, загальна довжина 129 км, максимальна ширина – 7 км, максимальна глибина – 53 м. Сприятливі топографічна. ситуація і гідрогеологічні умови при створенні Дніпровського водосховища дозволили уникнути підтоплення земель і утворення мілководь [28].

При оцінці якості води використані відкриті дані результатів систематичного моніторингу якості поверхневих вод Державного агентства водних ресурсів України за період 2003 – 2022 рр.

Проведено аналіз результатів спостережень 8 гідрологічних постів (табл. 1, рис 1).



Таблиця 1

Гідрологічні пости контролю якості води

Table 1

Hydrological posts of water quality control

№ точки	ID поста	Назва поста
т1	27063	канал Дніпро-Донбас, 0,5 км, с. Шульгівка, після ГВК Дніпро-Донбас
т2	27047	р. Дніпро, 476 км, м. Верхньодніпровськ, питний водозабір
т3	27048	р. Дніпро, 462 км, смт. Аули, питний в/з м. Дніпро та м. Кам'янське
т4	27071	р. Дніпро, 420 км, м. Дніпро, правий берег, Кайдакський питний водозабір
т5	27072	р. Дніпро, 420 км, м. Дніпро, лівий берег, Ломовський питний водозабір
т6	27073	р. Дніпро, 404 км, м. Дніпро, ВП «ПдТЭС» ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго», питний водозабір
т7	27075	р. Дніпро, 365 км, с. Військове, питний в/з Солонянського району
т8	27074	р. Дніпро, 372 км, с.Воронове, питний в/з водоводу ДМП ВКП «Дніпро-Західний Донбас»

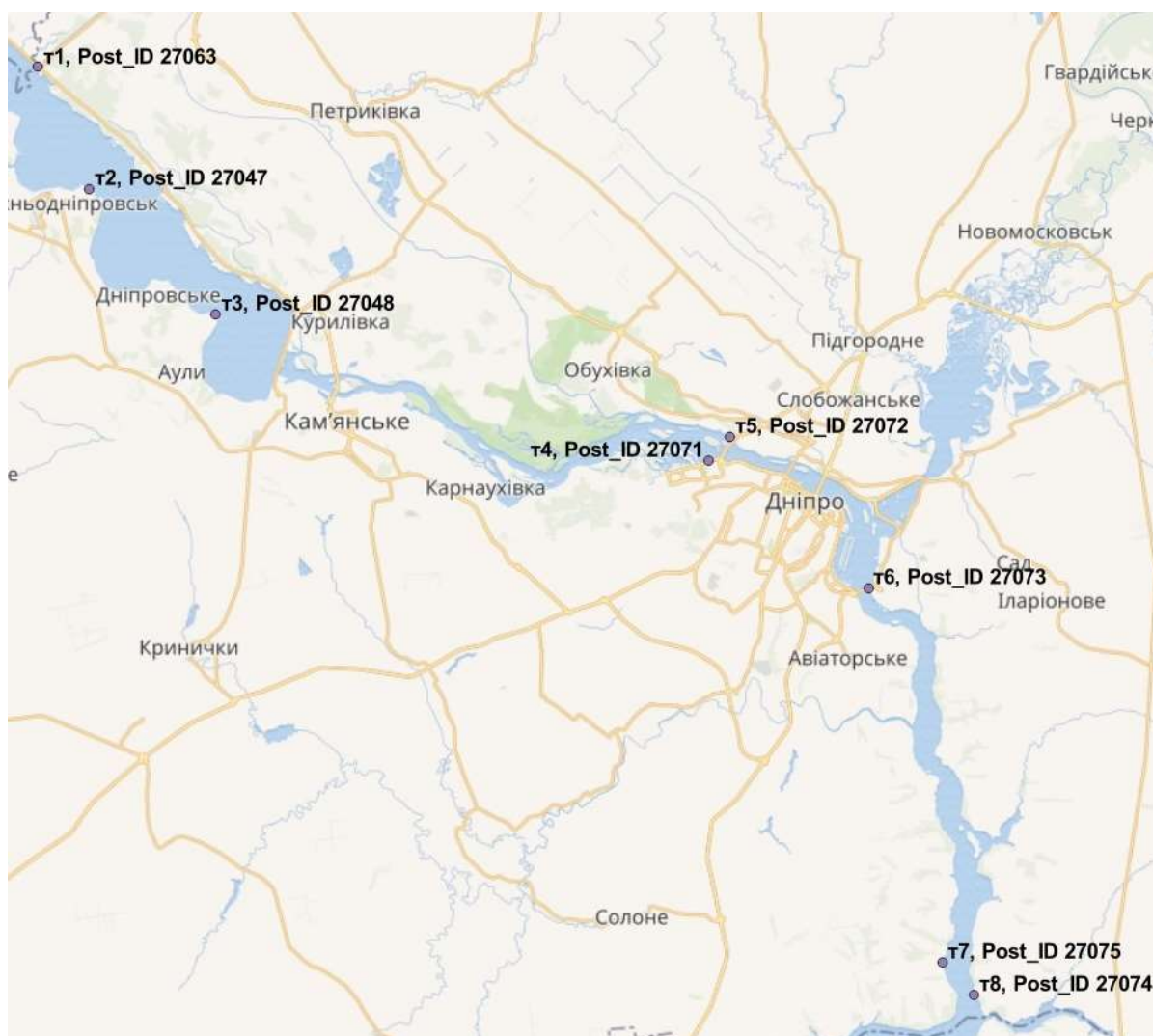


Рис. 1 – Розташування постів контролю якості води

Fig. 1 – Location of water quality control stations

Забруднення водних систем можна представити у вигляді системи тих гідрохімічних показників (елементів), концентрація яких перевищує нормативні концентрації. Тоді в рівнянні Шеннона  $p_i$  – ймовірність числа перевищень нормативу  $i$ -ї речовини або показника води від загальної суми перевищень нормативу –  $N$ ,  $p_i = n/N$ .  $G$ -функція характеризує гідроекологічні системи з боку співвідношення порядку та хаосу, мірами яких є геоекологічна синтропія –  $I$  [23] та ентропія Шеннона, відповідно,

$$G = \frac{H}{I} \quad (3)$$

$$H = \log_2 N - I \quad (4)$$

$$I = \frac{\sum n \log_2 n}{N} \quad (5)$$

Значення  $G$ -функції вказують на те, що та в якій мірі переважає у системі. Так, якщо  $G < 1$ , то в структурі системи переважає порядок, в іншому випадку, коли  $G > 1$ , – хаос. При  $G > 1$  хаос і порядок урівноважують одне одного, і структурна організація системи є рівноважною.

Для розрахунку  $I$ ,  $H$  та  $G$  скористаємося наступним обчислювальним алгоритмом.

1. Визначається число перевищень нормативу  $i$ -ї речовини чи показника якості води  $n$ .

2. Оцінюється загальна сума перевищень нормативу ( $N$ ):  $N = \sum n$ .

3. Обчислюються  $\log_2 N$ ,  $n \log_2 n$  та  $\sum n \log_2 n$ .

4. Розраховується геоекологічна синтропія  $I$  (5) та ентропія  $H$  (4).

5. Визначається ентропійний індекс якості води  $G$  (3)

### Результати та обговорення

Проаналізуємо динаміку основних показників екологічного стану води за середньорічними показниками. У табл. 2 наведено усереднені дані спостережень за період 2003 – 2022 років за 8 гідрологічними постами контролю якості поверхневих вод ділянки Дніпровського водосховища. Для порівняння додано нормативні значення відповідно до ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо екологічного стану поверхневих вод і правила вибирання» (для 1-го класу якості) [29].

Як видно з наведено таблиці, вода за усіма показниками не відповідає верхній межі 1-го класу якості за ДСТУ 4808:2007. Також середньорічні значення в перевищують в рази мінімальні значення досліджуваних показників.

Для визначення впливу господарської діяльності в межах річкового басейну розглянемо динаміку основних показників екологічного стану (рис. 2 – рис. 6) за гідрологічними постами від нижньої ділянки Кам'янського водосховища (т2, т3) до середньої ділянки Дніпровського водосховища (т7, т8)

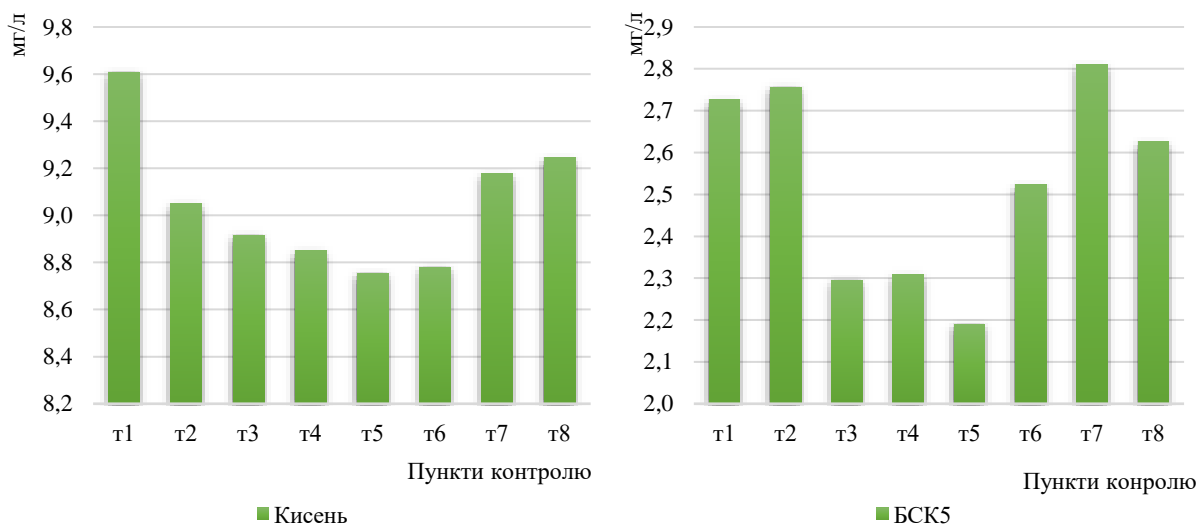
Таблиця 2

Середньорічні значення показників якості води за 2003 – 2021 рр.

Table 2

Average annual values of water quality indicators for 2003 - 2021.

	т1	т2	т3	т4	т5	т6	т7	т8	Норматив
БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	2,726	2,756	2,295	2,309	2,190	2,523	2,810	2,625	1,300
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	6,979	6,339	4,408	4,764	5,112	5,104	5,614	5,332	1,000
Кисень, мг/дм <sup>3</sup>	9,608	9,051	8,916	8,849	8,754	8,780	9,178	9,244	10,000
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	32,85	33,52	31,87	32,91	37,92	58,69	45,45	55,14	20,00
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	18,58	25,15	24,86	24,36	26,12	35,398	30,623	32,51	10,00
Амоній, мг/дм <sup>3</sup>	0,289	0,328	0,313	0,315	0,318	0,312	0,332	0,30	0,100
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	1,347	1,604	1,598	1,881	1,610	1,817	1,802	1,79	0,100
Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	0,044	0,051	0,043	0,057	0,060	0,061	0,058	0,05	0,002
Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	0,345	0,292	0,324	0,305	0,349	0,344	0,316	0,28	0,015
СПАР, мг/дм <sup>3</sup>	0,022	0,022	0,026	0,026	0,022	0,026	0,022	0,03	0,020
ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	27,00	28,61	26,687	27,157	27,682	29,14	29,609	29,07	9,000

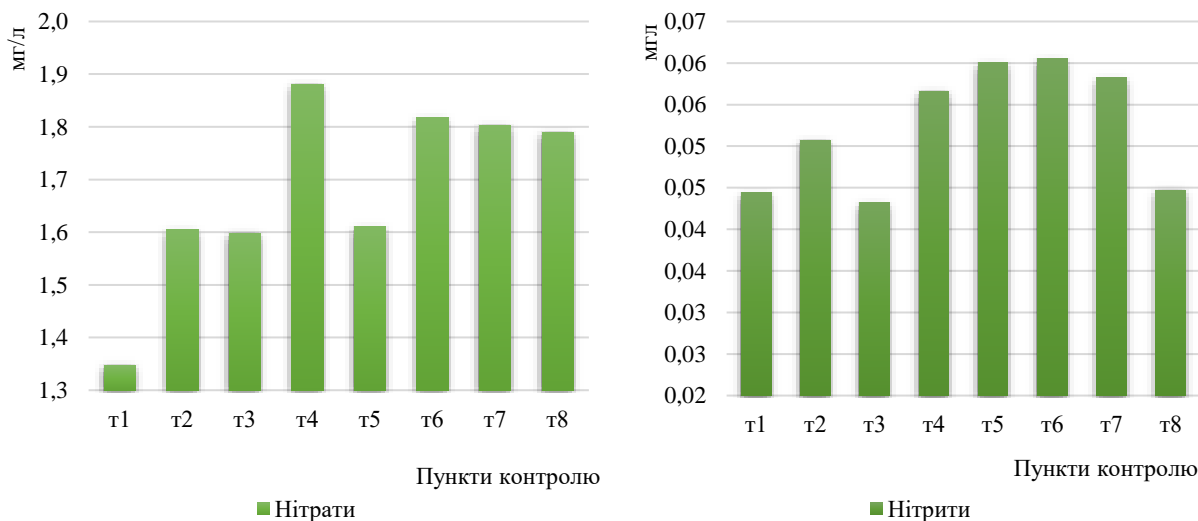


**Рис. 2** – Динаміка показників кисню та БСК<sub>5</sub> за пунктами контролю  
**Fig. 2** – Dynamics of oxygen indicators and BOD<sub>5</sub> at control points

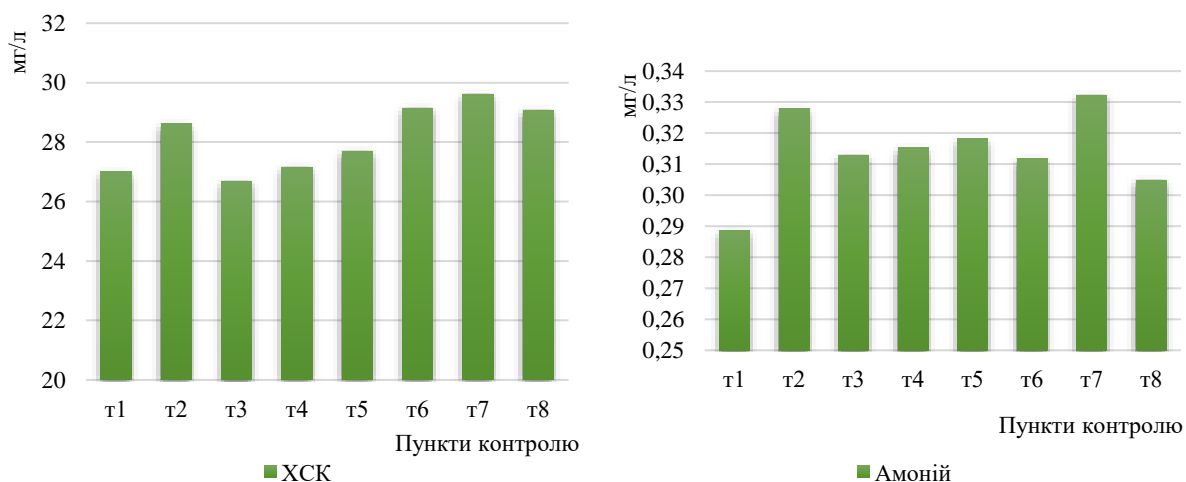
Спостерігається зниження рівня БСК<sub>5</sub> для гідрологічних постів в межах м. Дніпро, що свідчить про надходження до річки речовин, що пригнічують біохімічні процеси, (t4 та t5) та поступове збільшення значень цього показника на виході з міста і далі вниз за течією, що може свідчити про надходження речовин органічного походження. Біохімічне споживання кисню та вміст розчиненого кисню є важливим показником для оцінки стану водойми. БСК – це кількість кисню, яка потрібна для окиснення органічних речовин, що містяться в 1 л води, аеробними

бактеріями до CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O впродовж 5 діб без доступу повітря і світла.

Для точки t4 характерне збільшення нітритів та нітратів (рис. 3), зменшення кисню (рис. 2) при практично однаковій концентрації амонію (рис. 4). Оскільки точка t4 (Кайдакський питний водозабір) розташована по правобережжю до промислової зони м. Дніпро, її екологічний стан може бути обумовлений щільно розташованими вище за течією садовими товариствами та дачними поселеннями, а причиною підвищеного вмісту нітратів у водотоці може бути



**Рис. 3** – Динаміка нітратів та нітритів за пунктами контролю  
**Fig. 3** – Dynamics of nitrates and nitrites by control points

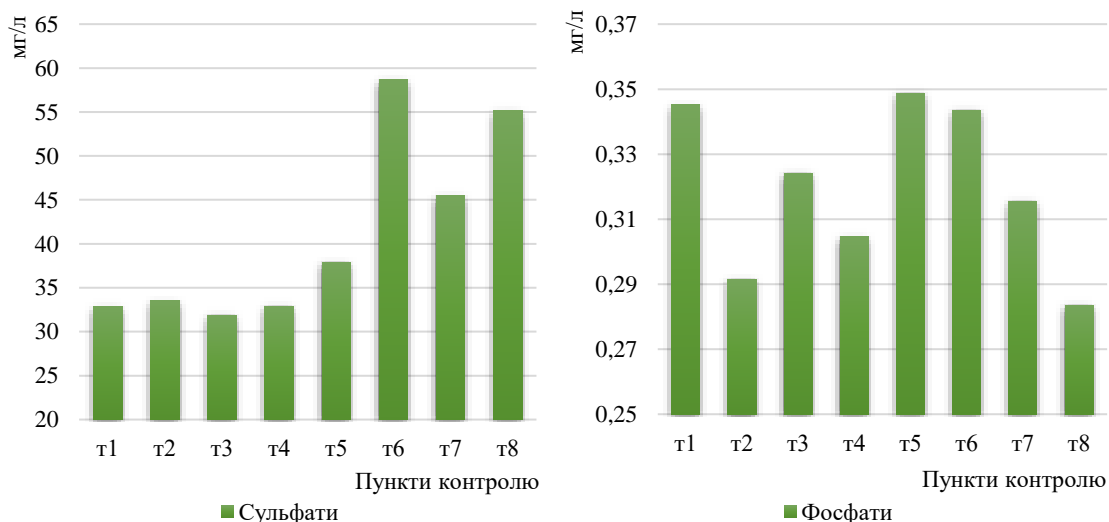


**Рис. 4** – Динаміка ХСК та амонію за пунктами контролю  
**Fig. 4** – Dynamics of COD and ammonium at control points

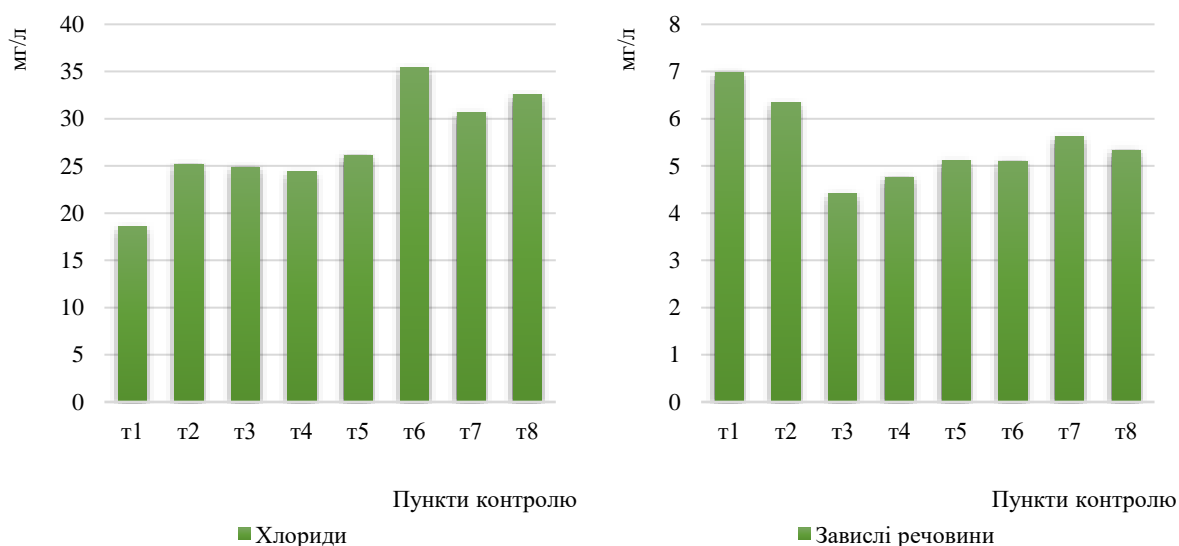
їх надходження разом зі стоками з полів та ділянок, оброблених азотомісними добривами (аміачна та кальцієва селітра). Іони амонію, нітрати, нітрити можуть потрапляти до води за рахунок розкладу органічних речовин тваринного і рослинного походження. Іони амонію, крім того, потрапляють до водосховищ зі стічними промисловими водами. Окислення іонів амонію киснем, розчиненим у воді до нітрат-іонів – одна з причин збільшення нітратів. Підвищений вміст нітратів у воді небезпечний для здоров'я населення. Це пов'язано з роллю нітратів у синтезі нітросамінів і нітросамідів, як у навколишньому середовищі (у

воді, водоймі, ґрунті, рослинах) так і в організмі людини (у травному каналі). Нітросамідам і нітросамінам властива мутагенна й канцерогенна дія. Тому підвищений вміст нітратів у воді сприяє підвищенню ризику щодо онкогенної захворюваності населення. Крім того, підвищений вміст азотних речовин спонукає процеси евтрофікації водойми.

Для точок t5 та t6, що знаходяться в межах міста, спостерігається збільшення вмісту сульфатів, фосфатів та хлоридів (рис. 5, 6). Можна припустити, що причиною цього є потрапляння недостатньо очищених стічних вод підприємств м. Дніпро.



**Рис. 5** – Динаміка сульфатів та фосфатів за пунктами контролю  
**Fig. 5** – Dynamics of sulfates and phosphates by control points



**Рис. 6** – Динаміка хлоридів та завислих речовин за пунктами контролю  
**Fig. 6** – Dynamics of chlorides and suspended substances by control points

Потрапляння фосфатів та сульфатів характерне для процесів діяльності житлово-комунального господарства міста. Не дивлячись на те, що для систем централізованого водовідведення встановлені нормативи вмісту фосфатів у стічних водах, використання фосфатів у побутових миючих засобах залишається ненормованим. Сульфати разом з хлоридами є найпоширенішими видами забруднення у воді. Вони потрапляють у воду внаслідок вимивання осадових гірських порід, вилуговування ґрунту та іноді

внаслідок окислення сульфідів та сірки – продуктів розкладу білку із стічних вод. Великий вміст сульфатів у воді може бути причиною хвороб системи травлення, а також така вода може викликати корозію бетону і залізобетонних конструкцій, що вкрай небезпечно для водосховищ [30].

Результати розрахунку ентропійного індексу за алгоритмом (3) – (5) наведені в табл. 3 та табл. 4. Динаміка ентропійного індексу за пунктами контролю показана на рисунку 7).

**Число перевищень нормативу *i*-го показника якості води**

**The number of violations of the norm of the *i*-th indicator of water quality**

**Таблиця 3**

**Table 3**

Показники якості води	<i>n</i> у пунктах контролю							
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
БСК <sub>5</sub>	391	84	193	194	154	205	80	88
Завислі речовини	411	82	195	197	157	207	83	88
Кисень	227	63	152	77	126	74	24	31
Сульфати	409	89	224	230	173	236	86	95
Хлориди	411	92	235	237	178	236	87	95
Амоній	396	92	233	247	185	240	87	95
Нітрати	401	92	235	237	178	235	87	95
Нітрити	397	92	235	237	178	236	87	95
Фосфати	407	92	235	237	178	236	87	95
СПАР	0	51	194	193	134	192	51	59
ХСК	0	92	234	249	186	244	87	95

Таблиця 4

Розрахунки ентропійного індексу якості води

Table 4

Calculations of the entropy index of water quality

Значення	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
$N$	3883	925	2368	2428	1829	2433	885	964
$\log 2 N$	11,923	9,853	11,209	11,246	10,837	11,249	9,790	9,913
$\sum n \log 2 n$	33332,45	5901,483	18351,64	18920,3	13494,84	18954,75	5327,051	6236,89
$I$	8,5842	6,3800	7,7498	7,7925	7,3783	7,7907	6,0193	6,4698
$H$	3,3388	3,4733	3,4596	3,4530	3,4586	3,4578	3,7703	3,4431
$G$	<b>0,3889</b>	<b>0,5444</b>	<b>0,4464</b>	<b>0,4431</b>	<b>0,4688</b>	<b>0,4438</b>	<b>0,6264</b>	<b>0,5322</b>

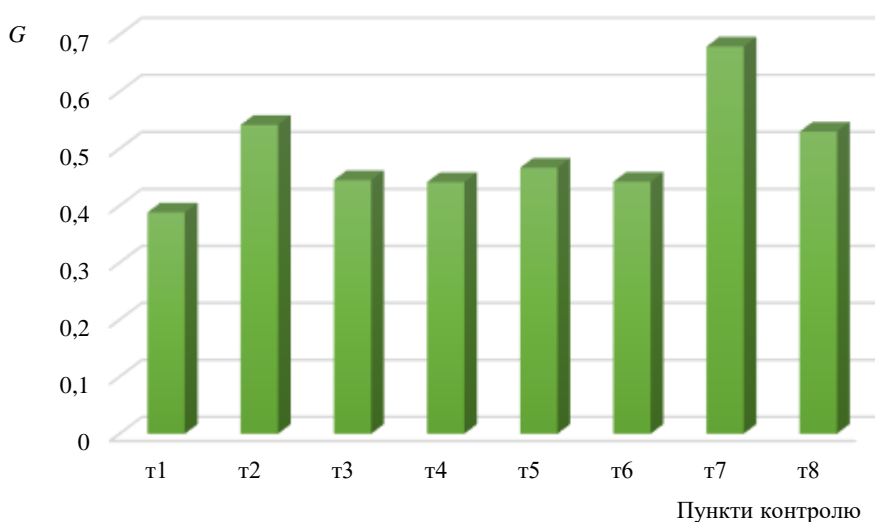


Рис. 7 – Динаміка ентропійного індексу якості води за пунктами контролю  
Fig. 7 – Dynamics of the entropy index of water quality by control points

Як визначено з даних на рис. 7 найбільші значення ентропійного індексу якості води характерні для пунктів t2 (0,5444), t7 (0,6264) та t8 (0,5322). Дані пункти контролю знаходяться на значній відстані від промислових центрів, то, ймовірно, вирішальне значення у формуванні якості води відіграють забруднення, спричинені сільськогосподарським виробництвом. Найменше значення індексу (0,3889) характерне для пункту t1 – с. Шулківка, після ГВК Дніпро-Донбас.

Оскільки Дніпро є одним з найголовніших поверхневих джерел питного водопостачання в Україні, то треба враховувати, що традиційна біологічна очистка дозволяє видалити основну масу органічно забруднюючих речовин, але не спроможна забезпечити достатню, за сучасними вимогами, глибину видалення сполук азоту та фосфору, а також органічних речовин (БСК, ХСК). У процесі

очистки відбувається трансформація та часткове (20–40 %) видалення амонійного азоту та фосфору. При цьому під час очистки протікають процеси амоніфікації та наступної нітрифікації азоту, а також гідроліз сполук фосфору. Сьогодні більше уваги приділяється зменшенню надходження фосфору через те, що вважається, що здійснення контролю над процесом евтрофікації водойм залежить, в основному, від зниження концентрації саме фосфору. Однак, не менш важливо те, що видаляти зі стічних вод сполуки азоту набагато важче [31]. Для підвищення ефективності очистки стічних вод від сполук фосфору використовують мінеральні коагулянти. В останні роки застосовують також синтетичні флокулянти самостійно або разом з коагулянтами (солями алюмінію та заліза) і вапном [32]. Серед методів очистки стічних вод від сполук азоту відомі наступні:

фізико-хімічні, електрохімічні, метод іонного обміну, біологічні. Всі ці методи мають своє розповсюдження в різних галузях промисловості, але мають ряд недоліків, і тому не завжди можуть бути застосовані на практиці очистки стічних вод від біогенних елементів. Переваги біологічного видалення

азоту полягають у тому, що у результаті процесу нітрифікації може бути досягнутий необхідний ступінь видалення аміаку (якщо виникає необхідність, потім проводять денітрифікацію). Крім того, таку систему можна пристосувати у якості доповнення до існуючої системи біологічної очистки.

### Висновки

В результаті оцінка якості води Дніпровського водосховища за допомогою ентропійного індексу встановлено, що основними забруднювачами води є нітрити, нітрати та фосфати і завислі речовини. Це може спричинити негативний вплив на здоров'я, внаслідок мутагенної та канцерогенної дії,

також прискорює евтрофікацію водного об'єкту. Спостерігається негативний вплив агропромислового виробництва на екологічний стан Дніпровського водосховища. Величина ентропійного індексу якості води коливається від 0,3889 (пункт т1) до 0,6264 (пункт т7).

### 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. Massoud M. Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. *Environ. Monit. Assess.* 2012. Vol.184. P. 4151–4160, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2251-z>
2. Alver A. Evaluation of conventional drinking water treatment plant efficiency according to water quality index and health risk assessment. *Environ Sci Pollut Res.* 2019. Vol. 26. P. 27225–27238 . DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05801-y>
3. Dong Liu, Yingxun Du, Shujie Yu, Juhua Luo, Hongtao Duan, Human activities determine quantity and composition of dissolved organic matter in lakes along the Yangtze River, *Water Research*, 2020, Vol. 168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115132>
4. Mohamed Gad, Mamdouh El-Hattab, Integration of water pollution indices and DRASTIC model for assessment of groundwater quality in El Fayoum depression, western desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 158. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103554>
5. Jin Hwi Kim, Jae-Ki Shin, Hankyu Lee, Dong Hoon Lee, Joo-Hyon Kang, Kyung Hwa Cho, Yong-Gu Lee, Kangmin Chon, Sang-Soo Baek, Yongeun Park, Improving the performance of machine learning models for early warning of harmful algal blooms using an adaptive synthetic sampling method, *Water Research*. 2021. Vol. 207. 117821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117821>
6. Jianghu Lan, Tianli Wang, Sakonvan Chawchai, Peng Cheng, Kang'en Zhou, Keke Yu, Dongna Yan, Yaqin Wang, Jingjie Zang, Yujie Liu, Liangcheng Tan, Li Ai, Hai Xu, Time marker of 137Cs fallout maximum in lake sediments of Northwest China. *Quaternary Science Reviews*, 2020. Vol. 241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106413>
7. Hai-Min Lyu, Shui-Long Shen, Annan Zhou, The development of IFN-SPA: A new risk assessment method of urban water quality and its application in Shanghai. *Journal of Cleaner Production*. 2021, Vol. 282. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124542>
8. Podlasek A., Koda E., Markiewicz A., Osinski P. Identification of Processes and Migration Parameters for Conservative and Reactive Contaminants in the Soil-Water Environment: *Towards a Sustainable Geoenvironment*. 2019. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1\\_60](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1_60)
9. Grinberga L., Grabuža D., Grīnfelde I., Lauva D., Celms A.; Sas, W., Gļuchowski A., Džeļciņš J. Analysis of the Removal of BOD5, COD and Suspended Solids in Subsurface Flow Constructed Wetland in Latvia. *Acta Sci. Polonorum. Archit.* 2021. Vol. 20. P. 8. DOI: <https://doi.org/10.22630/ASPA.2021.20.4.31>
10. Paun I., Cruceru L., Chiriac F.L., Niculescu M., Vasile G., Marin N. Water quality indices - methods for evaluating the quality of drinking water. *Incd ecoind – international symposium – simi 2016 “The environment and the industry”*, proceedings book, 2016. 395-402. DOI: <https://doi.org/10.21698/simi.2016.0055>



11. Shwetank Suhas, Chaudhary J.K. A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment. *Procedia Comput. Sci.*, 2020, 171, 1194–1203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.128>
12. Pandey R., Pattanaik L. A. Fuzzy QFD Approach to Implement Reverse Engineering in Prosthetic Socket Development. *Int. J. Ind. Syst. Eng.* 2014. Vol. 17. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJISE.2014.060819>
13. Безсонний В.Л., Пономаренко Р. В., Третьяков О. В., Иванов С.В., Бородич П. Ю., Луценко Т. О. Інтегральна оцінка екологічного стану Дніпровського водосховища. *Проблеми надзвичайних ситуацій*, 2022, №1(35). С. 209 - 227. DOI: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-35-16>
14. Безсонний В.Л., Пономаренко Р. В., Третьяков О. В., Калда Г. С., Асоцький В. В. Моніторинг екологічної безпеки водотоків за кисневими показниками. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*, 10 (2/2021) С. 75-83. DOI: <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2021.2.12>
15. Rezaei A., Hassani H., Hassani S., Jabbari N., Fard Mousavi S.B., Rezaei S. Evaluation of Groundwater Quality and Heavy Metal Pollution Indices in Bazman Basin, Southeastern Iran. *Groundw. Sustain. Dev.* 2019. Vol. 9. P. 100245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100245>
16. Li R., Zou Z., An Y. Water Quality Assessment in Qu River Based on Fuzzy Water Pollution Index Method. *J. Environ. Sci.* 2016. Vol. 50. P. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.03.030>
17. Rezaei A., Hassani H., Hayati M., Jabbari N., Barzegar R. Risk Assessment and Ranking of Heavy Metals Concentration in Iran's Rayen Groundwater Basin Using Linear Assignment Method. *Stoch Environ. Res. Risk Assess.* 2018. Vol. 32. P. 1317–1336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1477-x>
18. Chapman Deborah V. World Health Organization, UNESCO & United Nations Environment Programme. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring / edited by Deborah Chapman, 2nd ed. E & FN Spon. 1996. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41850>
19. Cao Truong Son; Nguyen Thi Huong Giang; Trieu Phuong Thao; Nguyen Hai Nui; Nguyen Thanh Lam; Vo Huu Cong. Assessment of Cau River water quality assessment using a combination of water quality and pollution indices. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua.* 2020. Vol. 69. № 2. P. 160–172. DOI: <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.122>
20. Podgorski J., Berg M. Global analysis and prediction of fluoride in groundwater. *Nature Communications.* 2022. Vol.13. N 1. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31940-x>
21. C.W.K. Chow. Potable Water. Water analysis. *Encyclopedia of Analytical Science* (Second Edition), 2005, P. 253-262. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00654-3>
22. Simonyan, G. (2020). Systemic-Entropic Approach for Assessing Water Quality of Rivers, Reservoirs, and Lakes. In A. Devlin, J. Pan, & M. M. Shah (Eds.), *Inland Waters - Dynamics and Ecology*. IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.93220>
23. Simonyan G.; Pirumyan G. Entropy - System Approach to Assess the Ecological Status of Reservoirs in Armenia. *Preprints* 2019, 2019010260. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints201901.0260.v1>
24. Ashby W. Introduction to cybernetics. M.: IL, 1959. 432 p.
25. Shannon C. Works on information theory and cybernetics. M.: IL, 1963. 830 p.
26. MacArthur R.M. Fluctuation of animal populations and measure of community stability. *Ecology.* 1955. Vol. 36. № 3. P. 533-536.
27. Margalef R. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 1958. Vol. 3. Pp. 36.
28. Яцик А. В. Дніпровське водосховище. *Енциклопедія Сучасної України : енциклопедія [електронна версія] / ред.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2008. Т. 8. URL: <https://esu.com.ua/article-22194>*
29. DSTU 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=53159](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=53159)
30. Nekos A., Boiaryn M, Lugowska M., Tsos O., Netrobchuk I. Assessment of the ecological condition of the Western Bug river basin according to the macrophyte index for rivers (MIR). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Geology. Geography. Ecology»*; 2021 N 54. P. 316-328. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-24>
31. Tretyakov O., Shevchenko T., Bezsonnyi V. Improving the environmental safety of drinking water supply in kharkiv region (Ukraine). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015. Vol. 5. N 10(77). P. 40–49. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398>
32. Шевченко Т.О. Вивчення впливу біогенних речовин у міських стічних водах, що скидаються, на поверхневі водойми. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки.* 2016, Вип. 27. С. 437-445. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/2115/201627-437-445.pdf?sequence=1>

Стаття надійшла до редакції 25.10.2022

Стаття рекомендована до друку 25.11.2022

**V. L. BEZSONNYI**, PhD (Technical),

Associate Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

e-mail: [bezsonny@gmail.com](mailto:bezsonny@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>

*V. N. Karazin Kharkiv National University*

6, Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

**O. V. TRETYAKOV**, DSc (Technical), Prof.,

Professor of the Department of Civil and Industrial Safety

e-mail: [mega\\_ovtr@ukr.net](mailto:mega_ovtr@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0095-5846>

*National Aviation University*

1, Liubomyra Huzara ave., Kyiv, Ukraine, 03058

**L. D. PLYATSUK**, DSc (Technical), Prof.,

Head of the Department of Department of Ecology and Environmental Protection Technologies

e-mail: [l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua](mailto:l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0095-5846>

*Sumy State University*

2, Rymyskogo-Korsakova st., Sumy, Ukraine, 40007

**A. N. NEKOS**, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

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

*V. N. Karazin Kharkiv National University*

6, Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

## ENTROPY APPROACH TO ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF A WATER COURSE

**Purpose.** Water quality assessment of the Dnipro Reservoir using the entropy index.

**Methods.** Analytical-synthetic method, geo-informational (cartographic modeling), analysis of information sources, entropy analysis.

**Results.** It was established that the water does not meet the upper limit of the 1st quality class according to DSTU 4808:2007 by all parameters except BOD<sub>5</sub>, COD and suspended matter. There is a decrease in the level of BOD<sub>5</sub> at posts in the city of Dnipro, which indicates the entry into the watercourse of substances that inhibit biochemical processes (t<sub>4</sub> and t<sub>5</sub>) and a gradual increase of this indicator at the exit from the city and further downstream, which indicates the entry of organic substances. The oxygen content decreases in the part of the watercourse located in the city (t<sub>4</sub> - t<sub>6</sub>) and increases in the middle and lower part of the reservoir. There is also a trend of growth of sulfates, nitrogen compounds, phosphates, SPAR and COD for control points located within the city of Dnipro. The highest values of the entropy index of water quality are characteristic of points t<sub>2</sub> (0.5444), t<sub>7</sub> (0.6264) and t<sub>8</sub> (0.5322). These control points are located at a considerable distance from industrial centers, so pollution caused by agricultural production probably plays a decisive role in the formation of water quality. The lowest value of the index (0.3889) is characteristic of item t<sub>1</sub> - s. Shulgivka, after GVK Dnipro-Donbas.

**Conclusions.** It was established that the main water pollutants are nitrites, nitrates, phosphates and suspended solids. It can cause a negative impact on health due to mutagenic and carcinogenic effects, and also accelerates the eutrophication of the water body. A negative impact of agro-industrial production on the ecological condition of the Dnieper Reservoir is observed. The value of the entropy index of water quality ranges from 0.3889 to 0.6264.

**KEYWORDS:** ecological state of surface waters, entropy index of water quality, Dnieper reservoir, pollution

### References

1. Massoud, M. (2012). Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. *Environ. Monit. Assess.*, 184, 4151–4160, <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2251-z>
2. Alver, A. (2019). Evaluation of conventional drinking water treatment plant efficiency according to water quality index and health risk assessment. *Environ Sci Pollut Res* 26, 27225–27238. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05801-y>

3. Dong, Liu, Yingxun, Du, Shujie, Yu, Juhua, Luo, & Hongtao, Duan, (2020). Human activities determine quantity and composition of dissolved organic matter in lakes along the Yangtze River. *Water Research*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115132>
4. Gad, M., & El-Hattab, M. (2019). Integration of water pollution indices and DRASTIC model for assessment of groundwater quality in El Fayoum depression, western desert, Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103554>
5. Jin, Hwi Kim, Jae-Ki, Shin, Hankyu, Lee, Dong Hoon, Lee, Joo-Hyon, Kang, Kyung, Hwa Cho, Yong-Gu Lee, Kangmin, Chon, Sang-Soo, Baek, Yongeun Park (2021). Improving the performance of machine learning models for early warning of harmful algal blooms using an adaptive synthetic sampling method. *Water Research*, 207, 117821. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117821>
6. Jianghu, Lan, Tianli, Wang, Sakonvan, Chawchai, Peng, Cheng, Kang'en, Zhou, Keke Yu, Dongna, Yan, Yaqin, Wang, Jingjie Zang, Yujie, Liu, Liangcheng, Tan, Li, Ai, Hai, Xu (2020). Time marker of <sup>137</sup>Cs fallout maximum in lake sediments of Northwest China. *Quaternary Science Reviews*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106413>
7. Hai-Min Lyu, Shui-Long Shen, Annan Zhou, (2021). The development of IFN-SPA: A new risk assessment method of urban water quality and its application in Shanghai. *Journal of Cleaner Production*, 282, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124542>
8. Podlasek A., Koda E., Markiewicz A., & Osinski P. (2019). Identification of Processes and Migration Parameters for Conservative and Reactive Contaminants in the Soil-Water Environment: Towards a Sustainable Geoenvironment. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1\\_60](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2221-1_60)
9. Grinberga L., Grabuža D., Grīnfelde I., Lauva D., Celms A.; Sas, W., Gluchowski A., Dzieciol J. (2021). Analysis of the Removal of BOD<sub>5</sub>, COD and Suspended Solids in Subsurface Flow Constructed Wetland in Latvia. *Acta Sci. Polonorum. Archit.*, 20, 8. <https://doi.org/10.22630/ASPA.2021.20.4.31>
10. Paun, I., Cruceru, L., Chiriac, F.L., Niculescu, M., Vasile, G., & Marin, N. (2016). Water quality indices - methods for evaluating the quality of drinking water. In Proceedings Secoind – international symposium – simi 2016 “The environment and the industry”, 395-402. <https://doi.org/10.21698/simi.2016.0055>
11. Shwetank, Suhas, Chaudhary, J.K. (2020). A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment. *Procedia Comput. Sci.*, 171, 1194–1203. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.128>
12. Pandey, R., & Pattanaik, L. A. (2014). Fuzzy QFD Approach to Implement Reverse Engineering in Prosthetic Socket Development. *Int. J. Ind. Syst. Eng.*, 17, 1–14. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2014.060819>
13. Bezsonnyi, V., Ponomarenko R., Tretyakov O., Burmenko O., Borodych, P., Karpets, K. (2021). Environmental risk assessment due to the impact of communal facilities on surface waters/ *Problems of Emergency Situations*. 2(34), 58 – 76. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2021-34-5> (in Ukrainian)
14. Bezsonnyi V., Ponomarenko R., Tretyakov O., Kalda G., Asotskyi V. (2021). Monitoring of ecological safety of watercourses by means of oxygen indicators. *Technogenic and ecological safety*, 10(2/2021), 75–83. <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2021.2.12> (in Ukrainian)
15. Rezaei, A., Hassani, H., Hassani, S., Jabbari, N., Fard Mousavi, S.B., Rezaei, S. (2019). Evaluation of Groundwater Quality and Heavy Metal Pollution Indices in Bazman Basin, Southeastern Iran. *Groundw. Sustain. Dev.*, 9, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100245>
16. Li, R., Zou, Z., An, Y. (2016). Water Quality Assessment in Qu River Based on Fuzzy Water Pollution Index Method. *J. Environ. Sci.*, 50, 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.03.030>
17. Rezaei, A., Hassani, H., Hayati, M., Jabbari, N., Barzegar, R. (2018). Risk Assessment and Ranking of Heavy Metals Concentration in Iran's Rayen Groundwater Basin Using Linear Assignment Method. *Stoch Environ. Res. Risk Assess.*, 32, 1317–1336. <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1477-x>
18. Chapman, Deborah, V. (1996). World Health Organization, UNESCO & United Nations Environment Programme. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. In Chapman D. (Ed.), 2nd ed., E & FN Spon. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41850>
19. Cao, Truong Son; Nguyen, Thi Huong Giang; Trieu, Phuong Thao; Nguyen, Hai Nui; Nguyen, Thanh Lam; Vo, Huu Cong. (2020). Assessment of Cau River water quality assessment using a combination of water quality and pollution indices. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua.*, 69 (2): 160–172. <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.122>
20. Podgorski J., Berg M. (2022). Global analysis and prediction of fluoride in groundwater. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31940-x>
21. Chow, C.W.K. (2005). Potable Water. Water Analysis. *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)*, 253-262. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00654-3>
22. Simonyan, G. (2020). Systemic-Entropic Approach for Assessing Water Quality of Rivers, Reservoirs, and Lakes. In A. Devlin, J. Pan, & M. M. Shah (Eds.), *Inland Waters - Dynamics and Ecology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93220>

23. Simonyan, G.; Pirumyan, G. (2019). Entropy - System Approach to Assess the Ecological Status of Reservoirs in Armenia. Preprints, 2019010260. <https://doi.org/10.20944/preprints201901.0260.v1>
24. Ashby, W. (1959). Introduction to cybernetics. M.: IL.
25. Shannon, C. (1963). Works on information theory and cybernetics. Moscow: IL.
26. MacArthur, R.M. (1955). Fluctuation of animal populations and measure of community stability. *Ecology*, 36(3), 533-536.
27. Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3.
28. Yatsyk, A. V. (2008). Dnipro Reservoir. *Encyclopedia of Modern Ukraine*, 8. Institute of Encyclopedic Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. Retrieved from <https://esu.com.ua/article-22194> (in Ukrainian)
29. DSTU 4808:2007, (2007). Dzherela tsentralizovanoho pytnoho vodopostachannya. Hihiyenichni ta ekolohichni vymohy shchodo ekolohichnoho stanu poverkhnevyykh vod i pravyla vybyrannya [Sources of centralized drinking water supply. Hygienic and ecological requirements for water quality and selection rules] Retrieved from [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=53159](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53159) (in Ukrainian)
30. Nekos, A., BoiarynM., Lugowska, M., Tsos, O., & Netrobchuk, I. (2021). Assessment of the ecological condition of the Western Bug river basin according to the macrophyte index for rivers (MIR). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (54), 316-328. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-24>
31. Tretyakov, O., Shevchenko, T., & Bezsonnyi, V. (2015). Improving the environmental safety of drinking water supply in kharkiv region (Ukraine). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10(77)), 40–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51398>
32. Shevchenko, T.O. (2016). Study of the impact of biogenic substances in urban wastewater discharged on surface water bodies. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*. (27), 437-445. <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/2115/201627-437-445.pdf?sequence=1>

The article was received by the editors 25.10.2022

The article is recommended for printing 25.11.2022



DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-02>

УДК (UDC): 628.1.033

**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>

**М. І. КУЛІК**<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>

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

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ З ПРИРОДНИХ ДЖЕРЕЛ У МЕЖАХ МІСТА ХАРКОВА

Підвищення надійності та якості водопостачання населення питною водою є однією з першочергових соціальних проблем, оскільки здоров'я населення значною мірою залежить від рівня безпеки питної води.

**Мета.** Визначити склад джерельної питної води, що споживається мешканцями різних районів м. Харкова та порівняти оцінку якості питної води з різних природних джерел.

**Методи.** Польові, лабораторно-аналітичні, статистичні.

**Результати.** Досліджено проби води з 5 природних джерел м. Харкова, з яких населення набирає воду для питних потреб. Визначено, що за органоліптичними показниками перевищень нормативних значень не спостерігається, рН майже не змінюється за сезонністю, за виключенням проби з джерела «Немишлянське». Аналіз загальної лужності в осінній період показало перевищення нормативу лише в пробах джерела парк «Юність» і по вул. Клочківська, а в весняний період – тільки в пробі джерела по вул. Клочківська. Загальна жорсткість в пробах коливається в осінній період від 4,9 до 8,04 ммоль/дм<sup>3</sup>, а в весняний період – 6,6 до 10,4 ммоль/дм<sup>3</sup>. Перевищень за вмістом хлоридів не спостерігається ні в одній із досліджуваних проб води. Вміст заліза перевищує рівень ГДК тільки в пробах води з джерела «Немишлянське». Вміст алюмінію, цинку, кадмію, міді, свинцю, аміаку і нітритів в пробах знаходиться значно нижче рівня ГДК, і майже не змінюється за сезонами.

**Висновки.** На формування загального класу якості проб води з природних джерел суттєвий вплив чинить високий рівень загальної лужності, загальної жорсткості і вмісту заліза у деяких джерелах нецентралізованого водопостачання. За інтегральним екологічним індексом проби води в осінній період з природних джерел «Немишлянське», Парк «Юність» і по вул. Клочківська відносяться до II класу якості, тобто чиста вода. Інтегральний екологічний індекс для всіх інших проб води в осінній період відносить ці джерела до I класу якості води – дуже чисті. Розрахунок інтегрального екологічного індексу для проб води з всіх природних джерел в весняний період відносить їх до II класу якості.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** водопостачання, джерельна вода, якість питної води, забруднення, водневий показник

**Як цитувати:** Лісняк А. А., Кулик М. І. Оцінка якості питної води з природних джерел у межах міста Харкова. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 28. С. 20 - 31. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-02>

**In cites:** Lisnyak, A. A., & Kulyuk, M. I. (2022). Assessment of the drinking water quality from natural sources in the Kharkiv city. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 20 - 31. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-02> (in Ukrainian)



## Вступ

Питання якості питної води буде актуальне завжди, адже вона є живильною для людства. Вода є одним з найважливіших факторів навколишнього середовища, що впливає на всі процеси життєдіяльності організму. У водному середовищі відбуваються найважливіші фізико-хімічні процеси, пов'язані з обміном речовин в організмі: гідроліз, асиміляція, дисиміляція, дифузія, резорбція, фільтрація тощо. Загальна світова тенденція щодо погіршення ситуації з питною водою спонукає людство приділяти дедалі більшу увагу водоочисним технологіям та збалансованому водокористуванню. Світові організації прогнозують, що у найближчі двадцять років жителям Землі знадобиться на 30 % більше питної води ніж зараз [1].

У питному водопостачанні підземні води мають значні переваги перед поверхневими, оскільки менше забруднені та характеризуються сталістю хімічних властивостей, більш захищені від зовнішніх факторів [2]. Формування режиму ґрунтових вод

відбувається під значним впливом кліматичних і техногенних чинників, що визначає епізодичні сезонні та багаторічні зміни їх запасів і хімічного складу [3]. Питна вода в Україні за бактеріологічними, органолептичними показниками та вмістом хімічних речовин регламентується вимогами Державного стандарту «Вода питна». Нормативною базою державних стандартів виступають: ГОСТ 24484-80, ГОСТ 2874-82 «Вода питна», ГОСТ 2761-84 «Джерела централізованого господарсько-питного водопостачання», СанПіН 4630-88 «Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднень», ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"» [2, 4].

Мета роботи: визначити склад джерельної питної води, що споживається мешканцями різних районів м. Харкова та зробити порівняльну оцінку якості питної води з різних природних джерел.

## Об'єкти та методи досліджень

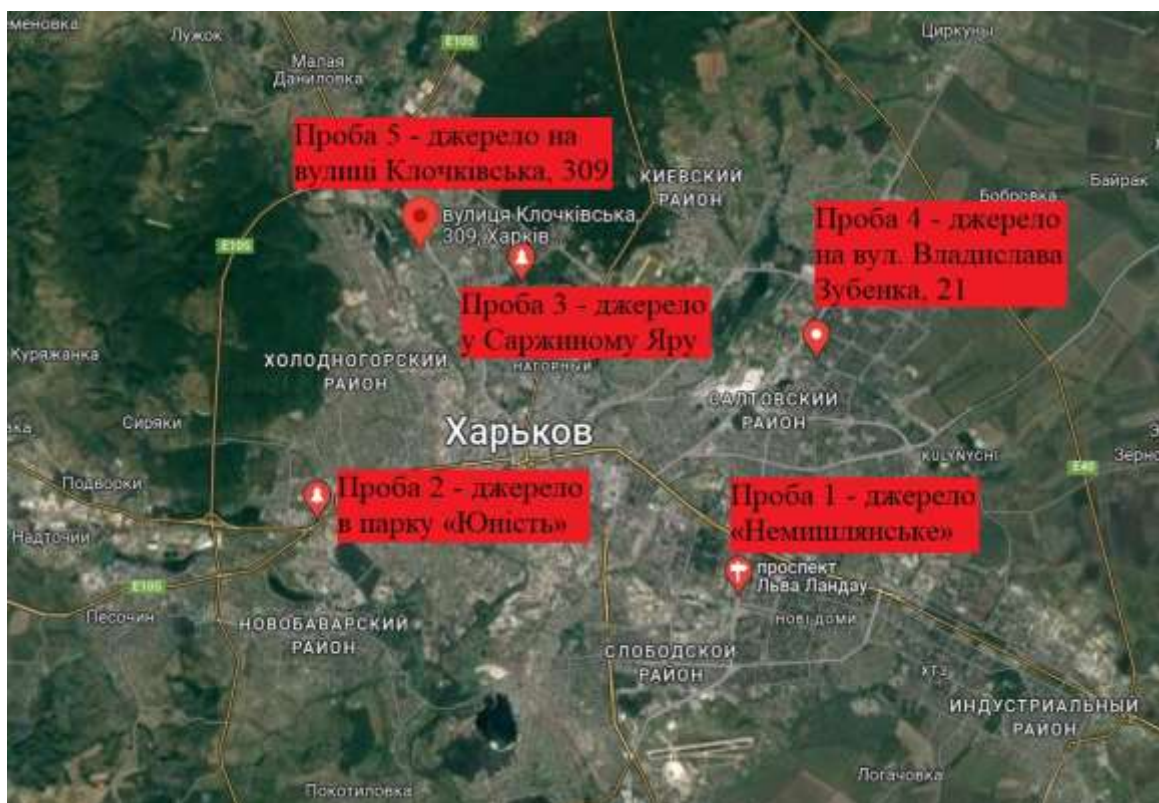
Для дослідження взято проби води з 5 природних джерел м. Харкова, з яких населення набирає воду для питних потреб: 1) Джерело «Немишлянське»; 2) Парк «Юність»; 3) «Саржин Яр»; 4) Джерело по вул. В. Зубенка, 21; 5) Джерело по вул. Клочківська, 309 (рис. 1). Відбір з цих природних джерел проводився в осінній (30 жовтня 2021 р.) і весняний (3 квітня 2022 р.) періоди. Дані джерела не є єдиними природними джерелами води у місті, але вони облаштовані та користуються попитом у населення. Розташовані джерела в різних районах міста, де зосереджені промислові об'єкти. Крім того, поруч знаходяться багатосмугові дороги з інтенсивним автомобільним рухом.

Проба 1 – джерело «Немишлянське», поблизу проспекту Льва Ландау та вулиці Печенізька, Немишлянський район. На місці відбору споруджено каптаж. Подекуди спостері-

гається засмічення території скляною та пластиковою тарою.

Проба 2 – джерело на території парку «Юність», по вулиці Полтавський шлях, 198, Холодногірський район. Вихід ґрунтових вод на поверхню облаштований каптажем, що представлений бетонними перекриттями, а також трубами з нержавіючої сталі. Не зважаючи на те, що населення прилеглих територій користується цією водою, місце виглядає занехаяним. Подекуди спостерігається засмічення території скляною та пластиковою тарою.

Проба 3 – джерело у Саржиному Яру, поблизу проспекту Науки, Шевченківський район. Місце виходу ґрунтових горизонтів якісно облаштовано. Джерело знаходиться на території рекреаційного призначення з мінімальним впливом на нього антропогенних факторів. Місце відбору проб підлягає впливу з



**Рис. 1** – Місця відбору проб води з 5 природних джерел м. Харкова  
**Fig. 1** – Places of water sampling from 5 natural springs in the city of Kharkiv

боку населення (оскільки це зона відпочинку), а вплив промисловості – мінімальний. Місце характеризується значним попитом серед населення, переважно це студенти.

Проба 4 – джерело поблизу житлового будинку на вул. Владислава Зубенка, 21, Салтівський район. Місце забору води обладнане бюветом, а поблизу розташована палатка, де воду газують і продають, тут також можна придбати тару для набору води. На відстані менше 20 м від виходу води на поверхню знаходиться автодорога.

Проба 5 – джерело поблизу заводу ТОВ «Завод сучасних харчових технологій» на вулиці Ключківська, 309, Шевченківський район. Поряд із підприємством протікає річка і створене водосховище. Частина населення вважає джерело не придатним для споживання, інші – із задоволенням смакують воду з джерела. Саме тому це місце недостатньо користується попитом.

У навчально-дослідній лабораторії аналітичних екологічних досліджень навчально-наукового інституту екології ХНУ імені В.Н. Каразіна було проведено лабораторний аналіз води. Визначення показників проводили за стандартизованими та тимчасово допущеними методиками. Запах визначали за ДСТУ EN 1420-1:2004, кольоровість – за ДСТУ ISO 7887:2003, каламутність – за ДСТУ ISO 7027:2003, водневий показник (рН) – за ДСТУ 4077-2001, загальна лужність – за ДСТУ ISO 9963-1:2007, загальна жорсткість – за ДСТУ ISO 6059:2003, хлориди – за ДСТУ ISO 9297:2007, вміст важких металів – за ПНДФ 14.1:2.253-09, аміак – за ДСТУ ISO 11732:2003, нітрити – за ДСТУ ISO 15923-1:2018 [5-11]. Санітарно-гігієнічні критерії оцінки якості питної води встановлено згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 (затверджені Наказом МОЗ від 12.05.2010 № 400 «Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до



води питної, призначеної для споживання людиною») [4].

Для оцінки якості водних об'єктів використовували гідрохімічний індекс забруднення води (ІЗВ) [2, 12] за формулою:

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

де  $C_i$  – концентрація компонента (у ряду випадків – значення фізико-хімічного параметра),

$n$  – число показників, використаних для розрахунку індексу,

ГДК<sub>і</sub> – встановлена величина нормативу за відповідним типом водного об'єкту.

Залежно від величини індексу забруднення води (ІЗВ) ділянки водних об'єктів підділяють на класи (табл. 1).

Також розраховано коефіцієнти екологічної небезпечності хімічного елемента ( $K_{нб}$ ) [13].

Таблиця 1

Клас якості води в залежності від індексу забруднення води (ІЗВ) [2, 12]

Table 1

Water quality class depending on the water pollution index (WPI) [2, 12]

Рівень забруднення	Значення ІЗВ	Клас якості вод
Дуже чисті	до 0,2	I
Чисті	0,2—1,0	II
Помірно забруднені	1,0—2,0	III
Забруднені	2,0—4,0	IV
Брудні	4,0—6,0	V
Дуже брудні	6,0—10,0	VI
Надзвичайно брудні	>10,0	VII

Коефіцієнт небезпечності хімічного елемента ( $K_{нб}$ ) визначався як відношення фактичного рівня вмісту контрольованих речовин в питній воді ( $C_i$ ) до його гранично допустимого значення (ГДК):

$$K_{нб} = \frac{C_i}{ГДК}, \quad (2)$$

де  $C_i$  – фактична концентрація певного хімічного елемента;

ГДК – гранично допустима концентрація хімічного елемента.

### Результати дослідження

За результатами досліджень виявлено, що по всім 5 пробам води з джерел, проаналізовані показники не перевищують нормативи, за виключенням загальної лужності й заліза в деяких пробах (табл. 2 і 3). Значних коливань концентрацій речовин між двома сезонами відбору не виявлено. Однак у весінній період спостерігається зменшення у два рази каламутності, помітне також збільшення загальної жорсткості, загальної лужності, та водневого показника рН.

Проведені дослідження показали, що ні за одним з органолептичних показників перевищень нормативів не визначено (рис. 2). Так, запах по всім досліджуваним пробам відсутній і становить 0 балів. Кольоровість по всім

пробам становить 5 градусів, а прозорість наближається до нормативу і становить 30 см. Каламутність коливається в осінній період від 0,8 до 1,48 ЕФМ, а в весняний період – 0,63 до 1,33 ЕФМ; при цьому в осінній період найбільша каламутність спостерігається в пробах 1 і 2, а в весняний – в пробах 4 і 5.

Водневий показник рН в досліджуваних пробах коливається в осінній період від 6,51 до 7,72, а в весняний період – 7,1 до 7,96; при цьому рН майже не змінюється за сезонами, за виключенням проби 1 («Немишлянське»), значення якого в осінній період становило 6,5, а в весняний – збільшився до 7,9 (рис. 3).

Загальна лужність в пробах коливається в осінній період від 6,4 до 9,6

Таблиця 2

Показники якості питної води з природних джерел (дата відбору 30.10.2021)

Table 2

Indicators of the quality of drinking water from natural sources (selection date 10/30/2021)

Показник	Результати випробувань					Одиниці виміру	Норматив
	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 5		
Запах	0	0	0	0	0	бали	< 2
Кольоровість	5	5	5	5	5	градуси	< 20
Каламутність	1,48	1,05	0,8	0,98	0,9	ЕМФ	< 1,5
Прозорість	30	30	30	30	30	см	> 30
Водневий показник, рН	6,51	6,75	7,15	7,72	7,6		6,5-9,0
Загальна лужність	5,8	8,04	5,8	4,9	8,0	ммоль/дм <sup>3</sup>	< 6,5
Загальна жорсткість	8,0	9,6	7,2	7,3	6,4	ммоль/дм <sup>3</sup>	< 10,0
Хлориди	122,8	63,3	59,5	24,9	30,2	мг/дм <sup>3</sup>	350,0
Залізо	0,3	0,2	0,15	0,1	0,21	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,3
Алюміній	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,5
Цинк	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	мг/дм <sup>3</sup>	< 1,0
Кадмій	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,01
Мідь	0,03	0,056	0,015	0,019	0,01	мг/дм <sup>3</sup>	< 1,0
Свинець	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,03
Аміак	0,04	0,2	0,04	0,08	0,08	мг/дм <sup>3</sup>	2,0
Нітрити	0,008	0,04	0,008	0,004	< 0,01	мг/дм <sup>3</sup>	3,3

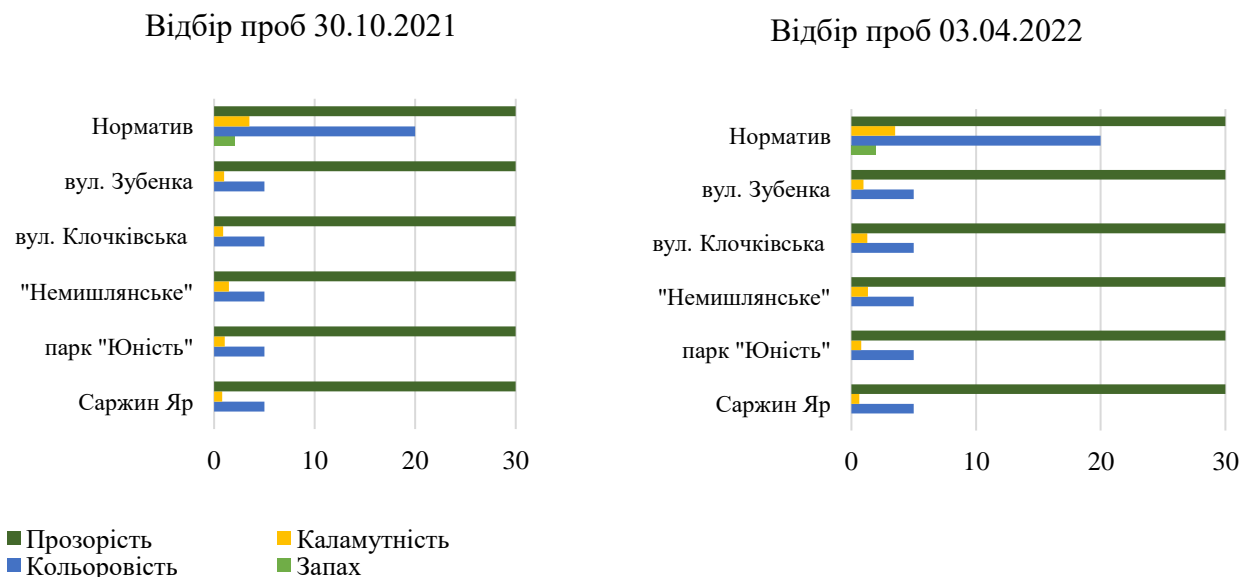
Таблиця 3

Аналіз якості питної води з природних джерел (дата відбору 03.04.2022)

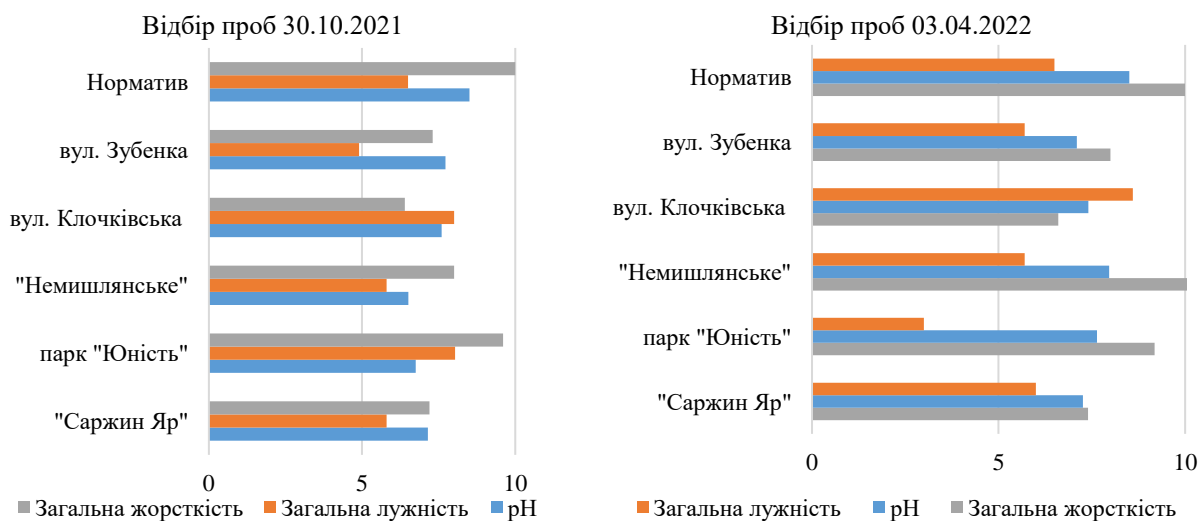
Table 3

Indicators of the quality of drinking water from natural sources (selection date 04/03/2022)

Показник	Результати випробувань					Одиниці виміру	Норматив
	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 5		
Запах	0	0	0	0	0	бали	< 2
Кольоровість	5	5	5	5	5	градуси	< 20
Каламутність	0,63	0,78	0,64	1,33	1,27	ЕМФ	< 1,5
Прозорість	30	30	30	30	30	см	> 30
Водневий показник, рН	7,96	7,64	7,26	7,1	7,41		6,5-9,0
Загальна лужність	5,7	6,0	6,0	5,7	8,6	ммоль/дм <sup>3</sup>	< 6,5
Загальна жорсткість	10,4	9,18	7,4	8,0	6,6	ммоль/дм <sup>3</sup>	< 10,0
Хлориди	105,1	62,08	60,8	24,0	27,8	мг/дм <sup>3</sup>	350,0
Залізо	0,33	0,21	0,21	0,28	0,15	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,3
Алюміній	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,5
Цинк	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,16	мг/дм <sup>3</sup>	< 1,0
Кадмій	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,01
Мідь		0,06	< 0,01	0,017	0,01	мг/дм <sup>3</sup>	< 1,0
Свинець	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,03
Аміак	0,09	0,22	0,08	0,04	0,04	мг/дм <sup>3</sup>	2,0
Нітрити	0,008	0,02	0,008	0	< 0,01	мг/дм <sup>3</sup>	3,3



**Рис. 2** – Органолептичні показники досліджуваної води  
**Fig. 2** – Organoleptic indicators of the tested water



**Рис. 3** – Показники загальної жорсткості, загальної лужності та рН для відібраних проб води  
**Fig. 3** – Indicators of total hardness, total alkalinity and pH for selected water samples

ммоль/дм<sup>3</sup>, а в весняний період – 5,7 до 8,6 ммоль/дм<sup>3</sup>; при цьому в осінній період перевищення нормативу спостерігається в пробах 2 (Парк «Юність») і 5 (по вул. Клочківська), а в весняний період – в пробі 5 (по вул. Клочківська).

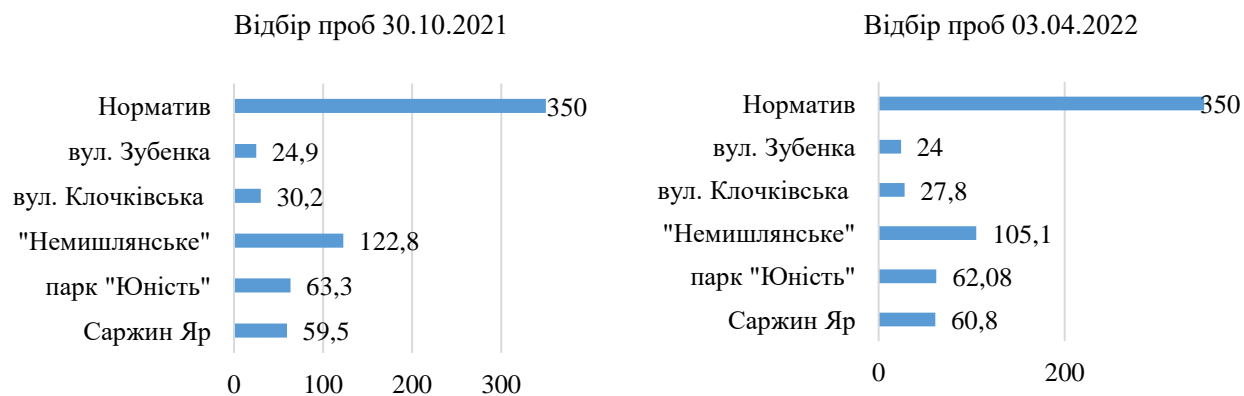
Загальна жорсткість в пробах коливається в осінній період від 4,9 до 8,04 ммоль/дм<sup>3</sup>, а в весняний період – 6,6 до 10,4 ммоль/дм<sup>3</sup>; при цьому в осінній і весняний період найбільша загальна жорсткість спостерігається в пробах 1 («Немишлянське») і 2 (Парк «Юність»).

Хлориди в пробах коливаються в осінній період від 24,9 до 122,8 мг/дм<sup>3</sup>, а в весняний період – 5,7 до 105,1 мг/дм<sup>3</sup>; при цьому найбільша

кількість хлоридів в пробі 1, посередня – в пробах 2 і 3, а найменша – в пробах 4 і 5 (рис. 4).

Вміст заліза в досліджуваних пробах коливається в осінній період від 0,10 до 0,30 мг/дм<sup>3</sup>, а в весняний період – 0,15 до 0,33 мг/дм<sup>3</sup>; при цьому найбільша кількість заліза в пробі 1 («Немишлянське») і наближається до рівня ГДК в осінній період і перевищує рівень ГДК в весняний період (рис. 5).

Вміст алюмінію, цинку, кадмію, міді і свинцю в досліджуваних пробах знаходиться значно нижче рівня ГДК, і майже не змінюється сезонно.



**Рис. 4** – Вміст хлоридів у пробах води з природних джерел  
**Fig. 4** – Chloride content in water samples from natural sources



**Рис. 5** – Вміст заліза у пробах води  
**Fig. 5** – Iron content in water samples

Вміст аміаку і нітритів в пробах знаходиться значно нижче рівня нормативу, і майже не змінюється сезонно. Однак, навіть незначна кількість аміаку і нітритів у питній воді небезпечні тим, що потрапляючи в організм людини викликають порушення дихання, а саме гіпоксію,

яка може стати причиною слабкості, погіршення самопочуття, порушення функцій нервової системи, серця, тканин нирок і печінки.

Розраховано індекс забруднення води (ІЗВ) для кожного з джерел за часом відбору проб за формулою (1) (табл. 4).

Таблиця 4

Значення ІЗВ для точок відбору проб

Table 4

Values of WPI for sampling points

Джерело	Індекс забруднення води	
	30.10.2021	03.04.2022
«Немишлянське»	0,26	0,30
Парк «Юність»	0,22	0,22
Саржин Яр	0,18	0,21
Вул. В. Зубенка	0,16	0,22
Вул. Клочківська	0,29	0,20

Розрахунок ІЗВ для проб води в осінній період з 3 природних джерел «Немишлянське», Парк «Юність» і по вул. Клочківська склав 0,26, 0,22 і 0,29, відповідно, що відносить їх до II класу якості, тобто чиста вода. ІЗВ для всіх інших проб води в осінній період не перевищує 0,2, що відносить ці джерела до I класу якості води – дуже чисті. Розрахунок ІЗВ для досліджуваних проб води в весняний період відносить їх до II класу якості.

Користуючись формулою (2), розраховано коефіцієнти екологічної небезпечності хімічного елемента (Кнб) для кожного з джерел за часом відбору проб (табл. 5).

Спираючись на отримані результати розрахунку коефіцієнтів небезпечності хімічних елементів (табл. 5), можна зазначити, що тільки для заліза в пробах води 1 («Немишлянське») він дорівнює 1. Для всіх інших показників досліджених проб води цей коефіцієнт нижче 1.

Під час проведення польових досліджень проведено також огляд та візуальну оцінку місця розташування й облаштування джерел води для питного використання. Проблема полягає у незадовільному облаштуванні усіх джерел, не забезпечено безперешкодний доступ до місць користування джерельною водою що досліджувались, окрім джерела «Саржин Яр».

Тож враховуючи всі аналізи та розрахунки по досліджуваним пробам вод, екологічно безпечними за всіма оцінками можна вважати води лише з джерела у Саржиному Яру і частково безпечними (із-за негативної оцінки облаштування) - по вул. Зубенка. Для інших джерел рекомендується провести модернізацію місць відбору води з них для населення, та реконструювати систему водопроводів для подачі води з даних джерел, а також ввести додаткові етапи їх очистки на шляху до споживачів [14, 15].

### Висновки

Визначено, що за органоліптичними показниками перевищень нормативних значень не спостерігається у всіх пробах вод з природних джерел. рН за всіма пробами вод майже не змінюється за сезонністю. Аналіз загальної лужності в осінній період показало перевищення нормативу лише в пробах з природних

джерел у парку «Юність» і по вул. Клочківська, а в весняний період – по вул. Клочківська. В осінній і весняний період найбільша загальна жорсткість спостерігається в пробах з «Немишлянське» та Парку «Юність». Перевищень за вмістом хлоридів не спостерігається. Вміст заліза перевищує рівень ГДК

Таблиця 5  
Table 5

Коефіцієнти небезпечності хімічних елементів  
Hazard coefficients of chemical elements

Назва речовини	30.10.2021	03.04.2022
«Немишлянське»		
Хлориди	0,35	0,23
Залізо	1	1,1
Алюміній	0,02	0,02
Цинк	0,01	0,01
Кадмій	0,6	0,6
Мідь	0,03	0,4
Свинець	0,33	0,33
Аміак	0,02	0,045
Нітрити	0,002	0,002
Парк «Юність»		
Хлориди	0,18	0,17
Залізо	0,67	0,7
Алюміній	0,02	0,02
Цинк	0,01	0,01
Кадмій	0,6	0,6
Мідь	0,0056	0,06
Свинець	0,33	0,33
Аміак	0,1	0,11
Нітрити	0,01	0,006
Саржин Яр		
Хлориди	0,17	0,17
Залізо	0,5	0,7
Алюміній	0,02	0,02
Цинк	0,01	0,01
Кадмій	0,6	0,6
Мідь	0,015	0,01
Свинець	0,33	0,33
Аміак	0,02	0,04
Нітрити	0,002	0,002
Вул. В. Зубенка		
Хлориди	0,07	0,07
Залізо	0,33	0,93
Алюміній	0,02	0,02
Цинк	0,01	0,01
Кадмій	0,6	0,6
Мідь	0,019	0,017
Свинець	0,33	0,33
Аміак	0,04	0,02
Нітрити	0,001	0
Вул. Клочківська		
Хлориди	0,86	0,08
Залізо	0,7	0,5
Алюміній	0,02	0,02
Цинк	0,01	0,16
Кадмій	0,6	0,6
Мідь	0,01	0,01
Свинець	0,33	0,3
Аміак	0,04	0,02
Нітрити	0,003	0,003

тільки в пробах води з «Немишлянське». Вміст алюмінію, цинку, кадмію, міді, свинцю, аміаку і нітритів в пробах знаходиться значно нижче рівня ГДК, і майже не змінюється сезонно.

Розрахунок інтегрального екологічного індексу за показниками якості питної води показав, що у першу чергу потребує уваги джерело «Немишлянське». Розрахунок інтегрального екологічного індексу для досліджуваних проб води в осінній період з «Немишлянське», Парк «Юність» і по вул. Клочківська відносить їх до II класу якості, тобто чиста вода. Інтегральний екологічний індекс для всіх інших проб води в осінній період відносить джерела до I класу якості води – дуже чисті. Розрахунок інтегрального екологічного індексу для всіх проб води в весняний період відносить їх до II класу якості.

Результати розрахунку коефіцієнтів небезпечності хімічних елементів показали, що тільки для заліза в пробах води природного джерела «Немишлянське» дорівнює 1. Для всіх інших показників досліджених проб води цей коефіцієнт нижче 1.

Враховуючи всі аналізи та розрахунки по досліджуваним пробам вод, екологічно безпечною можна вважати воду лише з джерел у Саржиному Яру і по вул. В. Зубенка. Для інших джерел рекомендується провести модернізацію місць відбору води з них для населення, та реконструювати систему водопроводів для подачі води з даних джерел, а також ввести додаткові етапи їх очистки на шляху до споживача.

### 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. Гребняк М. П., Федорченко Р. А., Тулушев Є. О., Черненко Г. С. Антропогенні та природні чинники ризику водопостачання в Азово-Дніпровському регіоні. *Довкілля та здоров'я*. 2017. №3. С. 55–60.
2. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксінок О.П. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. К.: СИМВОЛ-Т, 1998. 28 с.
3. Гребінь В.В., Хільчевський В.К., Сташук В.А., Чунарьов О.В., Ярошевич О.Є. Водний фонд України. Штучні водойми. Водосховища і ставки / За ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня К.: Інтерпрес, 2014. 163 с. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Vv-Grebin/publication/333237313\\_Vodnij\\_fond\\_Ukraini\\_STUCNI\\_VODOJMI\\_Vodoshovisa\\_i\\_stavki/links/5ce3b92ba6fdccc9ddc15dd4/Vodnij-fond-Ukraini-STUCNI-VODOJMI-Vodoshovisa-i-stavki.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vv-Grebin/publication/333237313_Vodnij_fond_Ukraini_STUCNI_VODOJMI_Vodoshovisa_i_stavki/links/5ce3b92ba6fdccc9ddc15dd4/Vodnij-fond-Ukraini-STUCNI-VODOJMI-Vodoshovisa-i-stavki.pdf)
4. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» від 12.05.2010 № 400. (ДСанПіН 2.2.4-171-10). URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>
5. ДСТУ EN 1420-1:2004 Якість води. Визначення впливу органічних речовин на якість води, призначеної для споживання людиною. Проведення оцінювання води в трубопровідних системах на запах і присмак. Частина 1. Метод випробування (EN 1420-1:1999, IDT). – Київ, ІВПіМ НААН, 2004. URL: [https://budstandart.ua/normativ-document.html?id\\_doc=73065&minregion=852](https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=73065&minregion=852)
6. ДСТУ ISO 7887:2003 Якість води. Визначення і досліджування забарвленості (ISO 7887:1994, IDT). – Київ, 2003. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=72427](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72427)
7. ДСТУ 4077-2001 Якість води. Визначення рН (ISO 10523:1994, MOD). Київ, 2001. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=52791](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52791)
8. ДСТУ ISO 9963-1:2007 Якість води. Визначення лужності. Частина 1. Визначення загальної та часткової лужності (ISO 9963-1:1994, IDT). Київ, 2007. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=50541](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=50541)
9. ДСТУ ISO 6059:2003 Якість води. Визначення сумарного вмісту кальцію та магнію. Титриметричний метод із застосуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти (ISO 6059:1984, IDT). Київ, 2003. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=52715](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52715)
10. ДСТУ ISO 9297:2007 Якість води. Визначення хлоридів. Титрування нітратом срібла із застосуванням хрому як індикатора (метод Мора) (ISO 9297:1989, IDT). Київ, 2007. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=53158](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53158)



11. ДСТУ ISO 15923-1:2018 Якість води. Визначення окремих параметрів з використанням систем дискретного аналізу. Частина 1. Вміст амонію, нітрату, нітриту, хлориду, ортофосфату, сульфату та силікату з фотометричним детектуванням (ISO 15923-1:2013, IDT). Київ, 2018. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=79777](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=79777)
12. Дані державного моніторингу поверхневих вод. 2022. Інформаційний портал Дія. URL: <https://data.gov.ua/dataset/surface-water-monitoring>
13. Кузик І., Вітенко І., Царик В. Геоекологічна оцінка структури землекористування басейну малої річки Гніздечна. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2022. №1(52). С. 219-225. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.1.26>
14. Клименко М. О., Вознюк Н. М., Вербецька К. Ю. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів та природокористування*. Київ, 2012. Вип. 1(30). URL: [http://nd.nubip.edu.ua/2012\\_1/12kmo.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf)
15. Прибилова В.М. Оцінка якісного складу питних підземних вод водоносного горизонту бучацько-канівських відкладів на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія Геологія. Географія. Екологія*. 2014. Т.40. №1098. С.42-45. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoco/article/view/1077>

Стаття надійшла до редакції 30.10.2022

Стаття рекомендована до друку 25.11.2022

**A. A. LISNYAK**, 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>

**M. I. KULYUK**, 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>

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

## ASSESSMENT OF THE DRINKING WATER QUALITY FROM NATURAL SOURCES IN THE KHARKIV CITY

Improving the reliability and quality of the population's drinking water supply is one of the primary social problems, since the health of the population largely depends on the level of safety of drinking water.

**Purpose.** To determine the composition of spring drinking water consumed by residents of different districts of the city of Kharkiv and to compare the assessment of the quality of drinking water from different natural sources.

**Methods.** Field, laboratory-analytical, statistical.

**Results.** Water samples from 5 natural springs in the city of Kharkiv, from which the population collects water for drinking purposes, were studied. It was determined that according to the organoleptic indicators, no excesses of the normative values are observed, the pH almost does not change seasonally, with the exception of the sample from the "Nemshlianske" source. The analysis of total alkalinity in the autumn period showed that the standard was exceeded only in samples of the source of the Yunist park and along the street. Klochkivska, and in the spring period - only in the sample of the source on the street. Klochkivska. The total hardness in the samples ranges from 4.9 to 8.04 mmol/dm<sup>3</sup> in the autumn period, and from 6.6 to 10.4 mmol/dm<sup>3</sup> in the spring period. Excesses in chloride content are not observed in any of the investigated water samples. The iron content exceeds the MPC level only in water samples from the Nemshlianske spring. The content of aluminum, zinc, cadmium, copper, lead, ammonia and nitrites in the samples is significantly below the MPC level, and almost does not change by season.

**Conclusions.** The formation of the general quality class of water samples from natural sources is significantly influenced by the high level of total alkalinity, total hardness, and iron content in some sources of non-centralized water supply. According to the integral ecological index of water samples in the autumn period from natural sources "Nemshlyanske", Park "Yunist" and along the street. Klochkivska belongs to the II quality class, i.e. pure water. The

integrated ecological index for all other water samples in the autumn period assigns these sources to the I class of water quality - very clean. The calculation of the integral ecological index for water samples from all natural sources in the spring period refers them to the II quality class.

**KEY WORDS:** water supply, spring water, drinking water quality, pollution, hydrogen index

### References

1. Grebnyak, M. P., Fedorchenko, R. A., Tulusev, E. O., & Chernenko, G. S. (2017). Anthropogenic and natural risk factors of water supply in the Azov-Dnipro region. *Environment and health*. 2017. No. 3. P. 55–60 (in Ukrainian).
2. Romanenko, V.D., Zhukinsky, V.M., & Oksiuk, O.P. (1998). Methods of ecological assessment of surface water quality by relevant categories. Kyiv: SYMVOL-T. (in Ukrainian).
3. Hrebin, V.V., Khilchevskiy, V.K., Stashuk, V.A., Chunarov, O.V., & Yaroshevych, O.Ie. (2014). Water Fund of Ukraine: Artificial body of water -reservoirs and ponds. Kyiv. Interpres. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/VvGrebini/publication/333237313\\_Vodnij\\_fond\\_Ukraini\\_STUCNI\\_VODOJMI\\_Vodoshovisa\\_i\\_stavki/links/5ce3b92ba6fdccc9ddc15dd4/Vodnij-fond-Ukraini-STUCNI-VODOJMI-Vodoshovisa-i-stavki.pdf](https://www.researchgate.net/profile/VvGrebini/publication/333237313_Vodnij_fond_Ukraini_STUCNI_VODOJMI_Vodoshovisa_i_stavki/links/5ce3b92ba6fdccc9ddc15dd4/Vodnij-fond-Ukraini-STUCNI-VODOJMI-Vodoshovisa-i-stavki.pdf) (in Ukrainian).
4. State sanitary norms and rules "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption" dated May 12, 2010 No. 400. – (DSanPiN 2.2.4-171-10). Retrieved from <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (in Ukrainian).
5. DSTU EN 1420-1:2004. (2004). Water quality. Determination of the influence of organic substances on the quality of water intended for human consumption. Evaluation of water in pipeline systems for smell and taste. Part 1. Test method (EN 1420-1:1999, IDT). – Kyiv, IVPiM NAAS, 2004. Retrieved from [https://budstandart.ua/normativ-document.html?id\\_doc=73065&minregion=852](https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=73065&minregion=852) (in Ukrainian).
6. DSTU ISO 7887:2003. (2003). Water quality. Determination and examination of color (ISO 7887:1994, IDT). – Kyiv, 2003. Retrieved from [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=72427](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=72427) (in Ukrainian).
7. DSTU 4077-2001. (2001). Water quality. Determination of pH (ISO 10523:1994, MOD). – Kyiv, 2001. Retrieved from [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=52791](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=52791) (in Ukrainian).
8. DSTU ISO 9963-1:2007 (2007). Water quality. Determination of alkalinity. Part 1. Determination of total and partial alkalinity (ISO 9963-1:1994, IDT). – Kyiv, 2007. Retrieved from [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=50541](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=50541) (in Ukrainian).
9. DSTU ISO 6059:2003. (2003). Water quality. Determination of the total content of calcium and magnesium. Titrimetric method using ethylenediaminetetraacetic acid (ISO 6059:1984, IDT). – Kyiv, 2003. Retrieved from [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=52715](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=52715) (in Ukrainian).
10. DSTU ISO 9297:2007. (2007). Water quality. Determination of chlorides. Titration with silver nitrate using chromate as an indicator (Mohr's method) (ISO 9297:1989, IDT). – Kyiv, 2007. Retrieved from [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=53158](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=53158) (in Ukrainian).
11. DSTU ISO 15923-1:2018 (2018). Water quality. Determination of individual parameters using discrete analysis systems. Part 1. Ammonium, nitrate, nitrite, chloride, orthophosphate, sulfate and silicate content with photometric detection (ISO 15923-1:2013, IDT). – Kyiv, 2018. Retrieved from [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id\\_doc=79777](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=79777) (in Ukrainian).
12. State surface water monitoring data. (2022). Diya information portal. Retrieved from <https://data.gov.ua/dataset/surface-water-monitoring> (in Ukrainian).
13. Kuzyk, I., Vitenko, I., & Tsaryk, V. (2022). Geoecological assessment of land use structure of Gnizdechna small river basin. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, 1 (52), 219-225. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.1.26> (in Ukrainian).
14. Klymenko, M. O., Voznyuk, N. M., & Verbetskaya, K. Yu. (2012). Comparative analysis of surface water quality standards. *Scientific reports of the National University of Life and Environmental Sciences*, (1(30)). Retrieved from [http://nd.nubip.edu.ua/2012\\_1/12kmo.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf) (in Ukrainian).
15. Prybylova, V.M. (2014). Assessment of the qualitative composition of potable groundwater of the aquifer of the Buchach-Kaniv deposits in the territory of the Kharkiv region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, ;40 (1098), 42-45. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/1077> (in Ukraine).

The article was received by the editors 30.10.2022  
The article is recommended for printing 25.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-03>

UDC: 504.03

**MAHDI FALLAH**<sup>1</sup>, PhD (Geography and Urban Planning),<sup>2</sup>

GIS&Rs Side Expertise

e-mail: [mahdi.fallah.20@gmail.com](mailto:mahdi.fallah.20@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2171-4582><sup>1</sup>

**TAJODDIN KARAMI**<sup>1</sup>

Assistant Professor, Faculty of Geographical Sciences,<sup>3</sup>

GIS&Rs Side Expertise

e-mail: [karamit@khu.ac.ir](mailto:karamit@khu.ac.ir) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2586-3289>

**MOOSA KAMANROODI KOJOURI**<sup>1</sup>, PhD (Geography and Urban Planning),<sup>4</sup>

Associate Professor, Faculty of Geographical Sciences,

Urban Governance Side Expertise

e-mail: [kamanroudi@khu.ac.ir](mailto:kamanroudi@khu.ac.ir) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2886-644x>

<sup>1</sup>*Kharazmi University,*

Tehran Province, Tehran PC3G+GM4, Iran

## NATIONAL PARTICIPANT GEOSPATIAL INFORMATION SYSTEM IN URBAN PLANNING

**Purpose.** The title of air-space in the spatial part is not just a noun, but it is quite effective in determining its conditions. National Participant using new spatial information system including software, hardware in synchronous and asynchronous environments. Also, explaining the role of the National Collaborative Spatial Information System in the effectiveness of urban planning

**Methods.** Introducing the national software in the process of participation along with the spatial information system. Statistical analysis along with interpretations based on statistics, especially Spearman's correlation. Also Using all the criteria and factors that have been used so far to participate with GIS in a spatial and non-spatial way.

**Results.** There are short discussion related to the formation of the software, the formation of the environment and hardware and all the existing criteria, and then the evaluation process, proposed for the participation-oriented information system, continues. The methods are discussed and then the discussion related to the case study and evaluation of the usability of the participatory spatial information system and requirements engineering as a support tool for participatory planning in the municipality was discussed. In the end, statistical analysis along with interpretations based on statistics, especially Spearman's correlation, are discussed and demonstrated. The reason for the topic of decision-making is based on statistical analysis, not just comparing decision-making with analysis, because sudden decisions like early humans are usually made in natural events and away from dangers and the like. This issue has not been seen in any dispute so far. In the following, we realized that the time factor and then being on time are the most important factors along with the economic criterion. Although planners were expected to be decisive, the results showed otherwise. In practice, it was proved that the basis of software, mathematical and statistical analysis decisions of the groups is the reason for the rise of the economic standard, along with the time factors, which are very necessary in improving the participation with GIS. The role of the power and wealth layer is still colorful and unlike the priorities, the fastest and most dominant decisions are made by this. in this study Time is a decisive factor.

**Conclusions.** Based on the results obtained and due to the misleading nature of the time issue, it cannot be managed, and people should not worry about time management, because they lose their focus. Therefore, they should manage their concentration and be focused in the moment. It is only in this way that one can use the time effectively and continue the desired activity. Finally, by programming and creating collaborative decision-making in asynchronous and synchronous environments, NPGIS is introduced in an organizational form.

**KEYWORDS:** urban planning, NPGIS, air-space, time-place, innovation

---

© Fallah Mahdi, Karami Tajoddin, Kojouri Moosa Kamanroodi, 2022



[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>2</sup>This article is extracted from the author's doctoral dissertation with Title: Explaining the role of participation-oriented spatial information system in the effectiveness of urban services (Case study: 137 system of Sari Municipality)

<sup>3</sup>Doctoral dissertation supervisor & Responsible for the article

<sup>4</sup> Doctoral dissertation advisor

**Як цитувати:** Fallah M., Karami T., Kojouri M. K. National participant geospatial information system in urban planning. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 27. С. 32 - 50. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-03>

**In cites:** Fallah, M., Karami, T., & Kojouri, M. K. (2022). National participant geospatial information system in urban planning. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 32 - 50. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-03>

## Introduction

Remote sensing studies have a decisive role in place and space, Especially in new innovations and current technologies. Humans are in a time when technology is progressing instantaneously. The topics of the third generation of the Internet, artificial intelligence in all fields, the world of metaverse and virtual cities can be expressed from these emerging technologies. Therefore, these processes should not be neglected and should be progressed in harmony with them. Accordingly, in this study, the National Participant Geospatial Information System or NPGIS for short has been introduced. The opinions of all sections of a society, including ordinary people, officials and decision-makers, owners of economic enterprises, have been taken into account. These comments can be registered both simultaneously and asynchronously and will be used in the new software environment. It should be noted that such processes have been carried out for the first time, which is unique in its kind. The issue of time plays an important role in this study.

Living in a world without a desk might be tough, but managing a world without time seems remarkably disastrous. The idea that time does not exist is inconceivable to many: time must exist. Almost every experience we have tells us this [1]. Time plays a key role in the Doctoral Dissertation from which this article is extracted, which is the basis for writing the thesis by the researcher. Therefore, the researcher thinks about the subject of time differently than any other person who has written a text on this topic so far. Decision-making and decision-making with public participation are important as important components in all processes. Also, this component in the conditions of synchronizing with the occurrence of events and being aware of projects from the beginning to the end is the basis for compiling and writing this article, is placed. Today, in the comprehensive planning and development of cities, important and complex decisions are mandatory for every community

and local government or municipality. In this regard, it should be said that making optimal decisions by integrating and combining a set of emerging phenomena such as geographic information system or GIS, which itself is a result of participation, has played a significant role in the flourishing of knowledge and information [2, 3]. In recent decades, "urbanization", "sustainable development" and "information and communication technology revolution", as the most important global trends, have played the greatest role in the life of human societies [4]. As a result of the urbanization of societies, today more than half of the world's population (54%) lives in cities and it is expected that this ratio will reach more than two-thirds (66%) by 2050 [5] [6]. Historically, the city and the modernization of societies are directly linked together, Ulrich Beck calls modernity (modernity or newness) the systematic process of social production of wealth and risks and considers modern societies as risky societies [7]. It can be said that the movement of cities towards sustainable development, as well as the increasing role of information and communication technology in decision-making and decisions related to urban management, has transformed the city administration system. If this discourse emphasized environmental, social and economic sustainability in the 1980s, in the 1990s, it emphasized the concept of a smart city, but today it has focused on sustainable smart cities [4]. In fact, open source urban governance is a new way to attract citizen participation. A participation that is referred to as electronic participation, remote democracy, information technology democracy, electronic consultation, web-based citizenship, online public administration, etc [8]. The main part of urban activities is focused on collaborative development for planning, designing and implementing urban services based on electronic infrastructure, E-services involve change in services as well socio-technological change and relate to change in forms of participation

[9]. Most of these disciplines are related to the geographic information system and the requirements of the expertise of using data and spatial information, which are important topics such as requirements management, usability, context and infrastructure-oriented models, decision-making processes with variables. different, participating in the exchange of information, discussions related to time-space and vice versa, creating discussion and inquiry forums, the occurrence of simultaneous events, real-time events, planning and cooperation in software design with the approach of participation at advanced levels at the local level and include the national The final result of the discussed rules is the effectiveness of activities and services in the field of management and efficient cooperation in planning.

**Problem statement** In recent years, the role of participatory geographic information system in urban planning has become very prominent in various economic, health, environmental, psychological, social and even security and industry aspects [10]. Because spatial information technology, like other elements of information and communication technology, has been transformed under the influence of the progress caused by the transition from WEB technology to WEB 2. Relying on collective intelligence, content generation by users or user-centered content generation, wide scope/long delay and interactivity are the main features of WEB 2 technology. In WEB 2 technology, as opposed to WEB, users are not mere passive consumers of produced content and are able to create, organize and adjust their desired content and share their information and assets with others, or criticize the produced content. others and change it [11]. Although, while writing the article, things have been seen and heard regarding the introduction of the third generation Internet WEB 3, but it has not been seriously considered yet, and according to the researcher, the world is bound to accept it one day. Unlike the usual process of generating spatial data by government organizations, in citizen-centered GIS, citizens (individuals/groups/society) play an important and increasing role in generating various types of spatial data and distributing them. People's participation in information production has been carried out in the framework of approaches such as geo web, collaborative geographic information system, voluntary geographic information, spatial crowd-

sourcing, user-oriented spatial content production, new geography, location-oriented citizen science, and coordinated collective intelligence with computer support. As a result, it can be said that the continuation of this process can provide a kind of participation-oriented electronic governance, which is also called urban open text governance [8, 12]. The three-digit telephone system 137 was first created as a communication bridge between the people and the beneficiaries and with the aim of receiving citizens' messages regarding urban issues in 2000 (1379 Solar Hijri) in the form of a voice mail box in Tehran Municipality, Iran.

**Research literature review.** When it comes to participation, Arnstein [13] elementary ladder and her previous topics are not forgotten. Despite the incredible evolution of GIS in recent decades, the understanding of spatial information has not changed over time, with different GIS approaches applied and considering geographic features (such as neighborhoods, cities, and regions) would be considered foreign territory. Currently, however, limiting the term "place" to an external realm is meaningless, as 80% of people's daily lives are spent indoors [14]. Also, the factor of time and other dimensions such as space-time and the like is an inseparable and main part of the current study, which has influenced the nature of the treatise as a whole and formed its framework. PGIS can be defined as a system that brings the academic practices of GIS and mapping to the local level in order to promote knowledge and information. Here are two points of view that are currently being discussed based on the use of PGIS. This system is linked to other knowledge such as critical mapping, collaborative methods, development-oriented and ideal cities, optimal urban planning, civil governance, community development, resource management, environmental and natural hazards, reaching a smart city, etc. This approach, in addition to the need for civil and political interaction and participation, requires the ability of spatial information system specialists to guide its operation toward the main issues of local management, such as optimal service delivery, spatial justice, etc. [15, 16]. This desire provides the grounds for the use of extraordinary capacities that are the result of combining the capabilities of the geographic information system with innovations in the field of information and communication technology

and new approaches based on electronic and online participation [17]. A notable example in 2017 was the initiative in Chicago, Illinois, USA, a joint project led by the Field Museum, the Chicago Park District, and several community-based organizations with funding from the City of Chicago and co-sponsors such as Boeing Company has been [18, 19]. Just as planning precedes all functions, it is also preferred over the hierarchical levels of management, and it is also effective in raising related questions and consulting with the organization's employees. It is only through planning that the manager decides what to do, when, and who will do it. Planning and control go

together and it is not possible to predict what is not planned [20]. In a 2017 study in a developing country, participants were able to match place values and place preferences with current land uses, suggesting that a non-expert in Malaysia can interpret digital maps and effectively. It is interesting to establish local knowledge about the place to bridge the knowledge gap with experts. The newness of PGIS as a participatory method can help stimulate public participation, but developing a stronger culture of participation in Malaysia for land use planning requires continuous effort over time [21].

### Research methodology

**Destructive background.** In a 2019 study, Indrajit and his colleagues evaluated the type and quality of participatory spatial information that can be used to support planning based on participatory geographic information system in a city of a developing country using the criteria of the country's development plan and its specialization. Collaborative spatial data in this study is applied in the form of location values and user preferences in the city, which utilizes experts and strangers to this collaborative system by creating a decision support system. This support in today's world should be based on the wisdom of the common people and properties that play an important role in good governance. In other words, according to the aforementioned issues, the prerequisites for achieving sustainable development in any country will be the optimal participation of an entire society, which itself must be effective, transparent, responsive, effective and efficient [22]. After about eleven years, which caused similar and even greater damages. The United States Geological Survey (USGS) announced that an earthquake with a magnitude of 7.2 on the Richter scale occurred off the coast of Port-au-Prince, the capital of Haiti. For many Haitians, this earthquake was a reminder of the 2010 magnitude 7 earthquake that killed more than 300,000 people. The earthquake 11 years ago made one million and 500 thousand people of Haiti homeless [23]. Aid and rescue organizations, which alone has caused many problems. It should be mentioned that in the first step, the most important environmental problem in the earthquake-affected areas is gar

bage, which unfortunately, if not properly managed and collected, will become a dangerous source in terms of health and will become a suitable place for insects to gather and spread all kinds of diseases. Also, burning waste also causes a lot of pollution. Such issues can have a joint effect on animals and humans and cause the spread of disease. We will not talk about other unpleasant events that have happened and it is not included in this area. Finally, regarding the collaborative geographic information system, it should be said that some authors use the abbreviation PPGIS in their studies and others use PGIS, but some researchers use these two terms together and instead of each other in different parts of a study, while there are some who differentiate between these two in nature. In confirmation of this issue, a study was conducted under the title of political rethinking, political rethinking after GIS or PGIS, which completely changes the nature of the discussion. Therefore, whether PGIS is correct or PPGIS just wastes its time and deals with a completely marginal matter, and we move away from the goal and make a system with this historical identity that was created to support the marginalized strata ineffective [15, 24].

**Research models related to innovative literature with artificial intelligence approach.** The research models that have been discussed are stated in parallel with the present study. It goes without saying that its content can be developed using open source programming languages such as JavaScript and Java application. The map component for open source maps such as map tool libraries relies



on Java under the open source API. You can use the optimized, up-to-date and powerful Python software, which is specific to Arc.GIS software, which is widely used even in very new and advanced technologies such as blockchain. The concept of blockchain, which means that blockchains can be used privately and for specific purposes in an institution or organization, which is also called organizational blockchain. So, with this definition, its main goal, which was to decentralize and separate from the traditional banking system, will go away. Blockchain was created in 2008 based on the ideas of an unknown person for the first time with the creation of a computer currency called Bitcoin, which is now considered the leader of digital currencies, which can be used to store information. related to the property of the users. It should also be briefly said about Bitcoin that it was the first digital currency that started the decentralization process in the post- Internet world, which is always considered the beginning of the art of planning in the digital world [25 – 27].

**The emergence of the third generation internet and metaverse in harmony with**

### Results of the research

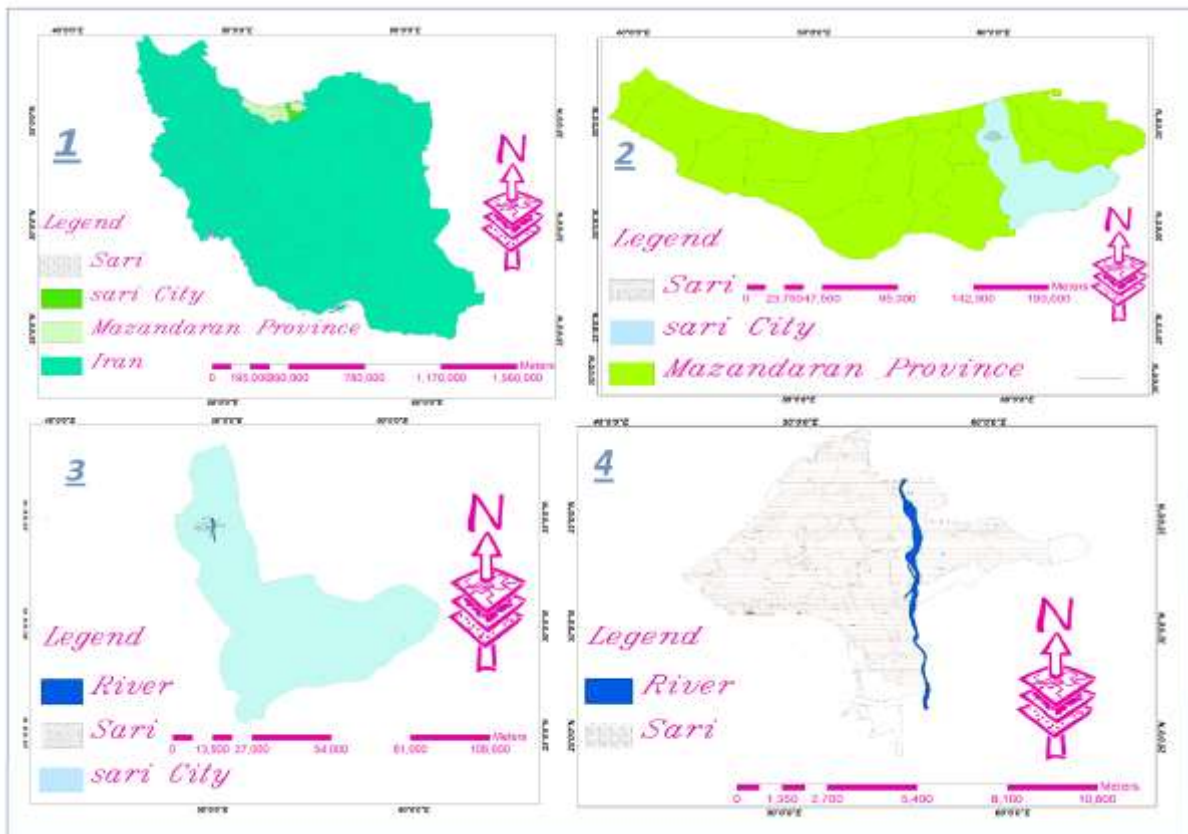
**The study area.** The studied area is an example of the main topic. Considering the newness of the participation-oriented spatial information system, the context and mechanisms of this system are explained in the case of Sari city, the capital of Mazandaran province, which has this potential. It is certain that in this presentation process, the capacity of the participation-oriented spatial system, pathology of the existing structure, process and function of the 137 system and people's capacities to establish a new system are considered. Finally, it seems that the possibility of creativity and innovation is available in these fields. Sari is one of the most populous cities in the north and the former capital of Iran (before Tehran), the capital of Mazandaran province and Sari city. Sari is also one of the oldest and historical cities in Iran, more than 6000 thousand years old, and is located at the coordinates of 36°33'48" north latitude and 53°03'36" east longitude and whose population is 347/402 people [32, 33]. Figure 1 shows the location of Sari city in the country and in Mazandaran province and in Iran.

**transpersonal technologies.** In fact, this decentralized system is a database that is maintained and updated by network participants based on the understanding mechanism and data architecture, and it is in a way the same cooperative system that currently a few cluster companies have the monopoly of setting up the Internet and providing have taken the services related to it. This type of internet, which relies on blockchain technology and artificial intelligence, so that with the benefit of these technologies, the internet, as it was said, will be freed from the monopoly of a few large companies in this field and will be available to ordinary people. There is no doubt that this idea can be very fruitful and will definitely be one of the most important features of utopias [28, 29]. What distinguishes Web 3 from previous versions of the Internet is its decentralization; Of course, this version of the Internet is considered interactive like Web2.0. In fact, Web3.0 is considered a decentralized version of Web1.0 and Web2.0. And it seems that Web3 has a very complex structure and potential for development [30, 31, 26].

**Study process in software and programming environment.** One of the main parts of maintaining the privacy of the original author is to create a software environment, programming and computer coding. For this reason, only a part of it will be shown in this article. This study challenged the mind of people along with considering all the influencing factors and reviewed solutions. The basic challenge of this study has been precisely that the minds are big and come out of passive behavior and help to change the transpersonal identity along with the experiences to participate at a high level. This can lead to the improvement of the identity and structure of people in a society, the shape of cities and almost everything. It brings with it that it can be considered a positive thing. Conducting localization studies based on the type of applied method and the characteristics of the localization target includes different steps [34, 35].

In general, usability in any type of planning process directly refers to two points: first, accessibility and second, reliability. It means planned projects and unplanned projects. In





**Fig. 1** – The picture of the location of the Sari town, in the country of Iran, Mazandaran province and Sari city

scheduled projects, it can be scheduled time in routine activities or other scheduled operational activities, such as resizing projects, which means that equipment is not available [36 - 40]. Stoppages in unplanned projects are most likely due to unwanted incidents and can also be due to unplanned interruptions in work. The downtime caused by equipment failure is related to both the reliability of the equipment or the number of equipment failures and the time required to restore the equipment. In the Part second which the role of the client and server is clearly evident in fig. 2 observed. Services and components in the spatial information system of national participation in a streaming manner is shown in fig. 3. Traditional engagement processes and synchronizing with web-based engagement (fig. 4) Workflow processes and service capabilities therein can be seen in Figure 5. The lack of systematicity of the urban system, especially some related organizations such as the municipality, can be seen in this way. The

activity team initially starts with phone calls to solve the problem and finally leads to the archive, which is the biggest problem that remains unanswered in the dispute-oriented system. Which is very surprising (fig. 6).

**Allocation of weights with tables in statistical forms and decision models.** In this section, multi-criteria, network and hierarchical decision-making is used and reference is given for study [41]. If we look carefully from the beginning of the study, this part is one of the most important parts of the treatise. The number of criteria in this section:

1) Municipality 2) Citizens 3) Government 4) Business interests 5) Other agencies 6) Non- governmental organizations with the aim of: the e-government framework based on these criteria is formed by hierarchical analysis or AHP. To analyze this part, Superdesign software is used. First, the model is drawn in the software, which is shown in Figure 7 and Table 1.

In the next part and the municipal basketball, the opinions of the experts are ranked

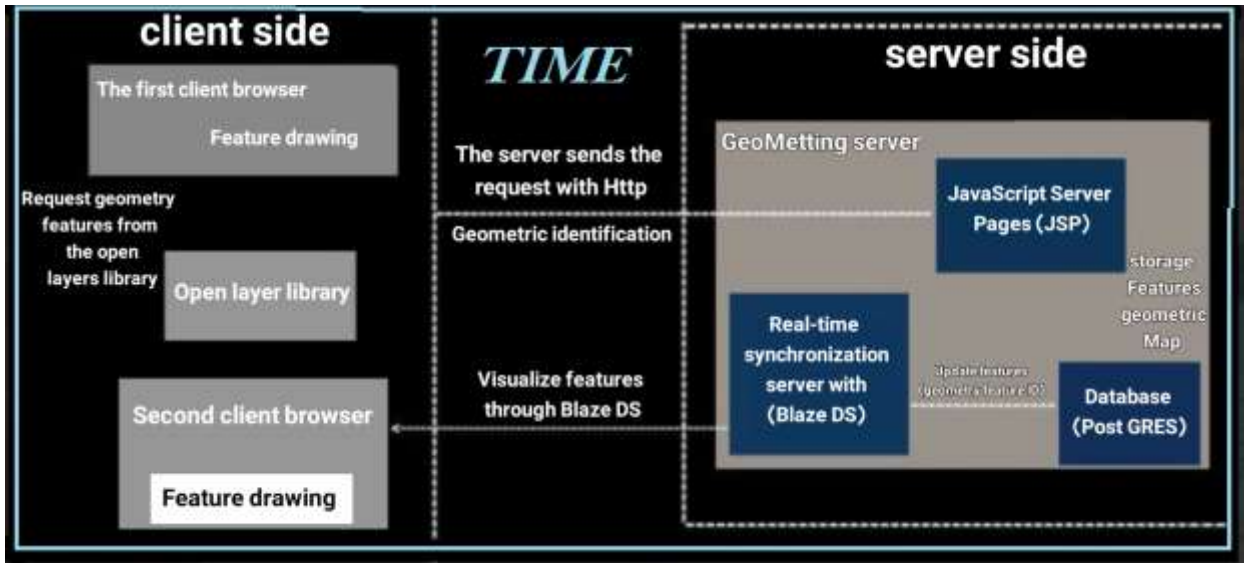


Fig. 2 – An example of software programming to request the system at real time

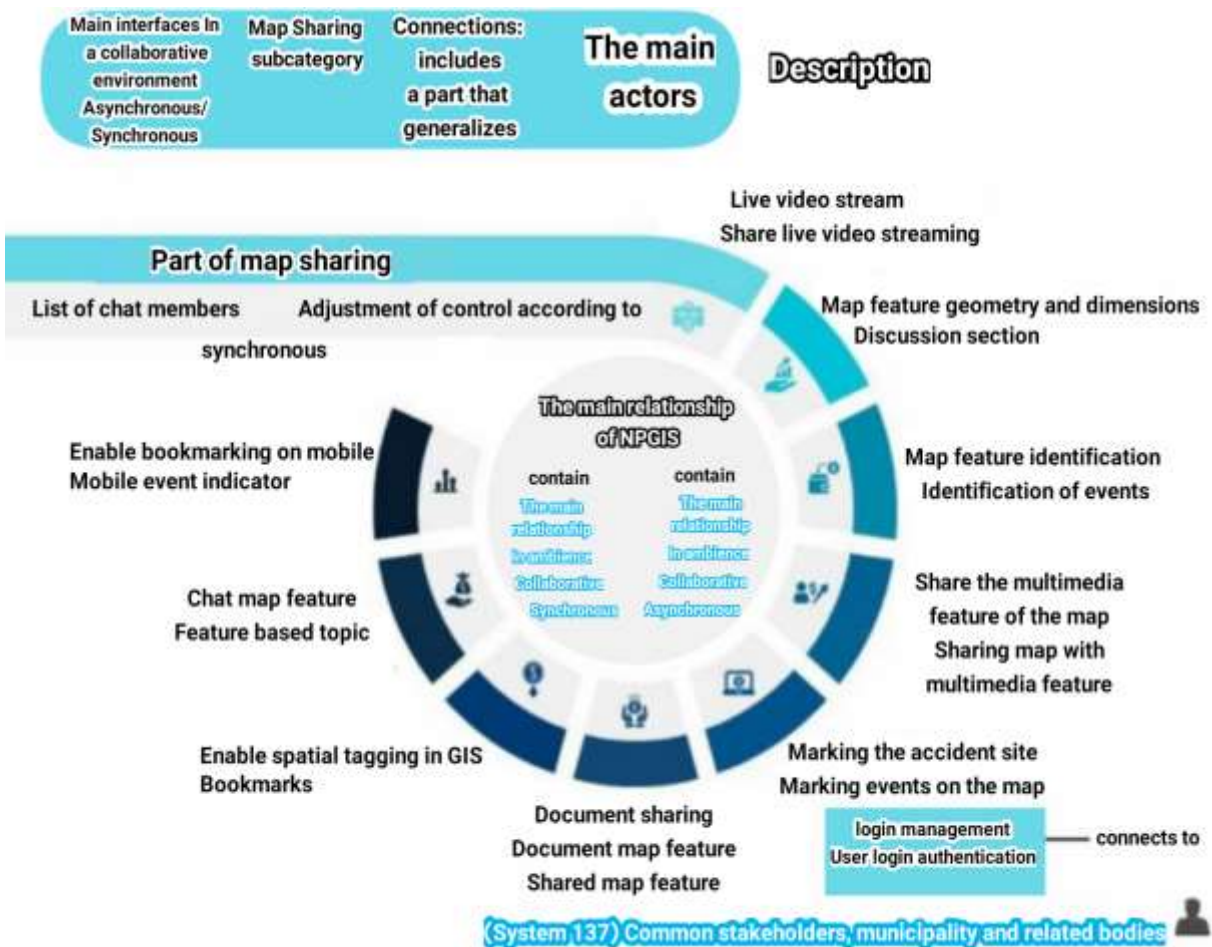


Fig. 3 – NPGIS services and components in streaming form



Fig. 4 – Synchronizing with web-based engagement



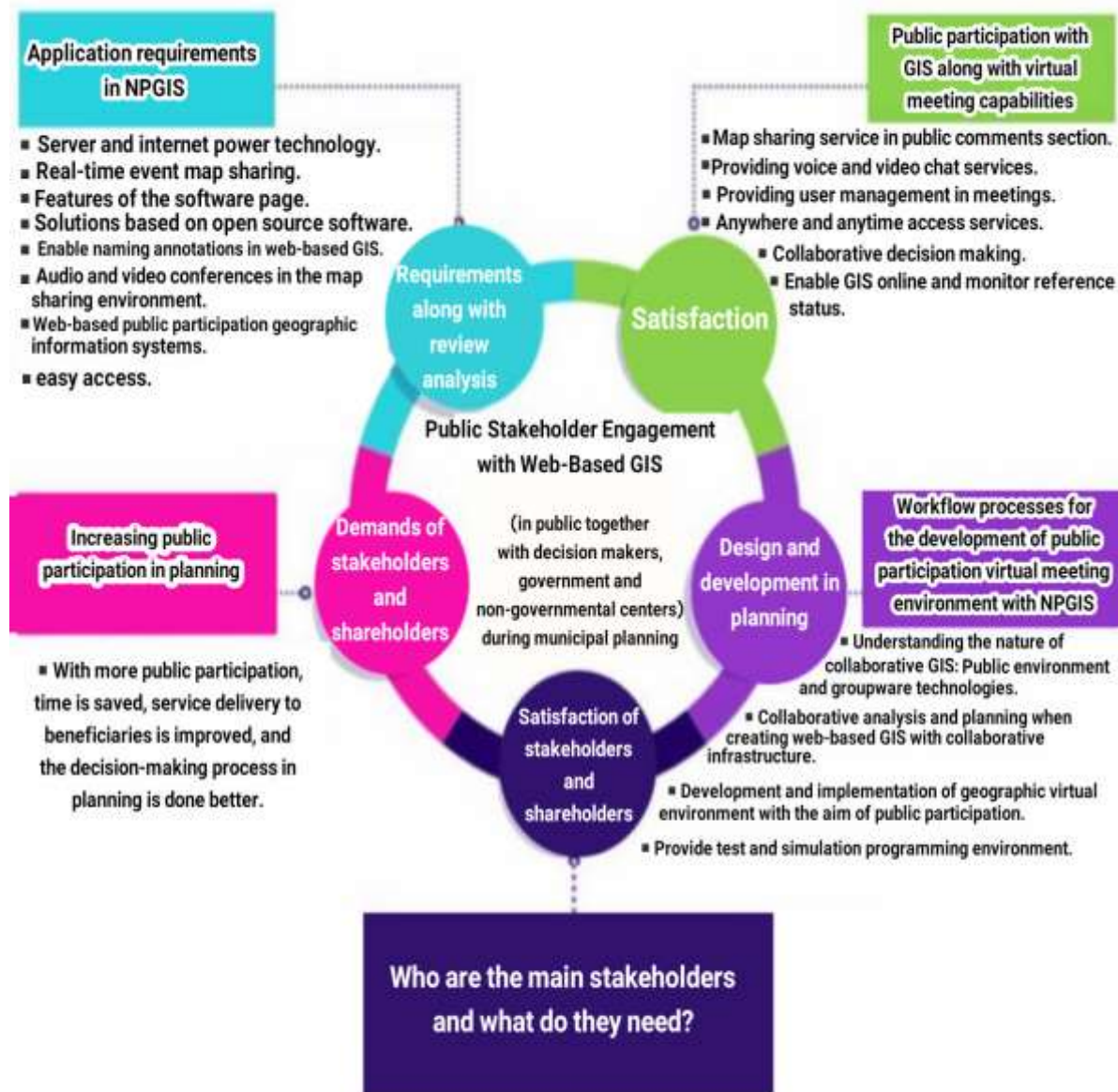


Fig. 5 – Workflow processes and service capabilities therein



Fig. 6 – The incorrect cycle of urban management, system 137

Pairwise comparison of criteria in AHP method

Table 1

rank		Government	Non-governmental	Other	municipality	Citizens	Commercial interests	Weight
1	Government	1	2	3	3	4	2	0/329
3	Non-governmental organizations	0/5	1	2	3	0/5	1	0/154
6	Other agencies	0/333	0/5	1	0/5	0/333	0/25	0/061
5	municipality	0/333	0/333	2	1	0/5	0/5	0/086
4	Citizens	0/25	2	3	2	1	0/333	0/151
2	Commercial interests	0/5	1	4	2	2	1	0/218

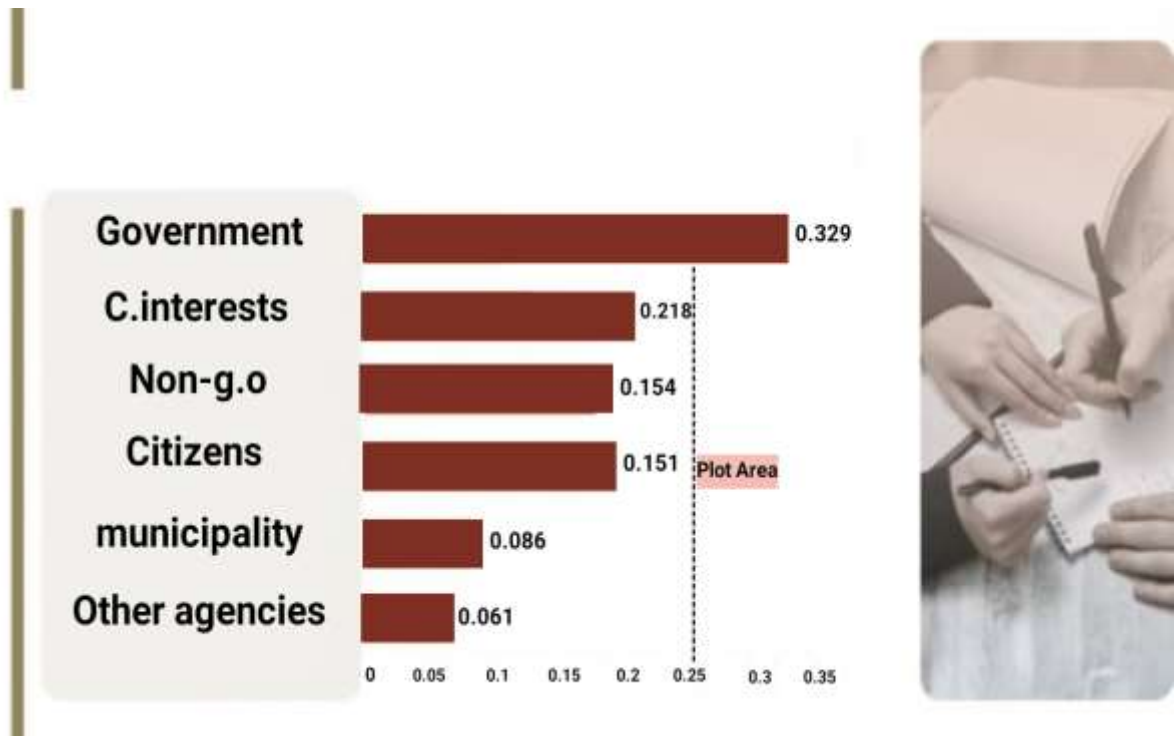


Fig. 7 – Weight chart of criteria in AHP model

as follows: 1) General satisfaction 2) Dissatisfaction 3) Lack of communication 4) Unsuccessful call 5) Repeated and informed. Also, the following criteria: 1) survey 2) referral to the cartable 3) field visit 4) speed 5) quality 6) general satisfaction 7) confirmation of performance 8) disapproval of performance 9) referral to the executive director's cartable with the purpose of feedback to the municipality's cartable. The level of public satisfaction should be measured by the process of network analysis. To analyze this part, Superdecision software and ANP method were used, and the final weight of this model is given in Fig. 8 and Fig. 9. Internal relationships are also shown based on the form of the question. After drawing the model in the software, pairwise comparisons are made, which are given below.

The results of this part of the survey show that the citizens' satisfaction with telephone answering is in a favorable rank, but the follow-up and performance of the municipality and the level of satisfaction is almost or to a high extent low. It should be noted that the factor of time and timely response plays a decisive role. Now it's time to reach these answers that were observed during the study. The priority or the main concerns of the stakeholders in this section are also addressed by using

the ANP process to prioritize the following five criteria:

- 1- Communication channels
- 2- Cost
- 3- Misuse and failure to protect data privacy
- 4- Lack of support for quick and timely decision making
- 5- Project information management

First, the network model of the research is drawn using Superdesign software, and its final weight diagram with ANP is shown in Figure 10. Based on this, the lack of support for quick and timely decision-making has won the first rank with a weight of 0.242. Misuse and failure to protect data privacy with a weight of 0.232 ranked second and cost ranked third with a weight of 0.202. Figure 11 shows the final weight of these economic and social criteria.

**10 Statistical analysis to evaluate the optimality of the decision.** The frequency of responses even with a small number of participants indicates an easy-to-use interface. That is, even the work in the hands of those who do not have the experience of mass planning in route finding, will be able to create a new network of routes with reliability and without any doubt. Therefore, in addition to effective

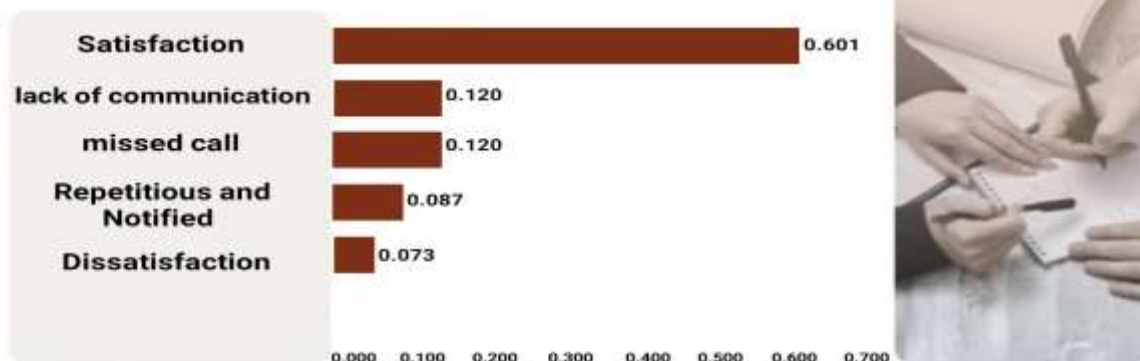


Fig. 8 – Final weight diagram of two-way and network model criteria

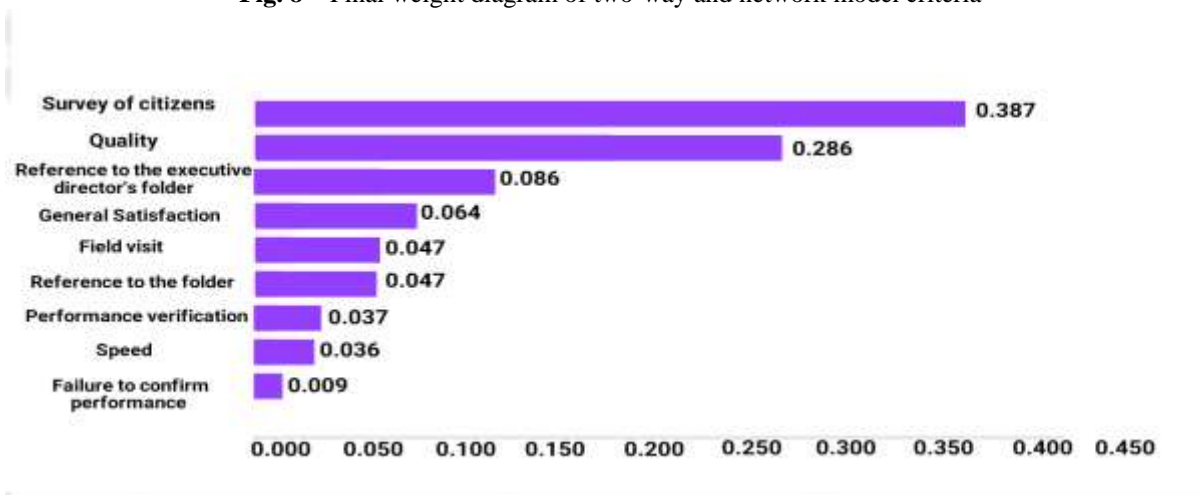


Fig. 9 – Diagram of the final weight of the two-way model and network sub-criteria



Fig. 10 – Chart of final weight and criteria priority



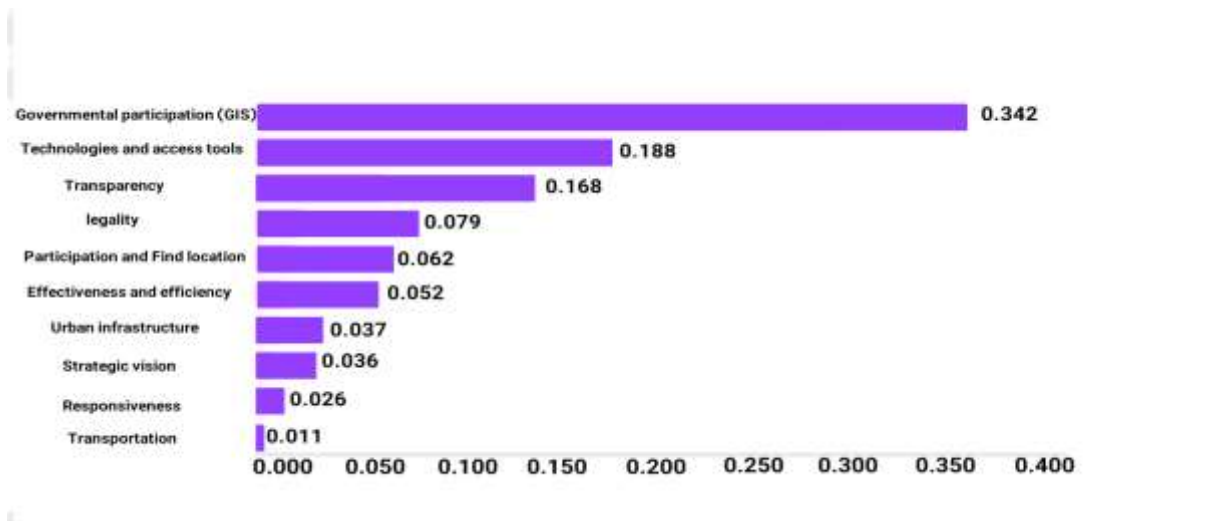


Fig. 11 – Weighting diagram and final priority of criteria based on social-economic priorities

decision-making, the paths that are created in a place will be clear and realistic [42]. Statistical analysis was performed on user performance data, which was collected from pre-post web activity questionnaires and analytical software. Finally, all data were submitted to the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) for statistical analysis, the results of which are discussed. The following are the activities of statistical authorities that have been used in the study and have made efforts in this way [43 – 46]. In fifth part, according to the issues and limitations of the study, the number of accompanying people, apart from the general interview, which was 384 samples and based on the population of Sari, varies between 19 and 70 people. So we arrive at the statistical ranking according to what the municipality has considered to be considered by the people, based on the Friedman test, the following results have been obtained. After the descriptions and on the basis of the public question, it was done according to the population of Sari and it was shown in the following. In fact, since Milton Friedman examined it for the first time in 1937, the non-parametric statistical test is known by his name. This test does not need to know the distribution of variable values [46 – 50]. The calculation of Friedman's statistic, which is represented by  $\chi_r^2$ , is possible using the following relations and can be done in two ways:

$$\chi_r^2 = \frac{SS_{br}}{k(k+1)} \quad (1)$$

where  $SS_{br}$  is the sum of the rank squares between the distributions and  $k$  is the number of categories or distributions for which the ranking is done

$$\chi_r^2 = \frac{12}{Nk(k+1)} \sum (T_g)^2 - 12N(k+1) \quad (2)$$

where  $N$  is the number of subjects,  $k$  is the number of categories or distributions for which ranking is done, and  $T_g$  is the sum of the ranks of the  $g$ -th group. The value of  $SS_{br}$  is also obtained from the following relation:

$$SS_{br} = \frac{\sum (T_g)^2}{N} - \frac{(T_{all})^2}{N_a} \quad (3)$$

This test was used to check whether the criteria of satisfaction with time participation are significantly different from each other or not. The results of this test showed that the proposed factors have a significant difference at the 99% confidence level. The comparison of the average ratings showed that the time with an average of 5.97 is in the first place and the activity on time is in the second place with an average of 5.90 and the Along option, which is the same as the mobile smartphone and the result of the first and second options with a score of 5.97, is in the third place and Other factors were ranked next. Its diagram is shown in fig. 12 and the software output can be seen below it.



**Case studies with collaborative map sharing system.** This map, as a KML map, was reviewed in terms of time and space before uploading it in the NPGIS environment and made expert decisions so that the most optimal pro-

cesses can be carried out on the proposed locations. Local decisions and proposals of experts as well as economic stakeholders were taken into account so that the most convenient and best operations in this environment are carried



**Fig. 12** – Graph of the average scores of the criteria based on the statistical test

out in every aspect and leave no room for any doubt or object in it. And the next section this process has gone through a long period of one month to show the efficiency of this system compared to other systems based on GIS software. It is shown in figure 13 which will definitely include the best positions. This section was selected as the urban planning section of Sari regions, assuming that according to its regional reform plans, there was a possible scope for reforms in the municipality in each region. Spatial data related to the corrections were prepared using Google Earth software in the form of GIS files, which are loaded into a computer

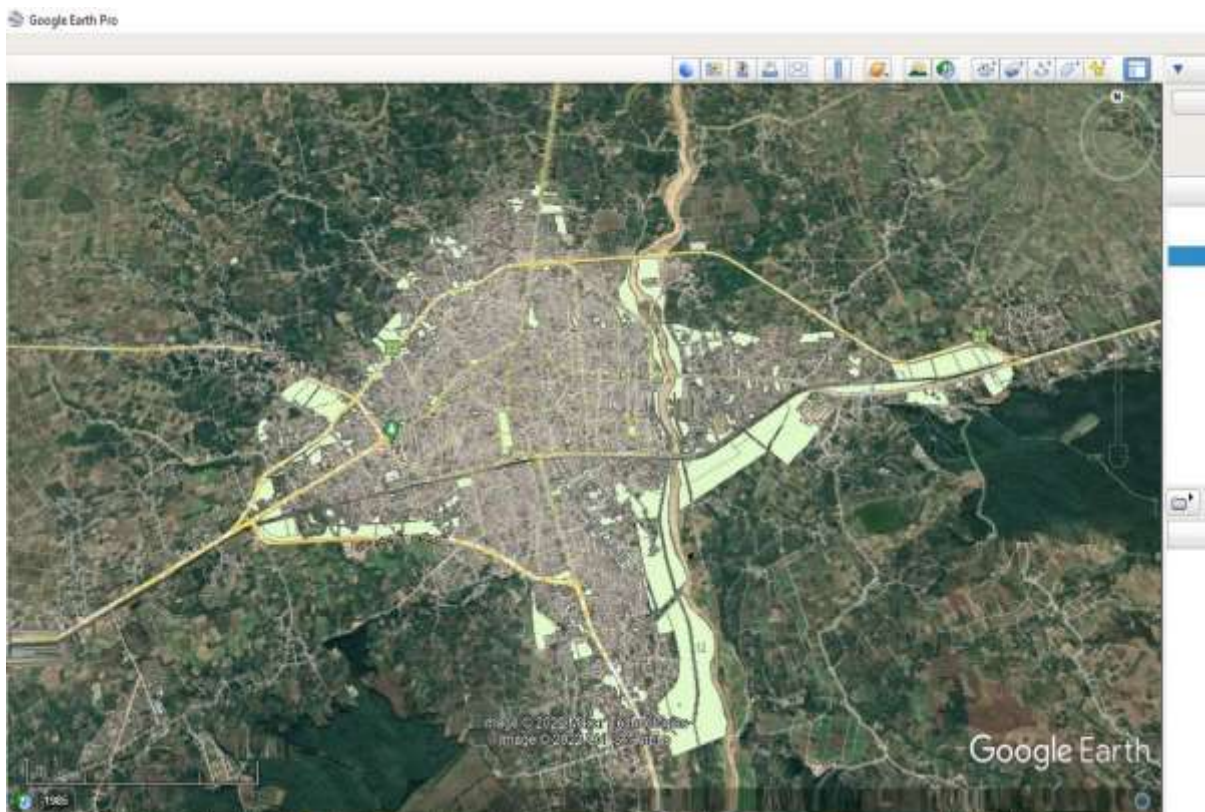
as a web- based map layer to be displayed as a KML layer associated with map sharing and This map can be seen in Figure 14 along with 83 locations. This shows that NPGIS is an innovative and creative topic that will be used much more later, and it is not surprising if this happens. The reason for this is important because due to the protection of privacy and some special conditions, the application environment as well as the subscription-oriented hardware and software environments have not been revealed so far. And of course, after going through the routine and legal procedures, this will happen soon.

### Conclusion

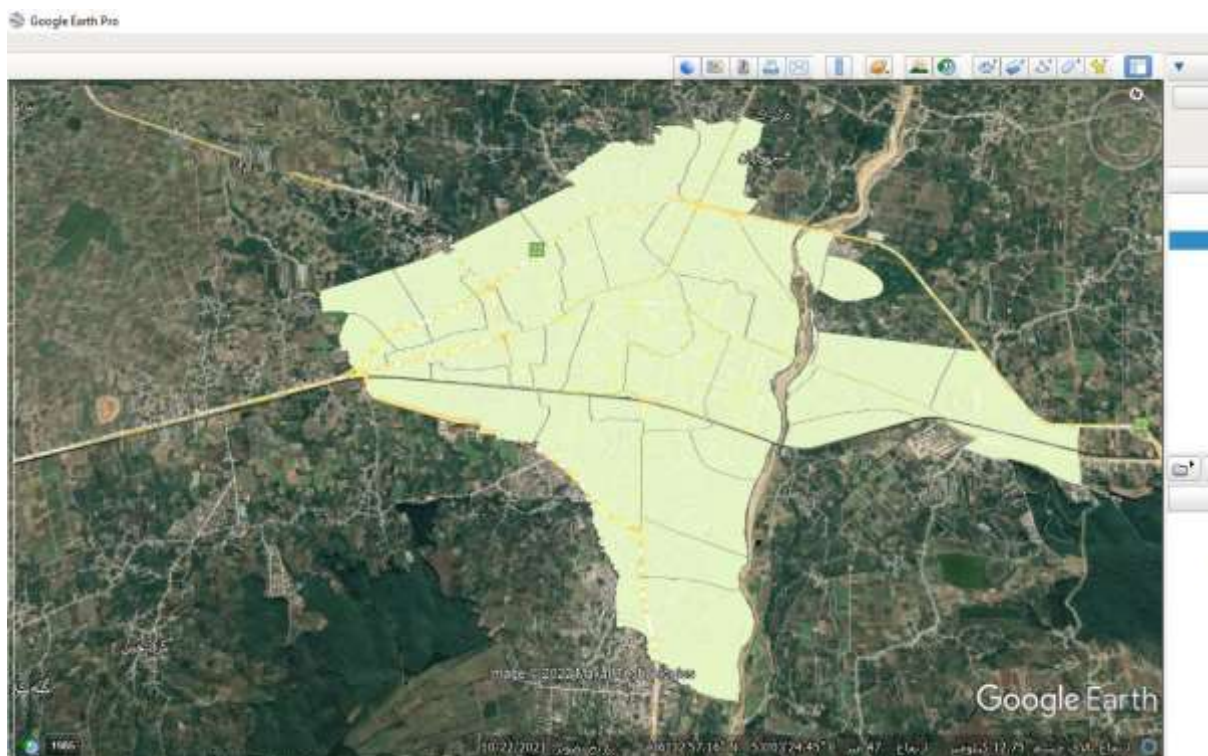
This study starts with a short discussion related to the formation of the software, the formation of the environment and hardware and all the existing criteria, and then the evalu-

ation process, proposed for the participation-oriented information system, continues.

The methods are discussed and then the discussion related to the case study and



**Fig. 13** – New and creative accesses, preventing accidents on the Google Earth map



**Fig. 14** – Innovative and creative process in NPGIS environment on the Google Earth map

evaluation of the usability of the participatory spatial information system and requirements engineering as a support tool for participatory planning in the city and related organizations such as the municipality was discussed. In the end, statistical analysis along with interpretations based on statistics, especially Spearman's correlation, are discussed and demonstrated. The reason for the topic of decision-making is based on statistical analysis, not just comparing decision-making with analysis, because sudden decisions like early humans are usually made in natural events and away from dangers and the like.

This issue has not been seen in any dispute so far. In the following, we realized that the time factor and then being on time are the most important factors along with the economic criterion. Although planners were expected to be decisive, the results showed otherwise. In practice, it was proved that the basis of software, mathematical and statistical analysis decisions of the groups is the reason for the rise of the economic standard, along with the time factors, which are very necessary in improving the participation with GIS. The role of the power and wealth layer is still colorful and unlike the priorities, the fastest and most dominant decisions are made by this. So, it should be said that the behavior gap between urban science expert groups and others is actually undesirable, which means that there is no need for technological skills in participation and it will be investigated in its own time. Soon, much more details of the dissertation from which this article was extracted will be provided by the author of the dissertation in subsequent studies, which will probably be surprising. Anyway, based on the re-

sults obtained and due to the misleading nature of the time issue, it cannot be managed, and people should not worry about time management, because they lose their focus. Therefore, they should manage their concentration and be focused in the moment. It is only in this way that one can use the time effectively and continue the desired activity. Finally, an environment consisting of time, which is the main focus of the study, computer hardware and software, criteria and sub-criteria for experts and the general public, the presence of stakeholders and decision-makers, urban, national and military stakeholders with a wide presence of people of different ages It has been done for the first time in the world. The title, NPGIS, has been formed with a forward-looking view that is unique in its kind and which was introduced in this study, which is in line with the high creativity and technology of the present era. In the next researches of the researcher, more topics and aspects of this extremely broad and content-rich Doctoral Dissertation will be narrated.

*Due to the extensive nature and dimensions of this doctoral thesis, this is one of the five articles that have been published so far, and we will see more articles published soon.*

*This article, taken from the Dissertation of a specialized doctorate, that was delivered on August 23, 2022, to Dr. Tajaddin Karami, assistant professor of the Department of Geographical Science, Kharazmi University of Tehran, to that I thanks to him.*

***Dedicated to the pioneer of the world of solitude and discoveries: "Nikola Tesla", lovers of science, researchers of knowledge and innovation in the world***

## References

1. Baron, S., Miller, K., & Tallant, J. (2022). *Out of Time: A Philosophical Study of Timelessness*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780192864888.001.0001>
2. Johnson, M.S., Adams, V.M., Byrne, J. & Harris R.M.B. (2022). The benefits of Q + PPGIS for coupled human-natural systems research: A systematic review. *Ambio* 51, 1819–1836. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01709-z>
3. Valánszki I., Söderkvist K. L., Jombach S., Ladányi M., Kovács K. F., & Fekete A. (2022). Assessing Relations between Cultural Ecosystem Services, Physical Landscape Features and Accessibility in Central-Eastern Europe: A PPGIS Empirical Study from Hungary. *MDPI, Sustainability*. 14(2), 754. <https://doi.org/10.3390/su14020754>
4. Bibri, S. E. (2018). *Smart Sustainable Cities of the Future: The Untapped Potential of Big Data Analytics and Context-Aware Computing for Advancing Sustainability*. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018 ISBN 978-3-319-73981-6 (eBook). Library of Congress Control Number:



2017963284. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73981-6>
5. UN-HABITAT GLOBAL ACTIVITIES REPORT. (2015). INCREASING SYNERGY FOR GREATER NATIONAL OWNERSHIP, All rights reserved, United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). Retrieved 2021-10-25 [www.unhabitat.org](http://www.unhabitat.org)
  6. United Nations. (2019). Department of Economic and Social Affairs, Population Division World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations. Retrieved 2021-10-25 <https://www.un.org>
  7. Beck, U. (1992). Risk Society Towards a New Modernity, Publishr: Sage Publications (CA). <https://doi.org/10.1177/000169939303600409>
  8. Silva, C. N. (2013). Open source urban governance: crowdsourcing, neogeography, VGI and citizen science. In: Silva C.N. (Ed.). Citizen e-participation in urban governance: crowdsourcing and collaborative creativity. IGI Global, New York, 1–18. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4169-3.ch001>
  9. Wessels, B. (2010). The Role of Local Agencies in Developing Community Participation in E-Government and E-Public Services, Handbook of Research on E-Planning: ICTs for Urban Development and Monitoring, University of Sheffield, UK. <https://doi.org/10.4018/978-1-61520-929-3.ch015>
  10. McCall, M. K. (2019). PGIS for LSK: P(P)GIS, Participatory Mapping and Participatory Cartography in the Urban Context utilising Local Spatial Knowledge. A Bibliography , More lia: UNAM, CIGA. (New ed.). Retrieved 2021-10-25 <https://www.researchgate.net/publication/332974760>
  11. Antoniou, G., d'Aquin, M., & Pan, J.Z. (2011). Semantic web dynamics, Journal of Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Publisher Elsevier Science Publishers BV, 9(3), 245-246. <https://doi.org/10.1016/j.websem.2011.06.008>
  12. Newton, Casey. (2021). "Mark Zuckerberg is betting Facebook's future on the metaverse". The Verge. (2021-07-22), Retrieved 2021-10-25 from <https://www.theverge.com/22588022/mark-zuckerberg-facebook-ceo-metaverse-interview>
  13. Arnstein, S. (1969). A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35, 216-224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>
  14. Teixeira, H., Magalhães, A., Ramalho, A., Pina, M. de F., & Gonçalves, H. (2021). Indoor Environments and Geographical Information Systems: A Systematic Literature Review: *The International SAGE Journals*, 11(4). <https://doi.org/10.1177/21582440211050379>
  15. Radill, S. M., & Anderson, M. B. (2018). Rethinking PGIS: Participatory or (post)political GIS? *Progress in Human Geography*, 43(2), 195–213. <https://doi.org/10.1177/0309132517750774>
  16. Indrajit, A., Ploeger, H., Van Loenen B., & van Oosterom P.J.M. (2018). Designing Open Spatial Information Infrastructure to Support 3D Urban Planning in Jakarta Smart City. In *Proceedings of the 6th International FIG 3D Cadastre Workshop*, Delft, The Netherlands, 2-4 October 2018, 329-356. Retrieved 2021-10-25 from <http://resolver.tudelft.nl/uuid:42b8697a-81cb-4458-962a-f40e2741d335>
  17. Ghose R., (2017). Public-participation GIS. In: Richardson D. (Ed.). *The International Encyclopedia of Geography*. New York: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg1155>
  18. Roots to Routes Initiative. (2017). Retrieved 2017-06-11 from <https://www.fieldmuseum.org/science/research/area/keller-science-action-center/science-action>
  19. Campbell, J. (2017). Expanding urban green spaces access through participatory action research on South Chicago's Lakefront. Paper presented at the Annual Meeting of the American Association of Geographers, Boston, MA, USA, 5-9 April 2017, Retrieved 2021-10-25 from [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?hl=en&publication\\_year=2017&author=J+Campbell&title=Expanding+urban+green+spaces+access+through+participatory+action+research+on+South+Chicago%E2%80%99s+Lakefront](https://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2017&author=J+Campbell&title=Expanding+urban+green+spaces+access+through+participatory+action+research+on+South+Chicago%E2%80%99s+Lakefront)
  20. Campbell, H. (2016). Just Planning: The Art of Situated Ethical Judgment. *Journal of Planning Education and Research*, 26(1), 92-106. <https://doi.org/10.1177/0739456X06288090>
  21. Zolkafli, A., Liu, Y., & Brown, G. (2017). Bridging the knowledge divide between public and experts using PGIS for land use planning in Malaysia. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 83(2), 1-23. <https://doi.org/10.1002/j.1681-4835.2017.tb00610.x>
  22. Indrajit, A., Van Loenen, B., Van Oosterom, P. (2019). Assessing Spatial Information Themes in the Spatial Information Infrastructure for Participatory Urban Planning Monitoring: Indonesian Cities. *International Journal of Geo-Information*, 8, 305. <https://doi.org/10.3390/ijgi8070305>
  23. Weword. (2022). country experienced 30 shocks in total, Situational Report #01 - Haiti January 2022 Haiti is constantly afflicted by earthquakes; between 24th-25th January 2022, the. 1-4, Retrieved 2021-10-25 from [https://reliefweb.int/attachments/93e45f8d-43c8-388a-81d7-eeeba962bf67/2202\\_Haiti%20Earthquake%20SitRep%2001.pdf](https://reliefweb.int/attachments/93e45f8d-43c8-388a-81d7-eeeba962bf67/2202_Haiti%20Earthquake%20SitRep%2001.pdf)
  24. Dunn, C. E. (2007). Participatory GIS-a people's GIS? *Progress in Human Geography*, 31 (5):616-637,

- <https://doi.org/10.1177/0309132507081493>
25. Abbruzzese, J. (2021). "This ethereum-based project could change how we think about digital art". Mashable. Retrieved 2021-10-25 from <https://mashable.com/article/cryptopunks-ethereum-art-collectibles>
  26. Zarrin J., Wen Phang, H., Babu Saheer, L., & Zarrin B. (2021). Blockchain for decentralization of internet: prospects, trends, and challenges. *Cluster Computing*, 24(4), 2841-2866, <https://doi.org/10.1007/s10586-021-03301-8>
  27. Trček, D. (2022). Cultural heritage preservation by using blockchain technologies. *Heritage Science*, 10(1), 1-11, <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00643-9>
  28. Roose, K. (2021). "Crypto Is Cool. Now Get on the Yacht". The New York Times. Archived from the original on November 5, 2021. Retrieved November 9, 2021 from <https://www.nytimes.com/2021/11/05/technology/nft-nyc-metaverse.html>
  29. Miller, R. (2021). "The irrational exuberance of web3 – TechCrunch". TechCrunch. December 14, /Retrieved December 16, 2021, <https://techcrunch.com/2021/12/14/the-irrational-exuberance-of-web3>
  30. Hosch, W.L. (2021), "Web 2.0". Encyclopedia Britannica. Retrieved December 12, 2021, <https://www.britannica.com/topic/Web-20>
  31. Livni Ephrat, Welcome to Web3 What's That?. (2021). The New York Times, Archived from the original on December 28, 2021., Retrieved December 16, 2021 from <https://www.nytimes.com/2021/12/05/business/dealbook/what-is-web3.html>
  32. Urban sari with 6 thousand years old and historical memory., (2018). received on 20-12-2018 [https://en.wikipedia.org/wiki/Sari,\\_Iran](https://en.wikipedia.org/wiki/Sari,_Iran)
  33. Statistical yearbook of Iran. (2018). National portal of statistics "Population of cities of Iran, Statistics Center of Iran. Retrieved November 9, 2021 from <https://www.amar.org.ir/english/Iran-Statistical-Yearbook>
  34. Fallah, M. & Farajzadeh, M. (2013). Locating the wastewater treatment plant by integrating Fuller's triangle and fuzzy model in the environment of spatial information system (case study: Qeshm Island)., National Geomatic Conference, Mapping Organization of Iran. Tehran 2013, period 21, <https://www.sid.ir/FileServer/SF/8701393h21267.pdf>
  35. Fallah, M., Vagharfard, H., Farajzadeh, M., & Nick Kheslat, A. (2014). Assessment of Spatial multi-criteria decision-making with process of the neural networks Method to Site Selection of the Wastewater Treatment Plant (Case study: Qeshm Island ), *International journal of Advanced biological and biomedical research.*, 2(6), 2061-2066, Corpus ID: 60467545. <https://www.semanticscholar.org/paper/ASSESSMENT-OF-SPATIAL-MULTI-CRITERIA-WITH-PROCESS-Mahdi-Hassan/2f2d579c57b7f626272362010d51071d8c7aa9a2>
  36. Mattingly, W.A., Kelley, R.R., Wiemken, T.L., Chariker, J.H., Peyrani, P., Guinn, B.E., Binford, L.E., Buckner, K., & Ramirez, J. (2015). Real-time enrollment dashboard for multisite clinical trials, *Contemporary Clinical Trials Communications*, 1, 17-21, <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2015.09.001>
  37. Cahyadi, A, Prananto, A. Reflecting., (2015). design thinking: A case study of the process of designing dashboards, *Journal of Systems and Information Technology*, 17(3): 286-306. <https://doi.org/10.1108/JSIT-03-2015-0018>
  38. Saleh, A., Isami R. B., & Fabil, N. B. (2015). Extension of PACMAD model for usability evaluation metrics using Goal Question Metrics (GQM) approach. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 79 (1): 90-100. <http://www.jatit.org/volumes/Vol79No1/10Vol79No1.pdf>
  39. Rodríguez, F.D., Acuña, S.T., & Juristoa, N. (2015). Design and programming patterns for implementing usability functionalities in web applications. *Journal of Systems and Software*, 105, 107-124. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.04.023>
  40. Nielsen J. (1993). Usability Engineering. Academic Press, Boston, MA, San Francisco, California Morgan Kaufmann Publishers. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.5555/2821575>
  41. Bayazit, O. (2006). Use of analytic network process in vendor selection decisions. *Benchmarking: An International Journal*, 13(5), 566-579. <https://doi.org/10.1108/14635770610690410>
  42. Denwood, T., Huck, J., & Lindley, S. (2022), Participatory Mapping: a systematic review and open science framework for future research. *Annals of the American Association of Geographers*, 27 Jun 2022, <https://doi.org/10.1080/24694452.2022.2065964>
  43. Tabatabai, A., Zarei, B., Kamran Dastjerdi, H., & Ahmadi, A. (2022). Investigating the process of formation of national identity in Iran, in terms of territorialism. *Journal of Geography*, 20(72). <http://dor.net/dor/20.1001.1.27833739.1401.20.72.2.8>
  44. Vaseg, M., Ahmadi, S. & Tabatabai, A. (2018). Analysis of Factors Affecting the Management of Iran-Afghanistan Border Areas from a Geopolitical Perspective. *Geography*, 16(58), 115-140. [http://mag.iga.ir/article\\_253449.html?lang=en](http://mag.iga.ir/article_253449.html?lang=en)
  45. Youngchoi, S. A., Siqi-Liu, A.M. & Umanatha, S. (2021). National Identity Can be Comprised of More Than

- Pride: Evidence From Collective Memories of Americans and Germans. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 10(1), 117-130. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2020.09.004>
46. Friedman, M. (1959). The Demand for Money: Some Theoretical and Empirical Results. *Journal of Political Economy*, 67(4), 1 - 29, <https://doi.org/10.1086/258194>
47. Cochran, W.G. (1977). *Sampling Technique*. third Edition, John Wiley and Sons Inc., New York. [https://archive.org/download/Cochran1977SamplingTechniques\\_201703/Cochran\\_1977\\_Sampling%20Techniques.pdf](https://archive.org/download/Cochran1977SamplingTechniques_201703/Cochran_1977_Sampling%20Techniques.pdf)
48. Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and psychological measurement*, 30(3), 607-610. <https://doi.org/10.1177/001316447003000308>
49. Friedman J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2010). Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. *Journal of Statistical Software*, 33(1), 1–22. <https://doi.org/10.18637/jss.v033.i01>
50. Friedmann, J. (1987). *Planning in Public Domain, From Knowledge to Action*. Princeton University Press. <https://www.amazon.com/Planning-Public-Domain-John-Friedmann/dp/0691022682>

The article was received by the editors 12.09.2022

The article is recommended for printing 25.11.2022

**М. ФАЛЛАХ<sup>1</sup>**, PhD (географія та містобудування),

відділ ГІС та Р експертизи

e-mail: [mahdi.fallah.20@gmail.com](mailto:mahdi.fallah.20@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2171-4582>

**Т. КАРАМІ<sup>1</sup>**

асистент професора, факультет географічних наук

відділ ГІС та Р експертизи

e-mail: [karamit@khu.ac.ir](mailto:karamit@khu.ac.ir) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2586-3289>

**М. К. КОДЖУРІ<sup>1</sup>**, PhD (географія та містобудування),

доцент факультету географічних наук, експертиза міського управління

e-mail: [kamanroudi@khu.ac.ir](mailto:kamanroudi@khu.ac.ir) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2886-644x>

<sup>1</sup>Університет Харазмі,

Провінція Тегеран, Тегеран PC3G+GM4, Іран

## НАЦІОНАЛЬНА ГЕОПРОСТОРОВА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА У МІСТОБУДУВАННІ

**Мета.** Обґрунтування теоретичних і методичних засад формування національної геопросторової інформаційної системи у містобудуванні.

**Методи.** Картографічний для просторового аналізу, геоінформаційного аналізу, а також методи статистичного аналізу даних, зокрема кореляцію Спірмена.

**Результати.** Теоретично обґрунтовані питання щодо формування програмного забезпечення, формування ГІС-середовища та апаратного забезпечення; всіх існуючих критеріїв; запропонований процес оцінювання проектованої інформаційної системи. Обговорені методи, що пов'язані з практичним дослідженням та оцінкою можливості використання просторової інформаційної системи при участі та розробці вимог як інструменту підтримки планування містобудування в муніципалітеті. Продемонстровані результати статистичного аналізу разом із інтерпретаціями на основі статистики, особливо кореляції Спірмена. На практиці доведено, що використання програмного забезпечення, математичного та статистичного аналізу є причиною підвищення економічного стандарту разом із врахуванням фактору часу, які дуже необхідні для покращення ГІС.

**Висновки.** Через оманливу природу питання часу, бо ним неможливо керувати, і люди не повинні турбуватися про управління часом, оскільки вони втрачають увагу. Необхідно бути зосередженими на конкретному моменті і тільки так можна ефективно використовувати час і продовжувати необхідну діяльність. Нарешті, шляхом програмування та створення механізму спільного прийняття рішень в асинхронних і синхронних середовищах, представлено в організаційній формі національної геопросторової інформаційної системи (NPGIS).

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** містобудування, НПГІС, повітряний простір, час-місце, інновації

Стаття надійшла до редакції 12.09.2022

Стаття рекомендована до друку 25.11.2022

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-04>

УДК (UDC): 630

**Л. Ф. ЧОРНОГОР<sup>1</sup>**, д-р фіз.-мат. наук, проф.,  
завідувач кафедри космічної радіофізики

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

**А. Н. НЕКОС<sup>1</sup>**, д-р географ. наук, проф.,  
завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти

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

**А. В. ТІТЕНКО<sup>1</sup>**, канд. географ. наук, доц.,  
директор навчально-наукового інституту екології

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

**Л. Л. ЧОРНОГОР<sup>1</sup>**,

студент навчально-наукового інституту екології

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

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

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ПІРОГЕННОГО ФАКТОРУ НА ЛІСОВІ ЕКОСИСТЕМИ

**Актуальність.** Розробка простих аналітичних математичних моделей горіння великих лісових масивів край необхідних для оцінки екологічних наслідків впливу пірогенного фактору.

**Мета.** Розробити математичні моделі, що описують поширення великомасштабних лісових пожеж, спрямованих на оцінку екологічних наслідків впливу пірогенного фактору.

**Методи.** Математичне моделювання.

**Результати.** Надано результати аналізу основних параметрів горіння лісових масивів: площа, пройдена вогнем, тривалість пожежі, час вигорання, питома маса горючих матеріалів, енергія та потужність горіння, питома теплотворна здатність, інтенсивність горіння, швидкість переміщення фронту горіння, приплив горючих матеріалів тощо. Створено прості аналітичні математичні моделі протікання процесу горіння великих лісових масивів, а саме: модель з постійною швидкістю зростання площі пожежі, двовимірний модель, модель з секторним рухом фронту горіння, модель з лінійним зростанням у часі довжини фронту горіння, модель з квадратичним зростанням у часі швидкості зміни площі пожежі та узагальнена модель. Запропонована нова класифікація інтенсивності пожеж, що містить 1–7 балів від наднизької до екстремальної інтенсивності. Оцінено максимальну площу, охоплену пожежею, (10–100 тис. км<sup>2</sup>), енергію горіння (1–10 ЕДж) та потужність горіння (0.1–1 ПВт).

**Висновки.** Розроблено прості аналітичні математичні моделі протікання процесу горіння великих лісових масивів, необхідні для кількісної оцінки екологічних наслідків пожеж.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** математична модель, горіння лісового масиву, параметри горіння, класифікація інтенсивності пожеж

**Як цитувати:** Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л. Математичні моделі для оцінки екологічних наслідків впливу пірогенного фактору на лісові екосистеми. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 27. С. 51 - 62. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-04>

**In cites:** Chernogor, L. F., Nekos, A. N., Titenko, G. V., & Chornohor, L. L. (2022). Mathematical models for estimate of the ecological consequences of the impact of the pyrogenic factor on forest ecosystems. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 51 - 62. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-04> (in Ukrainian)

© Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л., 2022



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

Щорічно пожежі чисельністю до 7 млн. охоплюють до 3% земної суші [1]. Горять переважно лісові масиви. За рік пожежі знищують 700 тис. га лісу, 70 млн м<sup>3</sup> деревини. Глобальне потепління призводитиме до збільшення ймовірності виникнення пожеж. У свою чергу, пожежі роблять свій внесок у глобальне потепління, а також формують суху та спекотну погоду. Справа в тому, що пожежі створюють досить стійку область високого тиску, яку можна порівняти за масштабами з тиском у природних атмосферних утвореннях. Крім того, пожежі призводять до викидів значних мас вуглекислоти та сажі, що прискорює процес глобального потепління.

Тому актуальною задачею є дослідження фізичних процесів та екологічних наслідків впливу пірогенного фактору на лісові екосистеми. Для цього потрібна розробка адекватних математичних моделей горіння великих лісових масивів.

Горінню лісів присвячено велику кількість робіт [2–18]). У цих роботах детально обговорюються причини виникнення пожеж, їхній розвиток, методи дослідження, способи гасіння та екологічні наслідки пожеж. Значне місце приділялося їхньому прогнозуванню.

Математичні моделі лісових пожеж розроблялися низкою авторів [5, 12, 17, 19, 20].

Усі типи моделей умовно можна поділити на такі групи.

1. Аналітичні та чисельно-аналітичні.
2. Експериментально-статистичні (лісопірологічні).

3. Змішані (експериментально-теоретичні).

В основі двох останніх типів лежать спостереження та вимірювання перебігу та наслідків пожеж.

В основі першого типу лежить математичне моделювання. У якості вихідних використовується громізка система рівнянь тепло- і масопереносу для реагуючих речовин, а також рівняння перенесення випромінювання. Такі моделі дозволяють детально описати низку фізичних процесів, що супроводжують виникнення та розвиток лісових пожеж. Разом з тим вони мають наступні недоліки.

1) Складність. В основі лежать нелінійні диференціальні рівняння у частинних похідних. У загальному випадку модель є тривимірною.

2) У моделі входить велика кількість параметрів, що важко визначаються.

3) Найчастіше вихідні рівняння можна розв'язати числовими методами.

4) Зазвичай моделі є локальними за простором та часом.

Таким чином, моделі відрізняються складністю, надмірною деталізацією. В інших випадках вони є не цілком адекватними. Необхідно розробити прості аналітичні моделі параметричного типу. У цій роботі в якості такого параметра розглядається площа пожежі.

Мета роботи – розробка математичних моделей, що описують поширення великомасштабних лісових пожеж, спрямованих на оцінку екологічних наслідків впливу пірогенного фактору.

## Параметри лісових масивів і пожеж

Лісові пожежі мають наступні особливості:

- 1) Пожежа – складний багатопараметричний процес.
- 2) Пожежі в загальному випадку поширюються у неоднорідному та анізотропному середовищі.
- 3) Поширення пожежі у часі не є рівномірним.
- 4) Інтенсивність пожежі залежить від її площі, об'єму лісових горючих матеріалів,

температури повітря, вологості ґрунту та повітря, кількості опадів, точки роси та інших параметрів.

Далі перерахуємо основні параметри пожеж.

Основними параметрами пожежі є його площа  $S$  і тривалість  $T$ . Маса спалюваного матеріалу  $m$  залежить від питомої маси деревини

$$\tilde{m} = \frac{m}{S}.$$



Питома маса деревини залежить від типу лісу і змінюється у широких межах: від 10 до 60 кг/м<sup>2</sup> (табл. 1). Цей параметр становить для кущів 1–3 кг/м<sup>2</sup>, для трави – 0.1–1 кг/м<sup>2</sup>, для лісостепу – 1–10 кг/м<sup>2</sup>, а для лісів – 10–60 кг/м<sup>2</sup>.

Теплова енергія, що виділяється при згорянні маси  $m$  матеріалів

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

де  $q$  – питома теплотворна здатність. Для лісового масиву в середньому  $q \approx 10^7$  Дж/кг.

Швидкість вигорання лісу визначається параметром

$$\mu = \frac{d\tilde{m}}{dt}.$$

Таблиця 1

Залежність питомої маси деревини від виду екогеосистеми

Table 1

Dependence of wood specific mass on the ecogeosystem type

Екогеосистема	Степ	Лісостеп	Середньозілотний ліс	Субтропічний ліс	Тропічний ліс
$m$ , кг/м <sup>3</sup>	0.1–1	1–10	10–20	20–30	30–60

Відомо, що  $\mu = (4 \pm 1) \cdot 10^{-3}$  кг/(м<sup>2</sup>·с) [21]. В середньому,  $\mu \approx 4.0 \cdot 10^{-3}$  кг/(м<sup>2</sup>·с). Знаючи  $\tilde{m}$  і  $\mu$ , можна обчислити характерний час вигорання лісу:

$$\tau = \frac{\tilde{m}}{\mu}.$$

За  $\tilde{m} = 10–60$  кг/м<sup>2</sup> маємо  $\tau \approx 0.7–4.2$  години. Повний час вигорання щонайменше  $2\tau$ , тобто щонайменше 1.4–8.4 години.

Потужність, що виділяється під час горіння

$$P = \frac{dE}{dt} = q\mu S.$$

Густина потоку тепла та потужності

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

$$\Pi_P = \frac{P}{S} = q\mu.$$

За  $q = 10^7$  Дж/кг,  $\tilde{m} = 20$  кг/м<sup>2</sup> та  $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$  кг/(м<sup>2</sup>·с) маємо  $\Pi = 2 \cdot 10^8$  Дж/м<sup>2</sup> і  $\Pi_P = 4 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>. За  $\Pi_P \geq 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> виникають вогняні смерчі [21,22].

Важливим параметром пожежі є швидкість переміщення фронту горіння  $w$ . З цією швидкістю пов'язана інтенсивність горіння

$$I = \Pi w = q\tilde{m}w = qi,$$

де  $i = \tilde{m}w$  – приплив горючих матеріалів.

Швидкість  $w$  та інтенсивність  $I$  змінюються в широких межах. За відсутності вітру для низових пожеж (горить трава та чагарник)  $w = 0.02–0.10$  м/с, для верхових (горять

крони дерев, що зникаються)  $w \approx 0.1–1$  м/с. За наявності сильного вітру ці значення збільшуються на порядок.

За  $q = 10^7$  Дж/кг,  $\tilde{m} \approx 20$  кг/м<sup>2</sup> та  $w = 1–10$  м/с маємо  $I \approx 0.2–2$  ГВт/м. У той самий час для низової пожежі за  $q \approx 5 \cdot 10^6$  Дж/кг,  $\tilde{m} \approx 0.1$  кг/м<sup>2</sup> та  $w = 0.02$  м/с маємо  $I = 10$  кВт/м. Зауважимо, що верхова пожежа виникає за  $I > I_{\min} \approx 4$  МВт/м. Для виникнення такої пожежі достатньо, щоб швидкість  $w > 0.1$  м/с, а  $\tilde{m} > 4$  кг/м<sup>2</sup>.

Семибальна класифікація інтенсивності горіння, запропонована авторами, наведена у табл. 2.

Температура горіння деревини змінюється в широких межах: від 700–900°C до 1200°C. Над палаючим лісом виникає струміль гарячого повітря, що піднімається вгору з надлишком температури  $\Delta T$  близько 20 К. Швидкість підйому струменя  $v$  досягає 75 м/с [21]. Потужність струменя

$$P_j = C_p \rho S_j v \Delta T,$$

де  $\rho$  – густина нагрітого повітря,  $S_j$  – поперечна площа струменя,  $C_p$  – питома теплоємність повітря за постійного тиску. За  $\rho \approx 1$  кг/м<sup>3</sup>,  $v = 75$  м/с,  $S_j = 1$  км<sup>2</sup>,  $C_p = 10^3$  Дж/(кг·К),  $\Delta T = 20$  К маємо  $P_j \approx 1.5 \cdot 10^{12}$  Вт. Потужність горіння за  $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>2</sup> і  $S = 100$  км<sup>2</sup> становить  $4 \cdot 10^{12}$  Вт.

Нагрітий струміль здатний піднятися на велику висоту, закидаючи продукти горіння навіть у стратосферу. Максимальна

Таблиця 2

Класифікація інтенсивності пожежі

Table 2

Fire intensity classification

Бал	Приплив горючих матеріалів, кг/(м·с)	Якісна характеристика інтенсивності	Інтенсивність, МВт/м	Рівень небезпеки щодо наслідків впливу пірогенного фактору
1	$<10^{-3}$	Наднизька	$<10^{-2}$	Низова пожежа. Горіння дуже повільне
2	$10^{-3}-10^{-2}$	дуже низька	$10^{-2}-10^{-1}$	Низова пожежа. Горіння повільне
3	$10^{-2}-0.1$	Низька	$10^{-1}-1$	Низова пожежа. Горіння помірне. Можлива верхова пожежа
4	0.1–1	Помірна	1–10	Виникають верхові пожежі. Можливий вогняний смерч. Значна задимленість. Небезпека для навколишніх населених пунктів
5	1–10	Висока	$10-10^2$	Стрімкий розвиток пожеж. Вогняний смерч. Можливе знищення навколишніх населених пунктів
6	$10-10^2$	дуже висока	$10^2-10^3$	Вогняний смерч. Можливе виривання дерев із корінням. Знищення навколишніх населених пунктів. Локальна екологічна катастрофа
7	$>10^2$	екстремальна	$>10^3$	Вогняний смерч. Виривання дерев із корінням. Екологічна катастрофа у регіоні. Можуть постраждати десятки населених пунктів. Можливі жертви серед населення

висота підйому може бути оцінена за емпіричною формулою [22]:

$$z_{\max} [\text{км}] \approx \frac{1}{4} P^{1/4} [\text{МВт}].$$

За  $P = 4 \cdot 10^6$  МВт маємо  $z_{\max} \approx 11$  км. У той же час висота полум'я при великих лісових пожежах не перевищує 30–50 м.

До розвитку струменя гаряче повітря піднімається вгору зі швидкістю конвекції [22]

$$v_c = \left( \frac{2\mu g d_s}{\rho} \right)^{1/3} \approx \left( \frac{2\mu g S^{1/2}}{\rho} \right)^{1/3},$$

де  $g \approx 9.8 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння,  $d_s = S^{1/2}$  – розмір джерела нагріву (пожежі).

Результати розрахунку швидкості  $v_c$  наведено в табл. 3. З табл. 3 видно, що за  $S > 1 \text{ км}^2$   $v_c > 5 \text{ м/с}$ , тобто розвивається описаний вище струмінь.

Таблиця 3

Залежність швидкості конвекції від площі пожежі

Table 3

Dependence of convection rate on a fire area

Площа пожежі, $\text{м}^2$	$10^2$	$10^4$	$10^6$	$10^8$	$10^{10}$
Швидкість конвекції, м/с	1	2	4.6	10	20

Аналітичні моделі

Розглянемо кілька простих моделей, які дозволяють описати процес поширення лісової пожежі.

Середовище вважатимемо однорідним та ізотропним. Погодні умови враховуються опосередковано за допомогою параметрів, що входять у модель (питомої маси горючих

матеріалів, характерного часу вигорання, швидкості поширення фронту горіння).

Слід розрізняти повну площу  $S_t$ , пройдену вогнем, та площу  $S$ , одночасно охоплену вогнем.

Збільшення площі пожежі в часі у загальному вигляді описується наступним співвідношенням:

$$\frac{dS}{dt} = \Sigma_1(t, S) - \Sigma_2(t, S), \quad S_{|t=0} = S_0,$$

де  $\Sigma_1$  – швидкість збільшення площі пожежі за рахунок руху фронту горіння,  $\Sigma_2$  – швидкість зменшення цієї площі за рахунок вигорання горючих матеріалів. Для знаходження повної площі досить розв'язати рівняння

$$\frac{dS_t}{dt} = \Sigma_1, \quad S_{|t=0} = S_{10}.$$

### Постійна швидкість зростання площі пожежі

Припустимо, що площа пожежі збільшується у часі  $t$  із постійною швидкістю  $\sigma$ . Одночасно з цим вона зменшується за рахунок повного вигорання з характерним часом  $\tau$ . Така модель реалізується за умови одностороннього поширення пожежі. Модель описується рівнянням:

$$\frac{dS}{dt} = \sigma - \frac{S}{\tau}, \quad S_{|t=0} = S_0, \quad (1)$$

де  $S_0$  – початкова площа пожежі,  $\sigma > S/\tau$ .

За постійного  $\sigma$ , а значить і  $\Sigma_1$ , отримаємо, що

$$S_t = \sigma T.$$

Далі отримаємо розв'язок рівняння (1).

За певних значень  $\sigma$  і  $\tau$  настає стаціонарне значення площі

$$S_\infty = \sigma \tau. \quad (2)$$

Тоді з (1) і (2) випливає, що

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{S - S_\infty}{\tau}, \quad S_{|t=0} = S_0. \quad (3)$$

Розв'язок (3) має вигляд:

$$S(t) = S_\infty + (S_0 - S_\infty)e^{-t/\tau}. \quad (4)$$

Оскільки зазвичай  $S_0 \ll S_\infty$ , зі співвідношення (4) отримуємо

$$S(t) \approx S_\infty(1 - e^{-t/\tau}).$$

### Двовимірна модель

Припустимо, що пожежа поширюється у всі сторони, а довжина фронту горіння  $l_f$  залежить тільки від площі згідно за законом

$$l_f = k\sqrt{S}. \quad (8)$$

Значення коефіцієнта  $k$  залежить від конфігурації площі горіння. Можна показати, що в залежності від геометрії лісу  $k$  змінюється приблизно від 3.5 до 4.5. У середньому  $k = 4$ .

Його розв'язок за  $\Sigma_1 \neq \Sigma_1(S)$  має вигляд:

$$S_t(t) = \int_0^t \Sigma_1 dt.$$

Швидкість  $\Sigma_2$  представляємо у вигляді:

$$\Sigma_2 = \frac{S}{\tau}.$$

Зауважимо, що якщо у початковий момент часу  $\Sigma_{10} < \Sigma_{20}$ , то пожежа припиняється.

За  $t/\tau \gg 1$  маємо  $S \approx S_\infty$ .

За довжини фронту горіння  $l_f$  маємо  $\sigma = l_f w$ . Тоді

$$S_\infty = l_f w \tau. \quad (5)$$

У цій моделі довжина  $l_f$  залишається незмінною. Наприклад, за  $l_f = 100$  м,  $w = 0.1$  м/с і  $\tau = 4 \cdot 10^3$  с маємо  $S_\infty = 4$  га. Якщо ж  $l_f = 10$  км,  $w = 10$  м/с і  $\tau = 10^4$  с, то з (5) отримуємо, що  $S_\infty = 10^9$  м<sup>2</sup> = 1000 км<sup>2</sup>. З цих оцінок видно, що значення  $S_\infty$  змінюється у широких межах, які залежать переважно від значень  $l_f$  і  $w$ , тобто  $\sigma$ .

Енергія горіння за  $t/\tau \gg 1$

$$E_\infty = q\tilde{m}S_\infty = q\tilde{m}\sigma\tau. \quad (6)$$

Тоді середня потужність горіння за час  $\tau$

$$P_\infty = \frac{E_\infty}{\tau} = q\tilde{m}\sigma. \quad (7)$$

Наприклад, за  $q = 10^7$  Дж/кг,  $\tilde{m} = 20$  кг/м<sup>2</sup>,  $\sigma = 10^5$  м<sup>2</sup>/с та  $\tau = 10^4$  с маємо  $E_\infty = 200$  ПДж, а  $P_\infty = 20$  ТВт. Така потужність дещо перевищує потужність, що споживає все людство (близько 15 ТВт). Енергія  $E_\infty$  у 4000 разів перевищує енергію, що виділилася під час вибуху боеприпасу над м. Хіросіма у 1945 р. (одна «хіросіма» дорівнює  $5 \cdot 10^{13}$  Дж  $\approx$  12 кт ТНТ [21]).

Рівняння для площі горіння з урахуванням (8) має вигляд:

$$\frac{dS}{dt} = k\sqrt{S}w - \frac{S}{\tau}, \quad S_{|t=0} = S_0. \quad (9)$$

Враховано також, що, як і раніше,  $\sigma = l_f w$ .

Крім того, вважається, що  $kw > \sqrt{S}/\tau$ .

Спочатку наведемо співвідношення для  $S_t$ , тобто коли в (9) не враховується член  $S/\tau$ . Воно має вигляд:

$$S_t(t) = \left( \sqrt{S_0} + \frac{k}{2} wt \right)^2.$$

За  $t = T$  у цьому рівнянні перший член набагато менший за другий, тобто

$$S_t(T) = \left( \frac{k}{2} wT \right)^2.$$

Важливо, що  $S_t(T) \sim w^2, T^2$ .

Розв'язок рівняння (9) має вигляд:

$$S(t) = S_\infty \left[ 1 - \left( 1 - \sqrt{S_0 / S_\infty} \right) e^{-t/2\tau} \right]^2. \quad (10)$$

Тут

$$S_\infty = (kw\tau)^2. \quad (11)$$

Значення  $S_\infty$  – розв'язок (9) за  $t/2\tau \gg 1$ .

### Секторний рух фронту горіння

Нехай під дією вітру має місце горіння у секторі з постійним розкритом  $\alpha$ . За радіусу сектора  $r$  його площа:

$$S = \frac{1}{2} l_f r = \frac{1}{2} r^2 \alpha = \frac{l_f^2}{2\alpha}. \quad (12)$$

де  $l_f = r\alpha$ .

Припустимо, що з часом радіус зростає за лінійним законом, тобто  $r = wt$ . Тоді з урахуванням (12) площа, пройдена вогнем,

$$S_1 = S_0 + \frac{\alpha}{2} w^2 t^2.$$

Вигоріла площа дається аналогічним співвідношенням:

$$S_2 = S_0 + \frac{\alpha}{2} w^2 (t - \tau)^2,$$

де  $\tau$  – час вигорання. Тоді площа, зайнята вогнем,

$$S_f(t) = S_1 - S_2 = \alpha w^2 \tau \left( t - \frac{\tau}{2} \right). \quad (13)$$

За  $t \gg \tau/2$  маємо

$$S_f(t) \approx \alpha w^2 \tau t. \quad (14)$$

З (13) і (14) випливає, що площа збільшується

Оскільки часто  $S_0/S_\infty \ll 1$ , з (10) випливає, що

$$S(t) \approx S_\infty \left( 1 - e^{-t/2\tau} \right)^2.$$

Звідси за  $t/2\tau \ll 1$ , маємо

$$S(t) \approx S_\infty (t/2\tau)^2$$

Враховуючи співвідношення (11), отримуємо, що

$$E_\infty = q\tilde{m}(kw\tau)^2,$$

$$P_\infty = q\tilde{m}(kw)^2 \tau.$$

Оцінки за цими формулами для  $q = 10^7$  Дж/кг,  $\tilde{m} = 20$  кг/м<sup>3</sup>,  $k \approx 4$ ,  $w = 10$  м/с,  $\tau = 10^4$  с дають  $E_\infty \approx 32$  ЕДж =  $3.2 \cdot 10^{19}$  Дж, а  $P_\infty = 3.2$  ПВт =  $3.2 \cdot 10^{15}$  Вт.

ся з часом за лінійним законом доти, доки весь ліс не вигорить. Нехай це відбувається за  $t = T$ , де  $T = L/w$ ,  $L$  – розмір лісу у напрямі горіння. Тоді

$$S_{f \max} = \alpha w \tau L. \quad (15)$$

Оскільки

$$L = r_{\max} = \sqrt{\frac{2S_{\max}}{\alpha}},$$

з (15) випливає, що

$$S_{f \max} = 2\alpha (w\tau)^2. \quad (16)$$

Наприклад, за  $\alpha = 1$ ,  $w = 10$  м/с,  $\tau = 10^4$  с та  $L = 100$  км маємо  $S_{f \max} = 10^{10}$  м<sup>2</sup> = 10000 км<sup>2</sup>.

З урахуванням (15) отримуємо, що

$$E_{\max} = q\tilde{m}\alpha w \tau L, \quad (17)$$

$$P_{\max} = q\tilde{m}\alpha w L. \quad (18)$$

Використовуючи (16), з (17) та (18) маємо

$$E_{\max} = 2\alpha q\tilde{m} (w\tau)^2,$$

$$P_{\max} = 2\alpha q\tilde{m} w^2 \tau.$$

За тих же параметрів отримуємо, що  $E_{\max} = 2$  ЕДж,  $P_{\max} = 0.2$  ПВт.

### Довжина фронту горіння лінійно зростає у часі

Припустимо, що характерний розмір пожежі, а разом із ним  $l_f \sim t$ . Тоді  $\sigma = l_f w = \beta t$ , де  $\beta = \text{const}$ . Тоді вихідне рівняння має вигляд:

$$\frac{dS}{dt} = \beta t - \frac{S}{\tau}, \quad S|_{t=0} = S_0. \quad (19)$$

Для  $S_t$  справедливий співвідношення:

$$S_t(t) \approx S_0 + \frac{\beta}{2} t^2,$$

$$S_t(T) \approx S_0 + \frac{\beta}{2} T^2.$$

Очевидно, що за  $S_0 \ll \beta T^2/2$  площа

$$S_t(T) \approx \frac{\beta}{2} T^2.$$

Розв'язок (19) дається таким співвідношенням:

$$S(t) = \beta\tau(t - \tau) + (S_0 + \beta\tau^2)e^{-t/\tau}. \quad (20)$$

Якщо ж  $t \gg \tau$ , то з (20) отримаємо, що

$$S(t) \approx S_0 \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) + \frac{1}{2}\beta t^2 \approx S_0 + \frac{1}{2}\beta t^2.$$

За  $t \gg \tau$  співвідношення (20) спрощується:

$$S(t) \approx \beta t \tau. \quad (21)$$

Значення  $t_{\max} = L/w$ . Тоді з (21) випливає, що

$$S_{\max} = \frac{\beta\tau L}{w}.$$

Оцінимо далі  $\beta$ . Оскільки

$$l_f = k_1 w t,$$

де  $k_1$  – коефіцієнт порядку одиниці, то

$$\sigma = l_f w = k_1 w^2 t = \beta t. \quad (22)$$

З (22) випливає, що

$$\beta = k_1 w^2.$$

Тоді

$$S_{\max} = k_1 w \tau L. \quad (23)$$

При цьому

$$E_{\max} = q\tilde{m}S_{\max} = q\tilde{m}k_1 w \tau L, \quad (24)$$

$$P_{\max} = q\tilde{m}k_1 w L. \quad (25)$$

Якщо врахувати, що  $L = k_2 \sqrt{S_{\max}}$ , де  $k_2 \sim 1$ , то

$$S_{\max} = (k_1 k_2 w \tau)^2, \quad (26)$$

$$E_{\max} = q\tilde{m}(k_1 k_2 w \tau)^2, \quad (27)$$

$$P_{\max} = q\tilde{m}(k_1 k_2 w)^2 \tau. \quad (28)$$

За  $k_1 k_2 \approx 1$ ,  $w \approx 10$  м/с,  $\tau = 10^4$  с маємо  $S_{\max} = 10^{10}$  м<sup>2</sup>,  $E_{\max} = 2$  ЕДж,  $P_{\max} = 0.2$  ПВт.

Зауважимо, що співвідношення (15), (17) і (18) близькі відповідно до співвідношень (23)–(25), а також співвідношень (26)–(28).

### Швидкість зміни площі пожежі квадратично зростає у часі

Припустимо, що швидкість зміни площі пожежі з якихось причин збільшується пропорційно до квадрату часу. Такі процеси, що самоприскорюються, спостерігаються на практиці. Вихідне рівняння має вигляд:

$$\frac{dS}{dt} = \gamma t^2 - \frac{S}{\tau}, \quad S_{t=0} = S_0, \quad (29)$$

де  $\gamma$  – розмірний сталий коефіцієнт. Для  $S_t$  маємо

$$S_t(t) \approx S_0 + \frac{\gamma}{3} t^3, \quad S_t(T) = S_0 + \frac{\gamma}{3} T^3.$$

За  $S_0 \ll \gamma T^3/3$  отримаємо, що:

$$S_t(T) \approx \frac{\gamma}{3} T^3.$$

Розв'язок (29) дається наступним співвідношенням:

$$S(t) = \gamma\tau^3 \left[ \left(\frac{t}{\tau}\right)^2 - 2\left(\frac{t}{\tau} - 1\right) - 2\left(1 - \frac{S_0}{2\gamma\tau^3}\right) e^{-t/\tau} \right] \quad (30)$$

За  $t \gg \tau$  рівняння (30) суттєво спрощується:

$$S(t) \approx \gamma\tau t^2. \quad (31)$$

Із (31) випливає, що за  $t = t_{\max}$  площа пожежі

$$S_{\max} \approx \gamma\tau t_{\max}^2 \approx \gamma\tau \frac{L^2}{w^2}. \quad (32)$$

Оскільки  $k_3 L^2 = S_{\max}$ , де  $k_3 \sim 1$ ,

$$\gamma \approx \frac{k_3 w^2}{\tau}. \quad (33)$$

Наприклад, за  $k_3 = 1$ ,  $w = 10$  м/с і  $\tau = 10^4$  с маємо  $\gamma \approx 10^{-2}$  м<sup>2</sup>/с<sup>3</sup>. З урахуванням (33) співвідношення (31) набуде наступного вигляду:

$$S(t) = k_3 w^2 t^2. \quad (34)$$

Зазвичай  $S_0 \ll 2\gamma\tau^3$ . Тоді з (30) отримаємо:

$$S(t) \approx \gamma\tau^3 \left[ \left(\frac{t}{\tau}\right)^2 - 2\frac{t}{\tau} + 2(1 - e^{-t/\tau}) \right]. \quad (35)$$

За  $t/\tau \ll 1$  з (35) маємо

$$S(t) \approx \frac{\gamma\tau^3}{3},$$

тобто на початку (але за  $\gamma\tau^2 \gg S(\tau)$ ) площа  $S(t) \sim t^3$ , а за  $t/\tau \gg 1$ , як видно з (31) і (34), площа  $S(t) \sim t^2$ . Це означає, що з часом

швидкість зростання площі пожежі сповільнюється. Якщо ж  $\gamma t^2 \ll S_0/\tau$ , то з (29) випливає, що

$$S(t) \approx S_0 \left(1 - \frac{t}{\tau}\right),$$

### Узагальнена модель

У загальному випадку рівняння, що описує збільшення площі пожежі, має вигляд:

$$\frac{dS}{dt} = \varphi(t) - \frac{S}{\tau}, \quad S_{t=0} = S_0. \quad (36)$$

Вираз для  $S_t(T)$  має вигляд:

$$S_t(T) = S_0 + \int_0^T \varphi(t) dt.$$

За досить великих значень  $T$  справедливе таке співвідношення:

$$S_t(T) \approx \int_0^T \varphi(t) dt.$$

Розв'язок (36) дається наступним співвідношенням:

$$S(t) = (S_0 + S_1(t))e^{-t/\tau}, \quad (37)$$

$$S_1(t) = \int_0^t \varphi(t')e^{t'/\tau} dt'.$$

Вираз (37) зручно переписати так:

$$S(t) = S_0 e^{-t/\tau} + \int_0^t \varphi(t')e^{(t'-t)/\tau} dt'.$$

За  $t/\tau \ll 1$ ,  $(t' - t)/\tau \ll 1$  маємо

$$S(t) \approx S_0 + \int_0^t \varphi(t') dt'.$$

тобто  $S(t) < S_0$ . Це означає, що швидкість зміни площі вигорання переважає над швидкістю збільшення площі горіння. Цей процес закінчується в момент часу  $t_0 \approx (S_0/\gamma\tau)^{1/2}$ .

Якщо ж  $t/\tau \gg 1$ , то

$$S(t) \approx \int_0^t \varphi(t')e^{(t'-t)/\tau} dt'. \quad (38)$$

Покладемо, що функція  $\varphi(t')$  слабко змінюється на інтервалі часу від 0 до  $t_m$ . Тоді з (38) випливає, що

$$S(t) \approx \varphi(t)(1 - e^{-t/\tau})\tau.$$

За  $t_m/\tau \gg 1$  маємо

$$S(t) \approx S_m \approx \varphi(t_m)\tau.$$

Якщо ж характерний час зміни функції  $\varphi(t)$  дорівнює  $\tau_\varphi$  і  $\tau_\varphi \ll \tau$ , то з (38) отримаємо, що

$$S(t) \approx \int_0^{\tau_\varphi} \varphi(t') dt' \approx \varphi(\tau_\varphi)\tau_\varphi.$$

Наведемо ще два аналітичних розв'язки (36). За  $\varphi(t) \ll S_0/\tau$  маємо

$$S(t) \approx S_0 \left(1 - \frac{t}{\tau}\right),$$

тобто  $S(t) < S_0$ . Якщо ж  $\varphi(t) \gg S_0/\tau$ , то

$$S(t) \approx S_0 + \int_0^t \varphi(t) dt.$$

У цьому випадку  $S(t) > S_0$ .

### Обговорення

У одновимірній моделі горіння лісу максимальна площа, охоплена вогнем, пропорційна довжині фронту горіння, швидкості його руху та характерному часу вигорання. Цим же величинам пропорційна енергія  $E_{\max}$ . Потужність  $P_{\max}$  пропорційна  $l_f$  і  $w$ .

Для інших моделей (див. співвідношення (8), (12) і (19)) максимальна площа, охоплена вогнем, пропорційна квадрату швидкості  $w$  та часу  $\tau$ . Це ж стосується й енергії  $E_{\max}$ . У той же час  $P_{\max}$  пропорційна  $w^2\tau$ .

У передостанній моделі (29) площа, охоплена вогнем, пропорційна  $(wt)^2$ .

Максимальний час горіння  $t_m$  залежить від розміру лісу  $L$  та швидкості  $w$ .

Узагальнена модель, яка дається співвідношенням (36), придатна для будь-якої залежності  $\varphi(t)$ , що визначає швидкість збільшення площі, охопленої вогнем. Не конкретизуючи виду функції  $\varphi(t)$ , отримано низку асимптотичних розв'язків.

Отримані співвідношення для  $S_{\max}$ ,  $E_{\max}$  та  $P_{\max}$  дозволили оцінити ці величини. Для великомасштабних пожеж площа  $S_{\max}$  може досягати  $\sim 10-100$  тис. км<sup>2</sup>, енергія  $E_{\max} \sim 1-10$  ЕДж, потужність  $P_{\max} \sim 0.1-1$  ПВт.



## Висновки

Визначено і оцінено основні параметри (площа та тривалість пожежі, маса та питома маса горючих матеріалів, швидкість та час вигорання, енергія та потужність горіння, густини потоків тепла та потужності, тощо), що описують великомасштабні лісові пожежі та екологічні наслідки від впливу пірогенного фактору на лісові екосистеми.

Запропоновано семибальну шкалу, що характеризує інтенсивність лісових пожеж та рівень небезпеки щодо наслідків впливу пірогенного фактору на лісові екосистеми.

Розроблено прості аналітичні моделі, які дозволяють оцінити площі, пройдені й охоплені вогнем, а також енергетику горіння лісових масивів.

Показано, що максимальна площа, охоплена вогнем, найчастіше (крім моделі з підрозділу 3.1) пропорційна квадрату швидкості руху фронту горіння, квадрату часу горіння (характерному часу вигорання  $\tau$ ). Цим же величинам пропорційна й енергія, яка виділяється при горінні.

Показано, що максимальна площа, охоплена пожежею, може досягати 10–100 тис. км<sup>2</sup>, енергія горіння – 1–10 ЕДж, а потужність – 0.1–1 ПВт.

Запропоновано семибальну (від низької до екстремальної) класифікацію інтенсивності пожежі.

Створено математичні моделі для оцінки екологічних наслідків щодо впливу пірогенного фактору на лісові екосистеми.

## 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. Randerson J.T., Chen Y., van der Werf G.R., Rogers B.M., Morton D.C. Global burned area and biomass burning emissions from small fires. *J. Geophys. Res.* 2012. Vol. 117, No G4. id:G04012. <https://doi.org/10.1029/2012JG002128>
2. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы и исследования. Херсон: Гринь Д.С., 2011. 458 с.
3. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. Пер. с англ. К.Г. Бомштейна; Под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. М.: Стройиздат, 1990. 424 с.
4. Буц Ю.В. Систематизація процесів пірогенної релаксації екогеосистем в умовах техногенного навантаження. *Екологічна безпека*. 2018. №1(25). С. 7–12. <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.7-12>
5. Vacchiano G., Foderi C., Berretti R., Marchi E., Motta R. Modeling anthropogenic and natural fireignitions in an inner-alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2018. Vol. 18, No 3. P. 935–948. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-935-2018>
6. Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Некос А.Н. Природна пожежа в Рівненському заповіднику та її аналіз. *VinSmartEco: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Вінниця, 16-18 травня 2019 р.)*. Вінниця, 2019. С. 25–26.
7. Buts Y., Asotskyi V., Kraynyuk O., Ponomarenko R. Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*. 2019. No 28(3). P. 409–416. <https://doi.org/10.15421/111938>
8. Буц Ю.В. Науково-методологічні основи релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження. Автореф. ... докт. техн. наук: 21.06.01. Суми, 2020. 46 с. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266>
9. Adámek M., Jankovská Z., Hadincová V., Kula E., Wild J. Drivers of forest fire occurrence in the cultural landscape of Central Europe. *Landscape Ecology*. 2018. Vol. 33, Iss. 11. P. 2031–2045. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0712-2>
10. Hebert-Dufresne L., Pellegrini A.F.A., Bhat U., Redner S. Edge fires drive the shape and stability of tropical forests. *Ecology letters*. 2018. Iss. 6. P. 794–803. <https://doi.org/10.1111/ele.12942>
11. Rodríguez Trejo D.A., Martínez Muñoz P., Martínez Lara P.J. Fire effects on the trees of a tropical pine forest and a tropical dry forest at Villaflores, Chiapas, Mexico. *Ciência Florestal*. 2019. Vol. 29, Iss. 3. P. 1033–1047. <https://doi.org/10.5902/1980509833952>

12. Zhang G., Wang M., Liu K. Forest Fire Susceptibility Modeling Using a Convolutional Neural Network for Yunnan Province of China. *International Journal of Disaster Risk Science*. 2019. Vol. 10, Iss. 3. P. 386–403. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00233-1>
13. McLauchlan K.K., Higuera P.E., Miesel J., Rogers B.M., Schweitzer J., Shuman J.K., Tepley A.J., Varner J.M., Veblen T.T., Adalsteinsson S.A., Balch J.K., Baker P., Battlori E., Bigio E., Brando P., Cattau M., Chipman M.L., Coen J., Crandall R., Daniels L., Enright N., Gross W.S., Harvey B.J., Hatten J.A., Hermann S., Hewitt R.E., Kobziar L.N., Landesmann J.B., Loranty M. M., Maezumi S.Y., Mearns L., Moritz M., Myers J.A., Pausas J.G., Pellegrini A.F.A., Platt W.J., Roozeboom J., Safford H., Santos F., Scheller R.M., Sherriff R.L., Smith K.G., Smith M.D., Watts A.C. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*. 2020. Vol. 108, Iss. 5. P. 2047–2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
14. Kelly A.J., Hodges K.E. Post-fire salvage logging reduces snowshoe hare and red squirrel densities in early seral stages. *Forest Ecology and Management*. 2020. Vol. 473. id: 118272. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118272>
15. Coogan S.C., Daniels L.D., Boychuk D., Burton P.J., Flannigan M.D., Gauthier S., Kafka V., Park J.S., Wotton B.M. Fifty years of wildland fire science in Canada. *Canadian Journal of Forest Research*. 2021. Vol. 51, No. 2. P. 283–302. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0314>
16. Turner M.G., Braziunas K.H., Hansen W.D., Hoecker T.J., Rammer W., Ratajczak Z., Westerling A.L., Seidl R. The magnitude, direction, and tempo of forest change in Greater Yellowstone in a warmer world with more fire. *Ecological Monographs*. 2022. Vol. 92, Iss. 1. id: e01485. <https://doi.org/10.1002/ecm.1485>
17. Holuša J., Koreň M., Berčák R., Resnerová K., Trombik J., Vaněk J., Szczygiel R., Chromek I. A simple model indicates that there are sufficient water supply points for fighting forest fires in the Czech Republic. *International journal of wildland fire*. 2021. Vol. 30, Iss. 6. P. 428–439. <https://doi.org/10.1071/WF20103>
18. Wilson N., Bradstock R., Bedward M. Detecting the effects of logging and wildfire on forest fuel structure using terrestrial laser scanning (TLS). *Forest Ecology and Management*. 2021. Vol. 488. id: 119037. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119037>
19. Черногор Л.Ф., Некос А.Н., Тітенко Г.В., Черногор Л.Л. Екологічні наслідки горіння лісових масивів у північній півкулі в 2020 р.: результати моделювання та кількісних розрахунків. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2021. № 25. С. 42–54. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-04>
20. Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л. Моделювання параметрів великомасштабних лісових пожеж. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 26. С.43-54. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-04>
21. Marshall V. C. Major Chemical Hazards. Chichester, U.K.: Ellis Horwood, 1987. 1033 p.

Стаття надійшла до редакції 01.11.2022

Стаття рекомендована до друку 25.11.2022

**L. F. CHERNOGOR**<sup>1</sup>, DSc (Physics and Mathematics), Prof.,  
Head of the Department of Space Radio Physics

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

**A. N. NEKOS**<sup>1</sup>, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

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

**G. V. TITENKO**<sup>1</sup>, PhD (Geography),

Head of Karazin Institute of Environmental Sciences

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

**L. L. CHORNOHOR**<sup>1</sup>,

Student of Karazin Institute of Environmental Sciences

e-mail: [L.L.Chornohor@gmail.com](mailto:L.L.Chornohor@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-88501>

<sup>1</sup>V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 6, 61022, Kharkiv, Ukraine

### MATHEMATICAL MODELS FOR ESTIMATE OF THE ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE IMPACT OF THE PYROGENIC FACTOR ON FOREST ECOSYSTEMS

There is a need for the development of simple analytical mathematical models of the burning of large forest areas, necessary for the assessment of the ecological consequences of the impact of the pyrogenic factor.

**Purpose.** Develop mathematical models describing the spread of large-scale forest fires aimed at estimate the ecological consequences of the impact of the pyrogenic factor.

**Methods.** Analytical review of research on the problem, theoretical and computational, mathematical modeling.

**Results.** The results of the main parameters analysis of large forest areas combustion are presented. These include the area covered by the fire, the duration of the fire, the burnout time, the specific mass of combustible materials, the energy and power of combustion, the specific calorific value, the intensity of combustion, the movement speed of the combustion front, the influx of combustible materials, etc. Simple analytical mathematical models of large forest areas combustion have been established. These include the following models: a model with a constant growth rate of the fire area, a two-dimensional model, a model with sectorial movement of the combustion front, a model with a linear growth of the length of the combustion front, a model with a quadratic growth of the change rate of the fire area, and a generalized model. A new fire intensity classification has been proposed, containing 1–7 points from extremely low to extreme intensity. The maximum area covered by the fire (10–100 thousand km<sup>2</sup>), combustion energy (1–10 EJ) and combustion power (0.1–1 PW) have been estimated.

**Conclusions.** Simple analytical mathematical models of the combustion process of large forest surface areas, which are necessary for quantitative assessment of the ecological consequences of fires, have been developed.

**KEYWORDS:** mathematical model, forest fire, combustion parameters, fire intensity classification

### References

1. Randerson J.T., Chen Y., van der Werf G.R., Rogers B.M., & Morton D.C. (2012). Global burned area and biomass burning emissions from small fires. *J. Geophys. Res.*, 117(G4). id:G04012. <https://doi.org/10.1029/2012JG002128>
2. Khodakov V.E., & Zharikova M.V. (2011). *Forest fires: research methods*. Kherson: Grin D. S. (in Russian).
3. Drysdale D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics*, (3rd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119975465>
4. Buts Y.V. (2018). Systematization of processes of pyrogenic relaxation ecogeosystem in the conditions of technogenic load. *Ecological safety*, 1(25), 7–12. <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.7-12>
5. Vacchiano G., Foderi C., Berretti R., Marchi E., & Motta R. (2018). Modeling anthropogenic and natural fire-ignitions in an inner-alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(3), 935–948. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-935-2018>
6. Krainiuk O.V., Buts Y.V., & Nekos A.N. (2019). Natural fire in the Rivne wildlife sanctuary and its analysis. *Proceedings Int. Sci. & Pract. Conf. VinSmartEco* (pp. 25–26). Vinnytsia,
7. Buts Y., Asotskyi V., Kraynyuk O., & Ponomarenko R. (2019). Dynamics of migration capacity of some trace metals in soils in the Kharkiv region under the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, (28(3), 409–416. <https://doi.org/10.15421/111938>

8. Buts, Yu. V. (2021). Scientific and methodological bases of relaxation of ecogeosystems under the technogenic loading of pyrogenic origin: Doctor's thesis. Sumy: Sumy State University. Retrieved from <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76266> (In Ukrainian)
9. Adámek M., Jankovská Z., Hadincová V., Kula E., & Wild J. (2018). Drivers of forest fire occurrence in the cultural landscape of Central Europe. *Landscape Ecology*, 33(11), 2031–2045. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0712-2>
10. Hebert-Dufresne L., Pellegrini A.F.A., Bhat U., & Redner S. (2018). Edge fires drive the shape and stability of tropical forests. *Ecology letters*, (6), 794–803. <https://doi.org/10.1111/ele.12942>
11. Rodríguez Trejo D.A., Martínez Muñoz P., & Martínez Lara P.J. (2019). Fire effects on the trees of a tropical pine forest and a tropical dry forest at Villaflores, Chiapas, Mexico. *Ciência Florestal*, 29(3), 1033–1047. <https://doi.org/10.5902/1980509833952>
12. Zhang G., Wang M., & Liu K. (2019). Forest Fire Susceptibility Modeling Using a Convolutional Neural Network for Yunnan Province of China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10(3), 386–403. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00233-1>
13. McLauchlan K.K., Higuera P.E., Miesel J., Rogers B.M., Schweitzer J., Shuman J.K., Topley A.J., Varner J.M., Veblen T.T., Adalsteinsson S.A., Balch J.K., Baker P., Batllori E., Bigio E., Brando P., Cattau M., Chipman M.L., Coen J., Crandall R., Daniels L., Enright N., Gross W.S., Harvey B.J., Hatten J.A., Hermann S., Hewitt R.E., Kobziar L.N., Landesmann J.B., Loranty M. M., Maezumi S.Y., Mearns L., Moritz M., Myers J.A., Pausas J.G., Pellegrini A.F.A., Platt W.J., Roozeboom J., Safford H., Santos F., Scheller R.M., Sherriff R.L., Smith K.G., Smith M.D., & Watts A.C. (2020). Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108(5), 2047–2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
14. Kelly A.J., Hodges K.E. (2020). Post-fire salvage logging reduces snowshoe hare and red squirrel densities in early seral stages. *Forest Ecology and Management*, 473, id: 118272. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118272>
15. Coogan S.C., Daniels L.D., Boychuk D., Burton P.J., Flannigan M.D., Gauthier S., Kafka V., Park J.S., Wotton B.M. (2021). Fifty years of wildland fire science in Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(2), 283–302. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0314>
16. Turner M.G., Braziunas K.H., Hansen W.D., Hoecker T.J., Rammer W., Ratajczak Z., Westerling A.L., & Seidl R. (2022). The magnitude, direction, and tempo of forest change in Greater Yellowstone in a warmer world with more fire. *Ecological Monographs*, 92(1), id: e01485. <https://doi.org/10.1002/ecm.1485>
17. Holuša J., Koreň M., Berčák R., Resnerová K., Trombik J., Vaněk J., Szczygiel R., & Chromek I. (2021). A simple model indicates that there are sufficient water supply points for fighting forest fires in the Czech Republic. *International journal of wildland fire*, 30(6), 428–439. <https://doi.org/10.1071/WF20103>
18. Wilson N., Bradstock R., & Bedward M. (2021). Detecting the effects of logging and wildfire on forest fuel structure using terrestrial laser scanning (TLS). *Forest Ecology and Management*, 488, id: 119037. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119037>
19. Chernogor, L. F., Nekos, A. N., Titenko, G. V., & Chornohor, L. L. (2021). Ecological consequences from forest burning in the Northern hemi-sphere in 2020: Results of modeling and quantitative calculations. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 42-54. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-04> (in Ukrainian)
20. Chernogor, L. F., Nekos, A. N., Titenko, G. V., & Chornohor, L. L. (2022). Simulation of large-scale forest fire parameters. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (26), 43-54. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-04> (in Ukrainian)
21. Marshall V. C. (1987). *Major Chemical Hazards*. Chichester, U.K.: Ellis Horwood.

The article was received by the editors 01.11.2022

The article is recommended for printing 25.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-05>

УДК (UDC): 502.2:614.84:502.17(043.3)

**Ю. В. БУЦ**, д-р техн. наук, проф.,  
завідувач кафедри технологій та безпеки життєдіяльності  
e-mail: [butsyura@ukr.net](mailto:butsyura@ukr.net) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0450-2617>  
*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця*  
проспект Науки, 9А, Харків, 61000, Україна

**О. В. КРАЙНЮК**, канд. техн. наук, доц.,  
доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності  
e-mail: [alenuvarova@ukr.net](mailto:alenuvarova@ukr.net) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9524-040X>  
*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*  
вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61000, Україна

**П. І. ЛОЦМАН**, канд. геогр. наук, доц.,  
доцент кафедри суспільно-економічних дисциплін і географії  
e-mail: [lotsman.pavel.i@gmail.com](mailto:lotsman.pavel.i@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9894-5728>  
*Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди*  
вул. Валентинівська, 2, Харків, 61168, Україна

**Ю. М. СЕНЧИХІН**, канд. техн. наук, проф.,  
професор кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт  
e-mail: [syn\\_112@ukr.net](mailto:syn_112@ukr.net) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5983-2747>  
*Національний університет цивільного захисту України*  
вул. Чернишевська, 94, Харків, 61023 У.раїна

## ПОСТПІРОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ БІОГЕОХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СІРИХ ЛІСОВИХ ҐРУНТІВ ПРИ ТЕХНОГЕННМУ НАВАНТАЖЕННІ

**Мета.** Виявлення постпірогенної трансформації біогеохімічних властивостей ґрунтів у соснових лісах Харківської області при техногенному навантаженні.

**Методи.** Визначення рН водної витяжки потенціометричним методом, вміст гумусу і валового азоту за методом Тюріна, гранулометричного складу за Качинському, рухомі форми фосфору і калію по Мачигіну. Вміст рухомих форм важких металів визначено атомно-абсорбційним методом.

**Результати.** Спостерігається певна залежність постпірогенної трансформації від давності впливу пожежі на ґрунт. Відносно недавні наслідки пожежі середньої інтенсивності на ґрунт відзначено чіткою реакцією комплексу їх властивостей. Фізико-хімічні властивості ґрунтів у після пожежний період погіршуються, через суттєве зниження кількості поживних елементів у ґрунті: згорає гумус, зменшується вміст нітратного азоту. Кислотно-лужна реакція за показником рН у ґрунтах, які зазнали впливу пожеж зміщується до нейтральної, що слід пояснити насиченням поглинаючого комплексу ґрунтів лужноземельними елементами. Лісові низові пожежі суттєво трансформують морфологічний вигляд верхньої частини ґрунтового профілю. Під впливом пожеж відбуваються зміни рН, вмісту обмінних катіонів, валових і рухомих форм азоту та ін. Поводження і вміст важких металів у лісовій підстилці обумовлена, окрім впливу пожежі і геохімічним станом регіону, швидкістю водної міграції і біологічного поглинання, рельєфом місцевості. Концентрація важких металів у поверхневих горизонтах ґрунтів борових лісів зростає в кілька разів і перевищує фонові концентрації внаслідок мінералізації лісової підстилки і трав'янистої рослинності від згорання та подальшої міграції хімічних елементів.

**Висновки.** У підсумку змінюються поверхневі горизонти ґрунтів, зокрема, формується новий пірогенний горизонт, котрий певним чином відрізняється від природних аналогів. Пожежі, з одного боку, покращують умови проникнення насіння у ґрунт, але погіршують умови проростання, зростання та розвитку хвойних деревних порід. Концентрація важких металів у поверхневих горизонтах ґрунтів борових лісів являє екологічну небезпеку. Подальші дослідження трансформації властивостей ґрунтів під впливом пірогенних чинників має суттєве теоретичне та практичне значення у розробці наукових підходів до відновлення екосистем у після пожежний етап розвитку.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** екосистема, ґрунт, біогеохімічні властивості, фізико-хімічні властивості, важкі метали





**Як цитувати:** Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Лоцман П. І., Сенчихін Ю. М. Постпірогенна трансформація біогеохімічних властивостей сірих лісових ґрунтів при техногенному навантаженні. . *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 28. С. 63 – 71. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-05>

**In cites:** Buts, Y. V., Krainiuk, O. V., Lotsman, P. I., & Senchykhin, I. M. (2022). Post-pyrogenic transformation of biogeochemical properties of gray forest soils under technological load. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 63 - 71. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-05> (in Ukrainian)

## Вступ

Вплив пожеж на ґрунти надзвичайно різноманітний, досліджений багатьма науковцями, проте до цих пір неоднозначний. Наразі переважна більшість експериментальних постпірогенних досліджень приділяється рослинності, як найважливішому і найбільш потерпілому від вогню динамічному складнику та індикатору екосистем. Проте різноманітний прямий і непрямий вплив пожеж на ґрунтове середовище може бути надзвичайно сильним через постпірогенні зміни в складі і структурі та трансформації біогеохімічних властивостей [1-3, 5, 7-12].

**Метою** дослідження є виявлення постпірогенної трансформації біогеохімічних властивостей ґрунтів у соснових лісах Харківської області при техногенному навантаженні.

Еволюція ґрунтів в післяпожежну фазу пов'язана насамперед з пірогенною трансформацією органогенних горизонтів, тому вони служать індикатором впливу пожежі на ґрунт. При горінні органічних речовин у верхніх горизонтах виділяється значна кількість зольних елементів, що відповідно змінює реакцію середовища, вміст гумусу, азоту, суму обмінних катіонів.

Отже, суттєва роль при дослідженні постпірогенної трансформації екосистем повинна приділятися ґрунтам, як літогенній основі будь-якого природного комплексу.

У Харківському регіоні одним з об'єктів лісового господарства, де найбільш суттєві ушкодження лісових масивів, що пов'язані з випадками пожеж при техногенному навантаженні є ділянки «ДП Жовтневого лісгоспу», що знаходиться поблизу міста Харкова. Протягом останніх років площа пожеж на території даного лісгоспу зросла до 30 га на рік. Саме тому об'єктом дослідження визначено вигорілу частину лісового масиву в межах цього лісгоспу [2].

Лісовий масив свіжого згарища являє собою вирівняну ділянку слабо нахиленого схилу борової тераси з сірими лісовими опідзоленими ґрунтами під сосновим бором з домінуванням сосни звичайної (*Pinussylvestris L.*) та злаково-різнотравною асоціацією з переважанням у травостой чистотілу звичайного (*Chelidoniummajus L.*), молочаю Вальдштейна (*EuphorbiavirgataWaldst.*), підмаренника справжнього (*Galiumverum L.*) та латуку татарського (*Lactucatararica L.*). На ділянці чітко зафіксовані і візуально прослідковуються ознаки пожежі 4-5 річної давнини: сосни обгорілі до висоти 1-2,5 м, лісова підстилка пошкоджена, в деяких місцях сліди осередків пожежі без трав'янистої рослинності. Загальна площа пожежі приблизно 0,5 га. Пожежу віднесено до першого ступеня, оскільки деревостан пошкоджений незначно. Суттєвіших ушкоджень зазнав підріст та чагарниково-трав'янистий покрив [2].

В межах цього ж лісового масиву виявлено площу зі слідами «старої» пожежі, що сталася близько десяти років тому. Наразі про пожежу нагадують лиш обгорілі в окремих випадках, до висоти 2-3 м стовбури сосен. Територія екосистеми є слабо нахиленою ділянкою з сірими лісовими опідзоленими ґрунтами під сосновим бором з сосни звичайної (*Pinussylvestris L.*) та з переважанням злакової рослинності (*Gramineae*) та молочаю Вальдштейна (*EuphorbiavirgataWaldst.*) і чистотілу звичайного (*Chelidoniummajus L.*).

Характерною подібністю екосистем є наявність суцільної лісової підстилки товщиною до 10-12 см, що складається з сухих соснових гілок, сухої хвої, шишок та відмерлих залишків трав'янистої злакової рослинності.



## Об'єкти і методи досліджень

На кожній з ділянок відібрано в середньому по 5 зразків ґрунту, проаналізовані середні значення. Для всіх зразків проведено визначення рН водної витяжки потенціометричним методом, вміст гумусу і валового

азоту за методом Тюріна, гранулометричного складу за Качинським, рухомі форми фосфору і калію по Мачигіну. Концентрації вмісту рухомих форм важких металів (ВМ) визначалися атомно-абсорбційним методом [6].

## Результати дослідження та обговорення

**Кислотність ґрунтів.** При дослідженні кислотності сірих лісових опідзолених ґрунтів виявлена певна закономірність: в підстилці на старому згарищі виявлено кислі значення рН, на свіжому – величина рН, ближче до нейтральної. В цілому спостерігається післяпожежна трансформація сірих лісових опідзолених ґрунтів в органо-генних горизонтах, яка полягає в тенденції переважання в лужному напрямі. Результати дослідження кислотно-лужних умов у вивчених ґрунтах виявили підвищення показника рН у ґрунтах, що піддалися впливу пожежі (табл.1).

Тобто відмічено зростання рН середовища ґрунтів після пожежі і через 4-5 років з моменту пожежі все ще перевищують фонові показники.

Для ґрунтів через 10 років з моменту пожежі реакція середовища все ще не досягла фонових значень.

Отже, в результаті пожежі величина рН у верхньому шарі сірих лісових опідзолених ґрунтів (0-10 см) змістилася у бік нейтральної до 4,8 проти 4,3 у контролі. В інших горизонтах на більшій глибині значення цього показника наближаються до фонових.

Таблиця 1

### рН ґрунтового середовища

Table 1

### The pH of the soil environment

Тривалість	рН
4-5 років після пожежі	4,8
10-12 років після пожежі	4,6
Фонові значення	4,3

Тенденція до зростання значень рН у ґрунтах після пожеж пояснюється тим, що зольні водорозчинні сполуки, проникаючи у ґрунт, насичують поглинаючий комплекс лужноземельними елементами і викликають зміщення реакції середовища до нейтрального діапазону. Значну роль у встановленні значень рН відіграє вік згарища. У ґрунтах старих згарищ значення рН наближаються до фонових.

**Фізико-хімічні властивості ґрунтів.** Загальновідомо, що сприятливі умови для зростання лісу складаються при насиченості ґрунтів основами на 50–80%, вміст легко-розчинних сполук калію та фосфору більш ніж 5 мг на 100 г ґрунту. Добре зростання сосни відзначено при ємності поглинання 7–12 мг-екв. При цьому зріст переважної кількості видів деревних порід пригнічується на сильно кислих або лужних ґрунтах [4].

У ґрунті на свіжому згарищі відбувається збільшення вмісту катіонів кальцію в органо-генних горизонтах, при цьому вміст катіонів магнію несуттєво зменшується (табл. 2).

Для ґрунтів характерним є невисокий вміст гумусу у верхньому акумулятивному горизонті. З глибиною вміст його суттєво знижується, що власне характерно для сірих лісових опідзолених ґрунтів. Найбільші значення загального азоту притаманне для органо-генних горизонтів. Ґрунт у після-пожежний період збіднюється, вміст гумусу знижується. З кожним роком плавно кількість гумусу збільшується. На низову пожежу гумусові горизонти ґрунтів відповідають втратою азоту у результаті часткового згоряння органічних сполук.

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості ґрунтів

Table 2

Physical and chemical properties of soils

Показник		Значення
4-5 років після пожежі		
Обмінні катіони, мг.-екв./100г ґрунту	Ca <sup>2+</sup>	7,2
	Mg <sup>2+</sup>	4,1
Гумус		0,9
Азот		0,4
10 років після пожежі		
Обмінні катіони, мг.-екв./100г ґрунту	Ca <sup>2+</sup>	9,2
	Mg <sup>2+</sup>	4,4
Гумус		1,1
Азот		0,2
Фонові значення		
Обмінні катіони, мг.-екв./100г ґрунту	Ca <sup>2+</sup>	10,2
	Mg <sup>2+</sup>	5,6
Гумус		1,8
Азот		0,2

У зразках ґрунту вміст гумусу на згарищах обох ділянок протягом тривалого часу нижчий, ніж у фоновому зразку.

Таким чином, зі збільшенням віку згарищ вміст обмінних катіонів Ca<sup>2+</sup> і гумусу збільшується. Значення рН, вміст обмінних катіонів Mg<sup>2+</sup> навпаки – зменшуються. Це пов'язано з тим, що реакція ґрунтів на пірогенний вплив поступово згасає.

**Морфологічний аналіз ґрунтів** Загальновідомо, що одним з головних джерел надходження органічної речовини і зольних елементів у ґрунти є лісова підстилка. Під час низових лісових пожеж відбувається часткове або повне згорання підстилки, що в подальшому впливає на властивості ґрунтів, насамперед їх верхніх горизонтів.

Через 4-5 років після лісової пожежі слабкої інтенсивності змінився склад і структура поверхневих органогенних горизонтів. За цей час на поверхні сформувався шар лісової підстилки 3–4 см, згорілий сповна під час пожежі. Проте на ділянках, не пройдених вогнем, цей шар, що складається зі свіжого опаду хвої, дрібних сучків, кори, досягає 10–12 см. У фракційному складі переважає груба фракція (сучки, кора, шишки) –77,1%. На частку хвої і трави доводиться 17,5 і 5,3% відповідно. Органогенний пірогенний горизонт має товщу 3,6 см.

Аналіз ділянки після давньої пожежі

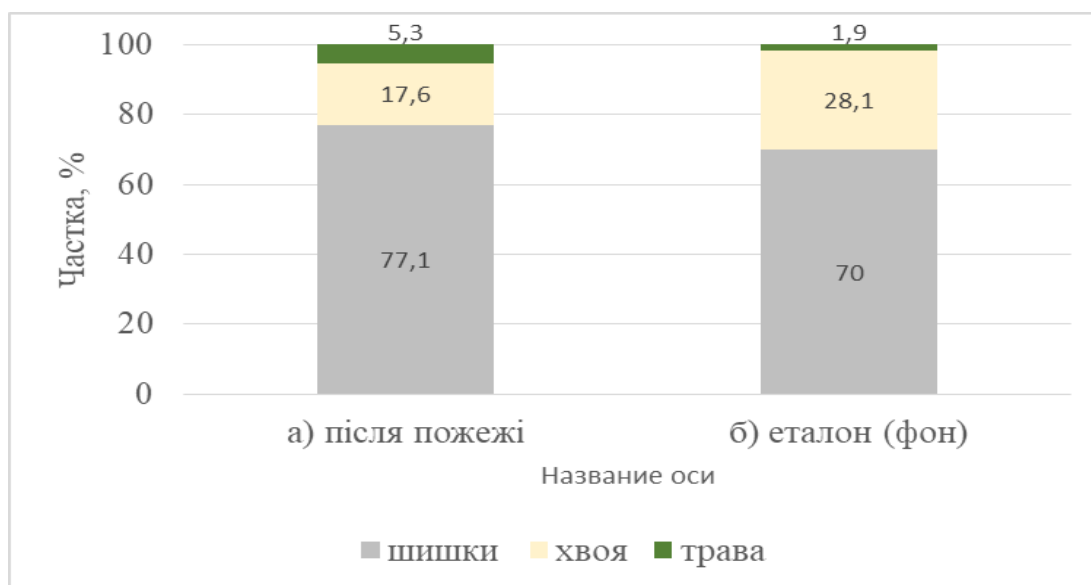
10-ти річної давнини свідчить про збільшення шару лісової підстилки до 5,2–5,5 см. Фракційний склад має таку структуру: фракція (сучки, кора, шишки) – 70%. На частку хвої і трави приходить 28,1 і 1,9% відповідно (рис. 1).

Гранулометричний склад ґрунтів представлений переважно піщаними фракціями. Частка піску по горизонтах знаходиться в діапазоні від 71 до 97,2%.

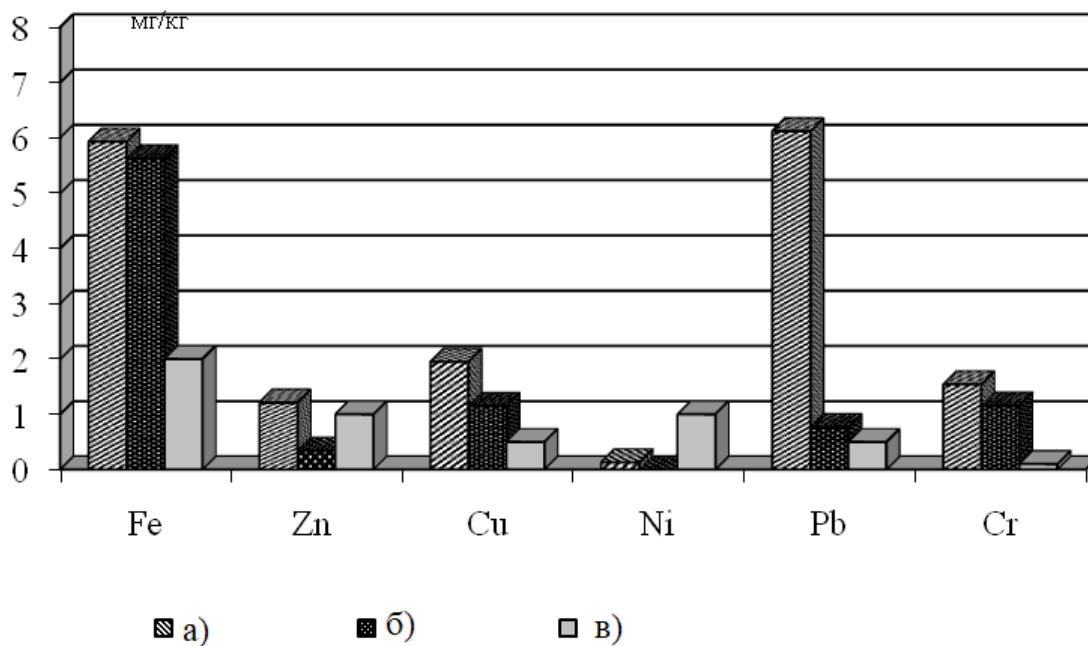
Температура приземному повітрі на згарищах різнотравних соснових борів досягає понад 40°C, що призводить до загибелі молодих сходів. Вологість і температура ґрунту знаходяться у зворотному зв'язку. Як і вологість, температура суттєво залежить від експозиції схилів. Зі збільшенням крутизни схилу в одних і тих же типах сосняків вологість ґрунтів знижується.

Отже, екологічні чинники ґрунтоутворення, що проявляються після пожеж, забезпечують здатність природного відновлення хвойних порід, за винятком окремих періодів з високою температурою на поверхні ґрунту.

Вивчаючи імовірні зміни визначальних властивостей ґрунтів на ділянках ґрунтів, пройдених вогнем, у сосняках підтверджено зміну хімічних властивостей ґрунтів після пожежі, названу Є. Ю. Шахматовою [7] терміном «пірогенність ґрунтів», що озна



**Рис. 1** – Фракційний склад лісової підстилки соснового бору, %  
**Fig. 1** – Fractional composition of pine forest litter, %



а) ділянка після недавньої пожежі (4-5 років); б) ділянка після давньої пожежі (близько 10 років);  
в) фонові значення

**Рис. 2** – Вміст рухомих форм важких металів та їх фонові значення у сірих лісових опідзолених ґрунтах [15]

a) site after a recent fire (4-5 years); b) site after a long-standing fire (about 10 years);  
c) background concentration

**Fig. 2** – Content of mobile forms of heavy metals and their background values in gray forest podsolized soils [15]

чає відповідну реакцію на пожежу у вигляді трансформації комплексу властивостей ґрунтів.

Згідно з отриманими даними, у ґрунтах, що зазнали впливу пожежі відносно нещодавно, концентрації рухомих форм всіх проаналізованих важких металів (ВМ) мають підвищені значення, порівняно з ґрунтами незайманим вогнем та ґрунтами ураженими пожежею більш ніж 10 років тому. Наприклад, вміст Pb після пожежі у верхньому ґрунтовому горизонті 0-15 см підвищився майже у 8 разів, Ni в понад 6 разів, Zn майже в 3 рази. Менше зростають концентрації Cu, Cr і Fe (від 1,7 до 1,1).

Показовими для постпірогенних геохімічних трансформацій у досліджених ґрунтах є результати атомно-абсорбційного аналізу (рис.2).

Оскільки дослідження передбачали проведення порівняльного аналізу вмісту ВМ у фонових екосистемах та їх техногенних модифікаціях застосовано коефіцієнт концентрації, який розраховують як відношення концентрації хімічного елемента у забрудненому ґрунті до його вмісту у аналогічному ґрунті фонових територій ( $K_c$ ) [4].

Зазначений коефіцієнт відображає ступінь концентрації хімічного елемента у

дослідженому об'єкті до його фонового вмісту у компонентах екогеосистем.

За коефіцієнтом концентрації рухомі форм ВМ у досліджених ґрунтах згарища після свіжої пожежі і ґрунтах згарища після давньої пожежі перевищують фонові значення у всіх проаналізованих зразках. Найвищі показники  $K_c$  відзначено для Cr, Ni та Pb.

Збільшення концентрації ВМ у ґрунтах досліджених екосистем, на наш погляд, можуть бути спричинені техногенними викидами підприємств міста Харкова та автотранспорту. Щодо надмірних концентрацій ВМ у ґрунтах, що зазнали впливу низової пожежі відносно недавно (4-5 років), даний факт потрібно пов'язати з мінералізацією лісової підстилки та трав'янистої рослинності від згорання, з подальшою міграцією хімічних елементів у поверхневі горизонти ґрунту.

В цілому, з урахуванням токсичності ВМ та близькості досліджених ділянок соснових лісів до населених пунктів, можемо констатувати екологічну небезпеку для вивчених екосистем, у тому числі для людини. Окрім того, внаслідок латеральної міграції можливе потрапляння поллютантів до поверхневих водних об'єктів, у тому числі до джерел забору води (колодязі, криниці тощо).

## Висновки

Розкрито постпірогенну трансформацію фізико-хімічних показників ґрунтів, що слід назвати не лише їх відповідною реакцією на пірогенний вплив, а певним показником, який відображає стан ґрунтів як від нещодавнього впливу після пожеж, з урахуванням їх сили і інтенсивності, так і через тривалий проміжок часу. Загалом, спостерігається певна залежність постпірогенної трансформації від давності впливу пожежі на ґрунт. Відносно недавні наслідки пожежі середньої інтенсивності на ґрунт відзначено чіткою реакцією комплексу їх властивостей. Для ґрунту на 5-річному згарищі характерна менша реакція досліджених показників. При відсутності пожежі, через 10 років у ґрунтах прояви пірогенного чинника практично відсутні.

Фізико-хімічні властивості ґрунтів у після пожежний період погіршуються, через те, що суттєво знижується кількостей

поживних елементів у ґрунті: згорає гумус, зменшується вміст нітратного азоту. Отже, пожежі, з одного боку, покращують умови проникнення насіння у ґрунт, але погіршують умови проростання, зростання та розвитку хвойних деревних порід. Вміст гумусу у поверхневому горизонті (0-15 см) сірих лісових опідзолених ґрунтів після пройденної низової пожежі знижується за рахунок згорання органічних речовин у поверхневому ґрунтовому прошарку.

Кислотно-лужна реакція за показником рН у ґрунтах, які зазнали впливу пожеж зміщується до нейтральної, що слід пояснити насиченням поглинаючого комплексу ґрунтів лужноземельними елементами.

Лісові низові пожежі суттєво трансформують морфологічний вигляд верхньої частини ґрунтового профілю. У підсумку змінюються поверхневі горизонти ґрунтів, зокрема, сформовується новий пірогенний

горизонт, котрий за фізико-хімічними властивостями та вмістом зольних елементів певним чином відрізняється від природних аналогів. Під впливом пожеж відбуваються зміни таких показників, як: рН, вміст обмінних катіонів, валових і рухомих форм азоту та ін. Також, слід враховувати, що поведження і вміст ВМ у лісовій підстилці обумовлені окрім впливу пожежі і геохімічним станом регіону – швидкістю водної міграції і біологічного поглинання, рельєфом місцевості.

Концентрація ВМ у поверхневих горизонтах ґрунтів борових лісів зростає в кілька разів і перевищує фонові концентрації внаслідок мінералізації лісової підстилки і трав'янистої рослинності від згорання та подальшої міграції хімічних елементів, що являє екологічну небезпеку.

Подальші дослідження трансформації властивостей ґрунтів під впливом пірогенних чинників має суттєве теоретичне та практичне значення у розробці наукових підходів до відновлення екосистем у після пожежний етап розвитку.

### 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. Буц Ю.В. Пірогенна релаксія геосистем. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012, № 1-2. С. 71–76.
2. Буц Ю.В. Наслідки впливу пірогенного чинника на біогеохімічні властивості екогеосистем в умовах техногенного навантаження. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 93. №3. С. 109–116. DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2018-93-3-115-122>
3. Буц Ю.В., Крайнюк О.В., Некос А.Н., Барбашин В. В. Пірогенний вплив на хвойні деревостани в умовах техногенно-екологічного навантаження. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*, 2020, вип. 22. С. 65–74. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-06>
4. Гуцуляк В.М. Геохімія ландшафту. Чернівці: ЧДУ, 1994. 82с.
5. Краснощеков Ю. Н. Влияние пирогенного фактора на серогумусовые почвы сосновых лесов в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории. *Сибирский лесной журнал*, 2014, № 2. С. 43–52.
6. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М: ЦИНАО, 1989. 62 с.
7. Шахматова Е.Ю. Пирогенность – ответная реакция почв сухих сосновых лесов на воздействие пожаров. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2015, №5. С. 260–264.
8. Asotskyi V., Buts Y., Krainyuk O., Ponomarenko R. Post-pyrogenic changes in the properties of grey forest podzolic soils of ecogeosystems of pine forests under conditions of anthropogenic loading. *Journ.Geol.Geograph.Geocology*, 2018. Vol.27. № 2. P.175–183. DOI: <https://doi.org/10.15421/111843>
9. Buts Y., Asotskyi V., Krainyuk O., Ponomarenko R. Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ.Geol.Geograph.Geocology*, 2018. Vol. 27. № 1. P.43–50. DOI: <https://doi.org/10.15421/111829>
10. Buts Y. Features of geochemical migration of chemical elements after technogenic loading of pyrogenic nature. *Journal of Engineering Sciences*. 2018. Vol. 5. № 2. P. H1–H4. [https://doi.org/10.21272/jes.2018.5\(2\).h1](https://doi.org/10.21272/jes.2018.5(2).h1)
11. Buts Y., Asotskyi V., Krainyuk O., Ponomarenko R., Kovalev P. Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor. *Journ. Geol. Geograph. Geocology*, 2019. Vol. 28. № 3. P. 409–416. DOI: <https://doi.org/10.15421/111938>
12. Doerr S., Cerda A. Fire effect on soil system functioning: new in sight sand future challenges. *International Journal of Wild land Fire*, 2005. Vol. 14, № 4. P. 339–342. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF05094>

Стаття надійшла до редакції 26.10.2022

Стаття рекомендована до друку 25.11.2022

**Y. V. BUTS**, DSc (Technical), Prof.,  
Head of the Department of Technology and Vital Activity  
e-mail: [butsyura@ukr.net](mailto:butsyura@ukr.net) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0450-2617>  
*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics*  
9a, Science Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine

**O. V. KRAINIUK**, PhD (Technical),  
Associate Professor of the Department of Metrology and Life Safety  
e-mail: [alenuvarova@ukr.net](mailto:alenuvarova@ukr.net) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9524-040X>  
*Kharkov National Automobile and Highway University*  
25, Yaroslava Mudrogo Str., Kharkiv, 61000, Ukraine

**P. I. LOTSMAN**, PhD (Geograph),  
Associate Professor of the Department of Socio-Economic Disciplines and Geography  
e-mail: [lotsman.pavel.i@gmail.com](mailto:lotsman.pavel.i@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9894-5728>  
*H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University,*  
2, Valentynivska, Str., Kharkiv, 61168, Ukraine

**Y. M. SENCHYKHIN**, PhD (Technical), Prof.,  
Professor of the Department of Fire Tactics and Emergency Rescue Works  
e-mail: [syn\\_112@ukr.net](mailto:syn_112@ukr.net) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5983-2747>  
*National University of Civil Defence of Ukraine*  
94, Chernyshevska, Str., Kharkiv, 61023, Ukraine

## POST-PYROGENIC TRANSFORMATION OF BIOGEOCHEMICAL PROPERTIES OF GRAY FOREST SOILS UNDER TECHNOLOGICAL LOAD

**Purpose.** Detection of post-pyrogenic transformation of biogeochemical properties of soils in pine forests of the Kharkiv region under technogenic loading.

**Methods.** Determination of the pH of the water extract by the potentiometric method, the content of humus and gross nitrogen according to the Tyurin method, the granulometric composition according to Kachynskyi, the mobile forms of phosphorus and potassium according to Machigin. The content of mobile forms of heavy metals was determined by the atomic absorption method.

**Results.** There is a certain dependence of the post-pyrogenic transformation on the age of fire impact on the soil. Relatively recent consequences of a fire of medium intensity on the soil were marked by a clear reaction of the complex of their properties. Physical-chemical properties of soils in the post-fire period deteriorate due to a significant decrease in the amount of nutrients in the soil: humus burns, nitrate nitrogen content decreases. The acid-alkaline reaction according to the pH index in the soils affected by fires shifts to neutral, which should be explained by the saturation of the absorbing complex of soils with alkaline earth elements. Forest lowland fires significantly transform the morphological appearance of the upper part of the soil profile. Under the influence of fires, there are changes in pH, the content of exchangeable cations, gross and mobile forms of nitrogen, etc. The behavior and content of heavy metals in the forest floor is determined, in addition to the effect of fire and the geochemical state of the region, the speed of water migration and biological absorption, and the topography of the area. The concentration of heavy metals in the surface horizons of the soils of pine forests increases several times and exceeds the background concentrations as a result of the mineralization of the forest floor and grassy vegetation from combustion and subsequent migration of chemical elements.

**Conclusions.** As a result, the surface horizons of soils change, in particular, a new pyrogenic horizon is formed, which differs in a certain way from natural analogues. Fires, on the one hand, improve the conditions for seed penetration into the soil, but worsen the conditions for the germination, growth and development of coniferous tree species. The concentration of heavy metals in the surface horizons of pine forest soils is an ecological hazard. Further research on the transformation of soil properties under the influence of pyrogenic factors is of significant theoretical and practical importance in the development of scientific approaches to the restoration of ecosystems in the post-fire stage of development.

**KEY WORDS:** ecosystem, soil, biogeochemical properties, physicochemical properties, heavy metals

## References

1. Buts, Y. (2012). Pyrogenic relaxation of geosystems. *Man and environment. Issues of neoecology*, (1-2), 71–76 (in Ukraine)

2. Buts, Y. (2018). Consequences of the effect of the pyrogenic factor on the biogeochemical properties of ecogeosystems under technogenic load conditions. *Scientific bulletin of construction*, 93(3),109–116. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2018-93-3-115-122> (in Ukraine)
3. Buts, Y. (2020). The influence of anthropogenic factors on the occurrence of emergency situations of a pyrogenic nature in ecosystems. *Scientific bulletin of construction*, 102(4), 223–231 (in Ukraine)
4. Buts, Yu.V., Krainiuk, O.V., Nekos, A.N., & Barbashin, V.V. (2020). Pyrogenic influence on conifer stands in conditions of technogenic and ecological stress. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University*, series “Ecology”, 22. 65–74. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-06> (in Ukraine)
5. Hutsulyak, V.M. (1994). Geochemistry of the landscape. (in Ukraine)
6. Krasnoshchekov, Yu.N. (2014). The effect of the pyrogenic factor on the serohumus soils of pine forests in the Central Ecological Zone of the Baikal Natural Territory. *Siberian Forest Journal*, 2. 43–52 (in Russian)
7. Methodical instructions for the determination of heavy metals in agricultural soils and plant production (1989). 62 (in Russian)
8. Shakhmatova, E.Yu. (2015). Pyrogenicity is the response of soils of dry pine forests to the impact of fires. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 5, 260–264 (in Russian)
9. Asotskyi, V., Buts, Y., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R. (2018). Post-pyrogenic changes in the properties of grey forest podzolic soils of ecogeosystems of pine forests under conditions of anthropogenic loading. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 27(2), 175-183 <https://doi.org/10.15421/111843>
10. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., & Ponomarenko, R. (2018). Influence of technogenic loading of pyrogenic origin on the geochemical migration of heavy metals. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 27(1). 43–50. <https://doi.org/10.15421/111829>
11. Buts, Y. Features of geochemical migration of chemical elements after technogenic loading of pyrogenic nature (2018). *Journal of Engineering Sciences*, 5(2), H1–H4 . [https://doi.org/10.21272/jes.2018.5\(2\).h1](https://doi.org/10.21272/jes.2018.5(2).h1)
12. Buts, Y., Asotskyi, V., Kraynyuk, O., Ponomarenko, R., & Kovalev, P. (2019). Dynamics of migration property of some heavy metals in soils in Kharkiv region under the influence of the pyrogenic factor *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 28(3), 409–416. <https://doi.org/10.15421/111938>
13. Doerr, S., & Cerda, A. (2005). Fire effect son soil system functioning: new in sight sand future challenges. *International Journal of Wild land Fire*, 14(4), 339–342. <https://doi.org/10.1071/WF05094>

The article was received by the editors 26.10.2022

The article is recommended for printing 25.11.2022



## ЗБАЛАНСОВАНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-06>

УДК (UDC): 630\*91

Л. П. ЦАРИК<sup>1</sup>, д-р геогр. наук, професор,  
завідувач кафедри геоecології та методики навчання екологічних дисциплін  
e-mail: [tsaryk155@gmail.com](mailto:tsaryk155@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0944-1905>

Ю. В. СМЕРЕЧИНСЬКИЙ<sup>1</sup>,  
аспірант кафедри геоecології та методики навчання екологічних дисциплін  
e-mail: [suv.work.3@gmail.com](mailto:suv.work.3@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8143-860X>  
<sup>1</sup>Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка  
вул. М. Кривоноса, 2, м. Тернопіль, 46027, Україна

### ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ НОВИХ ЛІСІВ У ТЕРНОПІЛЬСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Постає питання проведення оцінки відновлення та збільшення площ лісів, що даватиме змогу забезпечувати сталий розвиток лісів.

**Мета.** Оцінити створення лісових ресурсів у межах Тернопільської області та запропонувати їх оптимізацію.

**Методи.** Описовий, статистичний, порівняльно-географічний, оптимізаційне моделювання.

**Результати.** Тернопільська область відноситься до мало лісистих регіонів України. Лісогосподарськими підприємствами області в ході виконання програм ведення лісового господарства створюються нові ліси на доступних для лісорозведення площах, проте основним лімітуючим фактором виступає наявність земельних ділянок для забезпечення потреб лісорозведення. Для оптимізації процесу збільшення лісовкритих земель потрібно додатково залучити до заліснення непридатні для сільськогосподарського виробництва землі та передати самозалісені землі лісогосподарським підприємствам. Проте однією із перешкод передачі земель в користування лісогосподарським підприємствам є небажання втрачати цінні активи у вигляді земель, та туманна перспектива отримання дивідендів. Державними лісогосподарськими підприємствами області подано до міських, селищних та сільських рад звернення щодо відведення земельних ділянок для лісорозведення, однак отримано малу частку позитивних відповідей. Також варто згадати і проблему колгоспних лісів, котрі на даний момент не надані в користування лісогосподарським підприємствам області та в межах котрих не проводиться, ні охорона, ні використання лісових ресурсів. Основною проблемою для таких лісів виступає їхня передача в постійне користування державним або комунальним лісогосподарським, чи комунальним підприємствам зі створеними спеціалізованими лісогосподарськими підрозділами. Отже оптимальним виходом з такої ситуації можна вважати створення комунальних лісогосподарських підприємств з територіальними громадами області, котрі мали б можливість на такій базі поступово створювати нові ліси.

**Висновки.** Виявлені проблеми та тенденції забезпечення потреб області в лісах, досягнення оптимального показника лісистості області, що дало б змогу відкрити альтернативний шлях вирішення даного питання на базі безпосередніх розпорядників потенційних земельних ділянок, які можуть бути залісені.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** заліснення, лісорозведення, лісовідновлення, створення нових лісів, оптимізація

**Як цитувати:** Царик Л. П., Смеречинський Ю. В. Оцінка перспективи створення нових лісів у Тернопільській області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 27. С. 72 - 79. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-06>

© Царик Л. П., Смеречинський Ю. В., 2022



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

**In cites:** Tsaryk, L. P., & Smerechynskiy, Y. V. (2022). Assessment of the prospects of creating new forests in Ternopil region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 72 - 79. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-06> (in Ukrainian)

## Вступ

Лісовими ресурсами вважають деревні, технічні, лікарські та інші продукти лісу, що використовуються для задоволення потреб населення і виробництва та відтворюються у процесі формування лісових природних комплексів[1]. Створення нових лісів впливає на вирішення низки екологічних проблем, таких як: забрудненість повітря, регулювання водного та кліматичного режимів атмосферного повітря та ґрунтів, створення місць для рекреації, а також забезпечення населення дров'яними ресурсами. Розуміють це і у верхніх ешелонах влади, саме тому Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 22.07.2021 № 494 «Про затвердження

показників регіональних нормативів оптимальної лісистості території і мінімально необхідної захисної лісистості агроландшафтів України» встановлено оптимальні показники для кожної з областей країни. Для Тернопільської області такий показник складає 20% [2], що в перерахунку на реальну площу дає 276480 га. Також видано Указ Президента України від 07.06.2021 № 228/2021 «Про деякі заходи щодо збереження та відтворення лісів», яким передбачено реалізацію екологічної ініціативи «Масштабне заліснення України» [3]. Тому метою даного дослідження оцінка проведення є заліснення області та внесення пропозицій щодо її оптимізації.

## Методи дослідження

Матеріалами для проведення оцінки заліснення Тернопільської області служили Звіти Головного управління Держгеокадастру у м. Тернопіль (форма 6-зем), матеріали Тернопільського обласного управління лісового та мисливського господарства, матеріали управління екології та природних ресурсів Тернопільської обласної військової адміністрації щодо обліку самозаліснених та придатних для потреб заліснення земель територіальних громад Тернопільської області.

При дослідженні використано загально-наукові методи: описовий (загальна характеристика лісів Тернопільської області),

статистичний (визначено об'єми посадки та вирубування дерев протягом останніх 5 років), математичний (розраховано оптимальну площу лісів для Тернопільської області, проведено розрахунки дефіциту площі лісів, та можливих витрат на викуп сільськогосподарських земель для потреб заліснення). А також спеціальні методи: порівняльно-географічний (проведено порівняння об'ємів вирубки лісів з їх відновленням, та збільшенням їх площі), оптимізаційне моделювання (розроблено оптимізаційну модель збільшення лісів Тернопільщини).

## Результати та обговорення

Тернопільську область можна віднести до малолісистих областей України. Площа земель лісгосподарського призначення області становить 201,4 тис. га, з них 183,2 тис. га земель, вкритих ліською рослинністю, що складає всього 13,3% території області, на одного жителя області припадає 0,19 га вкритих лісом земель [4]. Ліси на території області розташовані нерівномірно та зосереджені, в основному, у північній і північно-західній частині, де лісистість досягає

20-25%, а також у південній частині, де лісистість становить 14-18% [4].

Нині 148,6 тис. га лісів області (73,8%) перебувають у постійному користуванні 5 державних підприємств, що входять до сфери управління Тернопільського обласного управління лісового та мисливського господарства (рис. 1) [4], ще 23,5 тис. га обліковуються за комунальними лісгосподарськими підприємствами [5], та більше 12 тис. га лісів – безгосподарні [5].



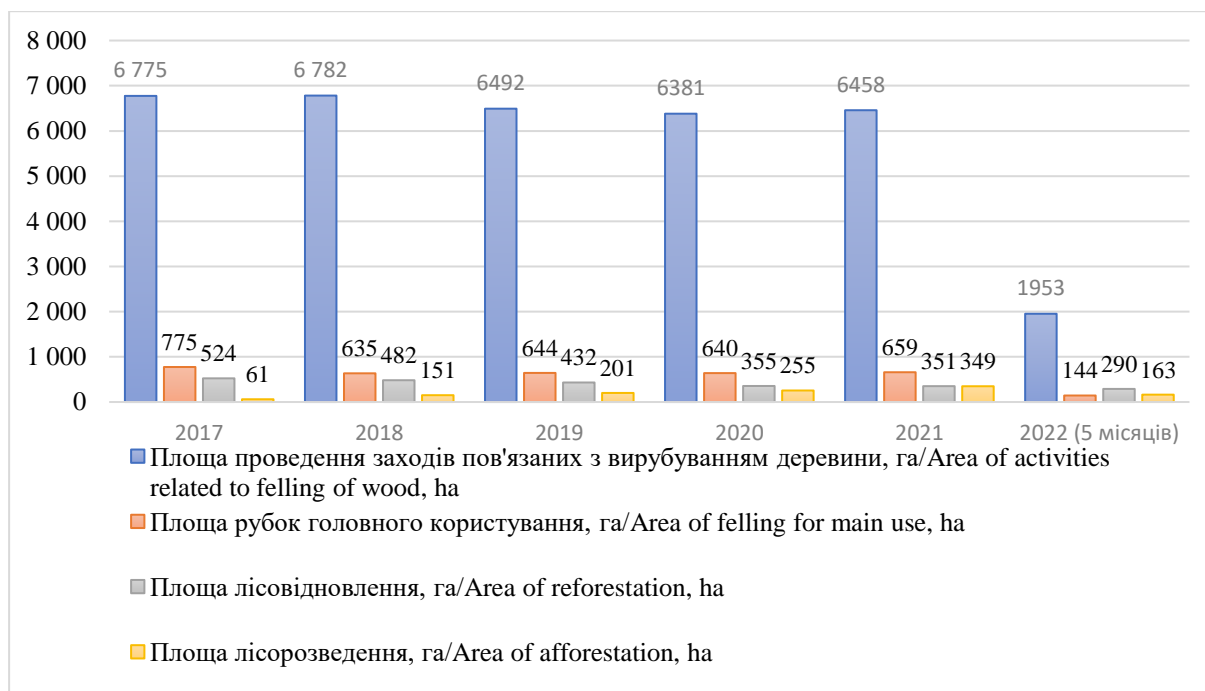
**Рис. 1** – Структура лісовкритих земель за користувачами, на матеріалах джерел [4,5]  
**Fig. 1** – The structure of forested lands by users, based on source materials [4,5]

Площа земель державного лісового фонду області за останні п'ять років збільшилася більше ніж на 1 тис. га [6]. В межах земель державного лісового фонду наявні 283 території та об'єкти природно-заповідного фонду загальною площею 37,4 тис. га або 25,2% усієї території лісфонду (природно-заповідний фонд Тернопільської області – 8,98%) [4].

Загальний запас деревини в лісах підприємств управління становить 31,4 млн м<sup>3</sup>, зокрема стиглих і перестійних – 5,9 млн м<sup>3</sup> [6].

Проведено відтворення лісів за 2021 рік на площі 762 га (109%), з них садіння і висівання – 700 га, природне поновлення – 62 га, створено нових лісів 349 га (104%) [6]. На виконання Указу Президента України від 07.06.2021 № 228/2021 «Про деякі заходи щодо збереження та відтворення лісів» в рамках програми Президента України «Зелена країна» проведено лісовідновлення на загальній площі 703 га, створено нові ліси на площі 512 га та висаджено 2916 тис. дерев [6].

На виконання «Програми розвитку лісового господарства Тернопільщини на 2017-2021 роки» лісгосподарськими підприємствами області проведено лісовідновлення на загальній площі 2038 га, та створено нові ліси шляхом лісорозведення на загальній площі 1013 га, що більш ніж на 500 га більше від передбаченого програмою показника. Наприклад, «Програмою охорони, захисту, використання та відновлення лісів Тернопільщини на 2022-2026 роки» передбачено створення нових лісів на загальній площі 590 га, і справа тут не в тому, що хтось не хоче, або не може забезпечити посадку лісів на більшій площі, вузьким місцем постає саме наявність земельних ділянок під залісення. Також на виконання збудовано розсадницький та насінневий комплекс у межах Чортківського лісового господарства, що дає змогу збільшити обсяги висадки лісів, за умови виділення земель для даних потреб.



**Рис. 2** – Порівняльна характеристика площ заходів пов'язаних з вирубуванням деревини та заходів з лісорозведення і лісовідновлення, на матеріалах джерела [6]

**Fig. 2** – Comparative characteristics of areas of measures related to felling of wood and measures of afforestation and reforestation, based on source materials [6]

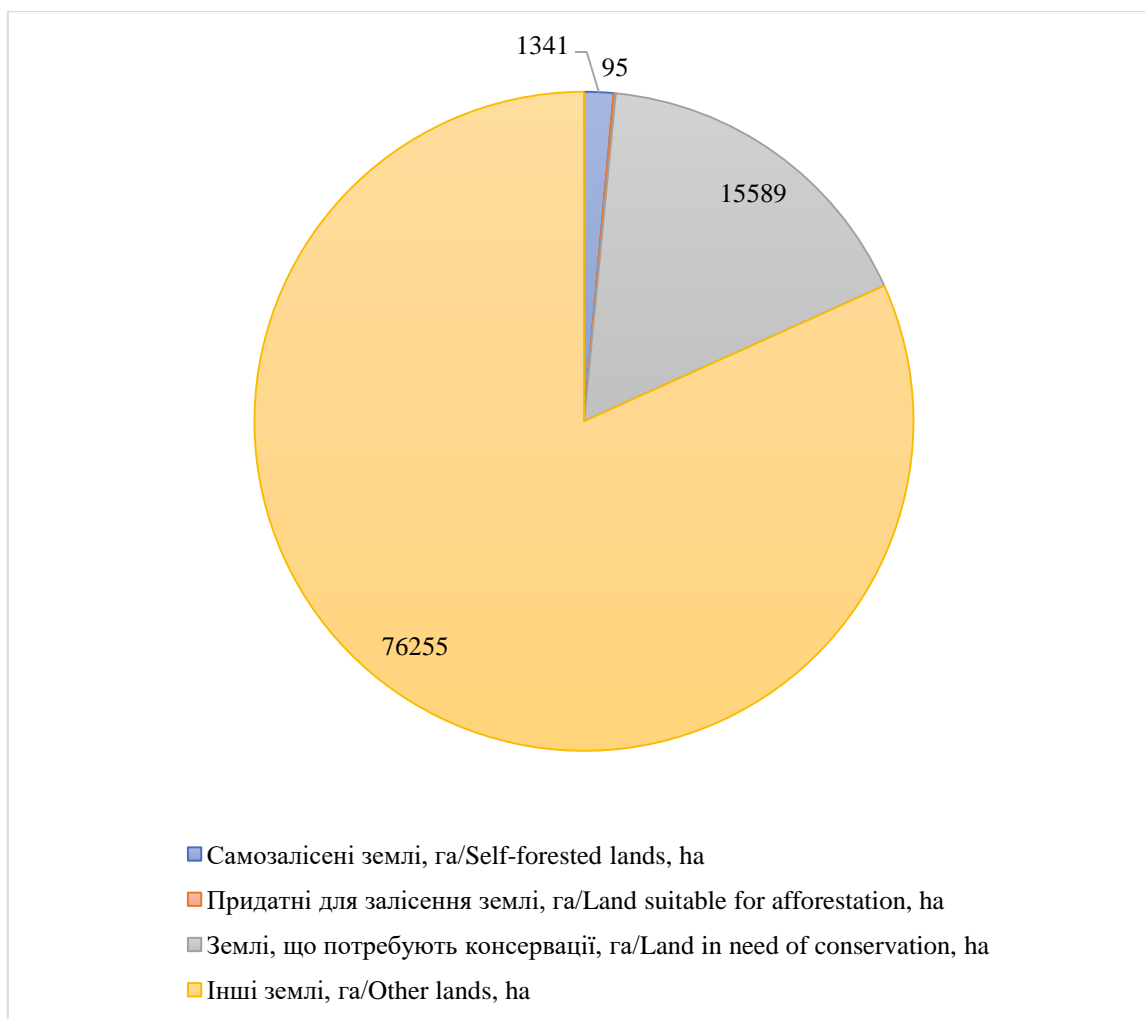
Проте темпи створення лісів є вкрай повільними, вони просто дають змогу покрити рубки головного користування (рис. 2), а для досягнення нормативного показника заліснення області потрібно щорічно впродовж 10 років висаджувати більше 9 тис. га лісу. І найпершою передумовою для цього є передача земель територіальними громадами для потреб ведення лісового господарства. За даними територіальних громад на кінець 2021 року в межах Тернопільської області за територіальними громадами обліковується 1341 га самозалісених земель, котрі можна було би передати лісогосподарським підприємствам, проте темпи передачі земель не вражають.[5]

Державними лісогосподарськими підприємствами області, станом на 01.05.2022, подано до міських, селищних та сільських рад 118 звернень про відведення земельних ділянок загальною площею 826,9 га для лісорозведення, отримано 13 позитивних відповідей стосовно відведення земель площею 96,9 га, зареєстровано речові права на постійне користування земельними ділянками для створення нових лісів загальною площею 41 га, станом на початок травня 2022 року підприємствами отримано 30 відмов щодо відведення 56,7 га земель, на розгляді

сільських, селищних та міських рад перебуває 75 поданих клопотань про виділення лісогосподарським підприємствам 682,5 га земель під заліснення, які непридатні для сільськогосподарського використання [7].

Проте передача земель це не найдешевша процедура, котра ще й розтягнута в часі. Так ціна створення проекту землеустрою земельної ділянки розпочинається від 8 тис грн [8]. Навіть не зважаючи на те, що під заліснення можна передавати малопродуктивні й деградовані землі, котрі не задіяні в сільськогосподарському виробництві, що дає змогу не платити за відшкодування втрат від сільськогосподарського виробництва, проте органи місцевого самоврядування не поспішають передавати навіть такі землі для потреб лісорозведення.

Для прикладу можна навести ситуацію із передачею землі Мечишівської сільської ради державному підприємству «Бережанське лісомисливське господарство», коли після передачі земель лісогосподарському підприємству скликанням сільської ради, та початку процедури оформлення землі і витрат на це значних коштів, голова сільської ради почав відвойовувати зазначені землі в судових інстанціях [9].



**Рис. 3** Структура земель для потреб залісення, на матеріалах джерел [5, 10]  
**Fig. 3** – Land structure for afforestation needs, based on source materials [5, 10]

З аналізу структури земель (рис. 3) визначено, що самозалісені землі займають лише незначну частину, яка становить менше 1,5% від 92280 га площу яких потрібно залісити в межах оптимізації показника лісистості. Також землі можна консервувати шляхом залісення, приблизно 15,6 тис. га земель, що потребують консервації [10], а звідки взяти решту більше ніж 76 тис. га – невідомо. Адже всі землі розпайовані та задіяні в сільському господарстві і безкоштовно їх ніхто передавати не збирається, а отже на викуп згаданих земель для потреб залісення знадобляться значні кошти і навіть до 24.02.2022 в обласному бюджеті, та бюджетах територіальних громад такі кошти не передбачалися.

За умов якщо все пройде ідеально і вдасться передати під ведення лісового

господарства всі самозалісені, придатні для залісення та всі землі, що потребують консервації це все одно буде менше 18,5% від потрібної площі. Решту земель можна брати лише з тих, що задіяні у сільськогосподарському виробництві, що призведе до ще більших витрат за рахунок відшкодування від витрат сільськогосподарського виробництва.

У випадку, якщо спробувати викупити землі то ринкова ціна за 1 га ріллі на Тернопільщині складає близько 30 тис. грн [11], проводячи не складні обчислювальні операції отримуємо цифру в більше ніж 2,2 млрд. грн без врахування витрат на створення і вирощування лісу, а це ще близько 10 тис. грн на 1 га [6].

Отже, існує велика кількість перепон для збільшення площі лісів у межах Тернопільської області на базі державних



лісогосподарських підприємств, починаючи від фінансових, закінчуючи людським фактором, який в тому, чи іншому руслі пов'язаний, на сам перед, із фінансовою складовою.

Також варто згадати і проблему 15,6 тис га колгоспних лісів, які на даний момент не надані в користування лісогосподарським підприємствам області та в межах яких не проводиться, ні охорона, ні використання лісових ресурсів. Проте ми прираховуємо дані лісовкриті ділянки до земель лісового фонду Тернопільської області та включаємо їх до наявних відсотків залісеності області. Основною проблемою для таких лісів виступає їхня передача в постійне користування державним або комунальним лісогосподарським, чи комунальним підприємствам зі створеними спеціалізованими лісогосподарськими підрозділами.

Саме тому в межах оптимізації ми пропонуємо таку модель користування лісами при якій, як витрати, так доходи буде покладено на територіальні громади, що потребує створення нових комунальних

лісогосподарських підприємств, або створення у складі наявних комунальних підприємств спеціалізованих лісогосподарських підрозділів. На фоні газової кризи, що насувається на всю Європу і на Україну необхідно пояснити територіальним громадам, що можливість ведення лісового господарства в їх межах дасть змогу зробити той недоторканий запас ресурсів, який дасть змогу відчувати певний спокій на деякий час. Звісно, навіть якщо негайно розпочати процедуру створення комунальних лісогосподарських підприємств, або створити у складі наявних комунальних підприємств спеціалізованих лісогосподарських підрозділів і почати інтенсивне збільшення лісів. Найперші результати з'являться не раніше ніж через кілька десятиріч. Саме тому комунальні підприємства слід створювати на основі колишніх колгоспних лісів, які після реформи перейшли у власність громад і на даний момент часу є безгосподарними (рис. 1), за даними громад станом на кінець 2021 року таких земель налічується в області більше 12 тис. га.

### Висновки

Проведено аналіз та оцінку стану реалізації програм щодо збільшення лісистості Тернопільської області та обґрунтовано можливі шляхи оптимізації даного процесу. Встановлено, що для досягнення оптимальних показників лісистості області, що становить 276480 га, сьогоднішні темпи з піковими значеннями за 5 років у 349 га/рік при потребі у більш ніж 9 тис. га/рік є вкрай недостатніми. Запропоновано модель оптимізації збільшення лісових площ за рахунок

створення комунальних лісогосподарських підприємств в підпорядкуванні територіальних громад, що дасть змогу у найшвидші терміни розпоряджатися землею для потреб залісення.

Перспективою подальших досліджень залишається оптимізація використання лісових ресурсів та збільшення території природно-заповідного фонду відповідно до нормативного показника у 15% від загальної площі області.

### 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. Лісовий кодекс України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text> (дата звернення: 08.05.2022).
2. Наказ Міндовкілля від 22.07.2021 № 494 «Про затвердження показників регіональних нормативів оптимальної лісистості території і мінімально необхідної захисної лісистості агроландшафтів України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1043-21#Text> (дата звернення: 08.05.2022).
3. Указ Президента України №228/2021 «Про деякі заходи щодо збереження та відтворення лісів». URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2282021-39089> (дата звернення: 08.05.2022).
4. Характеристика лісового господарства області. URL: <https://ternopillis.gov.ua/upravlinnja/kharakteristika-lisovogo-gospodarstva-oblasti.html> (дата звернення: 29.05.2022).



5. Матеріали управління екології та природних ресурсів Тернопільської обласної державної адміністрації про облік самозалісених та придатних для потреб залісення земель територіальних громад Тернопільської області станом на 10.02.2022.
6. Матеріали звітів Тернопільського обласного управління лісового та мисливського господарства про проведену роботу з охорони, захисту, використання та відтворення лісових насаджень, тваринного світу, ведення лісового та мисливського господарства станом на 01.06.2022 р.
7. Матеріали звітів управління екології та природних ресурсів Тернопільської обласної державної адміністрації про стан виконання завдань, визначених Указом Президента України від 07.06.2021 № 228/2021 «Про деякі заходи щодо збереження та відтворення лісів» станом на 01.05.2022.
8. Проект відведення земельної ділянки URL: <https://zemlevporyadnik.com.ua/proekt-zemleustroyu-vidvedennya.html> (дата звернення: 28.05.2022).
9. Створення нових лісів на Тернопільщині: питання актуальне для лісівників, але не для громад. URL: <https://ternopilis.gov.ua/pres-sluzhba/novina/article/stvorennja-novikh-lisiv-na-ternopilshchini-pitannja-aktualne-dlja-lisivnikiv-ale-ne-dlja-gromad.html> (дата звернення: 29.05.2022).
10. Публічна кадастрова карта URL: [https://map.land.gov.ua/?cc=3568176.376491699,6207013.759603989&z=7&l=pcm\\_pzf,kadastr&bl=ortho10k\\_all](https://map.land.gov.ua/?cc=3568176.376491699,6207013.759603989&z=7&l=pcm_pzf,kadastr&bl=ortho10k_all) (дата звернення: 27.01.2022).
11. Нормативна грошова оцінка земель. URL: <https://data.gov.ua/dataset/e306e6a5-eb59-4bc7-aa3e-fb8f12dd7599> (дата звернення: 29.01.2022).

Стаття надійшла до редакції 30.10.2022

Стаття рекомендована до друку 25.11.2022

**L. P. TSARYK<sup>1</sup>**, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Geoecology and Methods of Teaching Environmental Disciplines

e-mail: [tsaryk155@gmail.com](mailto:tsaryk155@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0944-1905>

**Y. V. SMERECHYNSKYI<sup>1</sup>**

Postgraduate of the Department of Geoecology and Teaching Methods of Environmental Disciplines

e-mail: [suv.work.3@gmail.com](mailto:suv.work.3@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8143-860X>

<sup>1</sup>*Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,  
Maxyma Kryvonisa str.2, Ternopil, 46027, Ukraine*

## ASSESSMENT OF THE PROSPECTS OF CREATING NEW FORESTS IN TERNOPIIL REGION

Modern globalization processes, both in Ukraine and around the world, are leading to the increasing use of natural resources, including forests. That is why there is a question of assessing the restoration and increase of forest areas, which will ensure sustainable forest development.

**Purpose** of the work is to evaluate the creation of forest resources within the Ternopil region and propose their optimization.

**Methods.** Descriptive, statistical, comparative-geographical, analysis and optimization modeling.

**Results.** The Ternopil region is one of the sparsely forested regions of Ukraine. Forestry enterprises of the region create new forests in the areas available for afforestation in the course of implementation of forestry management programs of the region, but the main limiting factor is the availability of land plots to meet the needs of afforestation. In order to optimize the process of increasing forested land, it is necessary to afforest lands unsuitable for agricultural production and to transfer self-forested lands to forestry enterprises. However, one of the obstacles to the transfer of land for the use of forestry enterprises is the reluctance to lose valuable assets in the form of land, and the vague prospect of receiving dividends. The state forestry enterprises of the region submitted applications to the city, village and village councils for the allocation of land plots, only some positive responses were received. It is also worth mentioning the problem of collective farm forests, which are currently not provided for use by forestry enterprises of the region and within which neither protection nor use of forest resources is carried out. The main problem for such forests is their transfer for permanent use to state or communal forestry enterprises, or communal enterprises with created specialized forestry units. Therefore, the optimal way out of such a situation can be considered the creation of communal forestry enterprises in territorial communities of the region, which would have the opportunity to gradually create new forests on such a basis.

**Conclusions.** Thus, the identified problems and trends and problems of meeting the needs of the region in forests and achieving the optimal indicator of forest cover of the region allowed to open an alternative way to solve this problem on the basis of direct managers of potential land plots that can be afforested.

**KEY WORDS:** afforestation, forestry, reforestation, creation of new forests, optimization

### References

1. Forest Code of Ukraine (2022, May 08). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>
2. Order of the Ministry of Environment of 22.07.2021 № 494 "On approval of indicators of regional standards of optimal forest cover of the territory and the minimum necessary protective forest cover of agrolandscapes of Ukraine" (2022, May 08). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1043-21#Text> (in Ukrainian)
3. Decree of the President of Ukraine №228 / 2021 "On some measures for the preservation and reproduction of forests" (2022, May 08). Retrieved from <https://www.president.gov.ua/documents/2282021-39089> (in Ukrainian)
4. Characteristics of forestry of the region. (2022, May 29). Retrieved from <https://ternopillis.gov.ua/upravlinnja/karakteristika-lisovogo-gospodarstva-oblasti.html> (in Ukrainian)
5. Materials of the Department of Ecology and Natural Resources of the Ternopil Regional State Administration on the accounting of self-afforested and suitable for afforestation lands of territorial communities of the Ternopil region as of 10.02.2022. (in Ukrainian)
6. Materials of reports of the Ternopil Regional Department of Forestry and Hunting on the work carried out on the protection, defense, use and reproduction of forest plantations, wildlife, forestry and hunting as of 01.06.2022. (in Ukrainian)
7. Materials of reports of the Department of Ecology and Natural Resources of the Ternopil Regional State Administration on the status of implementation of tasks defined by the Decree of the President of Ukraine dated 07.06.2021 № 228/2021 "On some measures to preserve and restore forests" as of 01.05.2022. (in Ukrainian)
8. Land allotment project (2022, May 28). Retrieved from <https://zemlevporyadnik.com.ua/proekt-zemleustroyu-vidvedennya.html> (in Ukrainian)
9. Creation of new forests in Ternopil region: the issue is relevant for foresters, but not for communities. (2022, May 29). Retrieved from <https://ternopillis.gov.ua/pres-sluzhba/novina/article/stvorennja-novikh-lisiv-na-ternopilshchini-pitannja-aktualne-dlja-lisivnikiv-ale-ne-dlja-gromad.html> (in Ukrainian)
10. Public cadastral map of Ukraine (2022, January 27). Retrieved from [https://map.land.gov.ua/?cc=3568176.376491699,6207013.759603989&z=7&l=pcm\\_pzf,kadastr&bl=ortho10k\\_al](https://map.land.gov.ua/?cc=3568176.376491699,6207013.759603989&z=7&l=pcm_pzf,kadastr&bl=ortho10k_al) (in Ukrainian)
11. Normative monetary valuation of land. (2022, January 29). Retrieved from <https://data.gov.ua/dataset/e306e6a5-eb59-4bc7-aa3e-fb8f12dd7599> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 30.10.2022

The article is recommended for printing 25.11.2022

## БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-07>

УДК (UDC) 574.472

**М. В. ШАМРАЙ<sup>1</sup>,**

аспірант кафедри зоології та екології

e-mail: [anysram@ukr.net](mailto:anysram@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2004-8100>

**О. О. ДІДУР<sup>1</sup>,** канд. біол. наук, старший дослідник,

старший науковий співробітник НДІ біології

e-mail: [didur@ua.fm](mailto:didur@ua.fm) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7425-9013>

<sup>1</sup>Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, 49010, Україна

### БІОТИЧНА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ ДЕНДРОФЛОРИ В УМОВАХ МЕГАПОЛІСУ (м. ДНІПРО, УКРАЇНА)

**Мета.** Оцінка біорізноманіття та з'ясування тенденції до гомогенізації дендрофлори парку Шевченка (м. Дніпро, Україна).

**Методи.** Флористичні методи дослідження: з'ясування таксономічного складу та виділення адвентивної фракції дендрофлори, методи оцінки видового багатства (за індексом Менхініка та індексом Маргалєфа), визначення флористичної спільності (за індексом Жаккара) та флористичної гомогенності (за індексом біотичної дисперсії Коха), методи екологічного аналізу (за біоморфами та екоморфами), фізичні, фізико-хімічні, хімічні методи аналізу ґрунту, біологічна активність ґрунту, статистичні методи опрацювання даних (описові статистики та кореляційний аналіз).

**Результати.** На території досліджених ділянок парку зустрічаються 14 деревних видів, що здатні до насінневого самовідновлення, та які у таксономічному відношенні належать до 12 родів і 10 родин. З них зареєстровано 9 адвентивних видів, представлених 9 родами і 7 родинами з провідною родиною *Sapindaceae*. Встановлено, що в парку Шевченка штучні деревостани здатні до формування достатньої кількості життєздатного підросту автохтонних та інтродукованих (адвентивних) видів. Кількість деревного підросту рослин-адвентів по ділянках за рівнем рекреаційного навантаження розподіляється у такий спосіб: з відсутнім навантаженням – 38,5% від кількості дерев, що самовідновилися, з помірним – 68,2%, з сильним – 80,5%. Індекси видового багатства Маргалєфа і Менхініка деревних видів, що самовідновлюються, для ділянки з сильним рекреаційним навантаженням виявився найбільшим (за рахунок адвентивних видів) порівняно з ділянками з відсутнім і помірним рекреаційним навантаженням. Індекс біотичної дисперсії Коха становить 50,0%. Коефіцієнти кореляції між кількістю алохтонних і автохтонних деревних видів, що самовідновилися для досліджуваних ділянок з сильним, помірним і відсутнім рекреаційним навантаженням є статистично значущими.

**Висновки.** Розрахований індекс біотичної дисперсії свідчить про наявність процесу флористичної гомогенізації деревостану на території парку. У складі адвентивної фракції дендрофлори, що самовідновлюється, спостерігається посилена інвазія *Ailanthus altissima* та трапляння таких видів-неофітів як *Celtis occidentalis* і *Acer negundo*, що вказує на проникнення чужорідних видів у місцеву флору та потенційну загрозу природному флористичному різноманіттю.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** автохтонні та чужорідні види рослин, зелена зона міста, деревні насадження, насінневе самовідновлення

**Як цитувати:** Шамрай М. В., Дідур О. О. Біотична гомогенізація дендрофлори в умовах мегаполісу (м. Дніпро, Україна). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 27. С. 80 – 93. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-07>

© Шамрай М. В., Дідур О. О., 2022



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

**In cites:** Shamray, M. V., & Didur, O. O. (2022). Biotic homogenization of dendroflora in the conditions of the megapolis (Dnipro, Ukraine). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 80 - 93. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-07> (in Ukrainian)

## Вступ

Збереження зелених масивів у містах, зокрема парків є важливою умовою створення сприятливого міського середовища існування людини у зв'язку зі значним антропопресингом. Неоціненна роль парків у великих містах, де умови антропогенного впливу на довкілля з кожним роком ставлять під загрозу екосистеми міста. Тому найактуальнішою є проблема збереження рослинного світу, компоненти якого є найкращими ліками для здоров'я людей і головним скарбом життя [1]. Зелені насадження поліпшують навколишнє середовище людини, створюють комфортні умови існування: регулюють тепловий режим, очищують і звожують повітря, знижують силу вітру, поліпшують санітарно-гігієнічне становище міста [2–5], і відповідно, таким чином впливають на мікрокліматичні умови міста [6–8]. До того ж вони є місцем для відпочинку населення [9].

Під час облаштування парків неможливо уникнути екзотичних для певної місцевості видів (інтродукованих видів). Питання акліматизації та інтродукції рослин завжди цікавили науковців [10–13]. Україна має значні успіхи в інтродукції та акліматизації деревних рослин і кількість інтродукованих в країну видів дерев та кущів у декілька разів перевищує кількість аборигенних видів, що складають природну дендрофлору [14–17].

Завдяки інтродукції відбувається збереження видів природних екосистем інших регіонів світу, збільшується біорізноманіття, покращується життєве середовище [18]. Багато міських флор мають високу частку екзотичних видів, яка може досягати 60% [19, 20]. Крім того, антропогенні зміни умов зростання сприяють поширенню чужорідних видів. Інвазійні (алохтонні) види можуть спонтанно розповсюджуватися і становити значну загрозу місцевим (автохтонним) видам, витісняючи їх з місцевої флори та займаючи їх екологічні ніші [21].

Серед різноманітних функцій зелених насаджень міських територій важливе значення має рекреаційна. Проте, під час експлуатації рекреаційних об'єктів, відсутності постійного догляду спостерігається поступове зниження життєздатності насаджень [22]. У зв'язку з цим розселення інвазійних видів на нові території становить найбільшу загрозу для світового біорізноманіття і тут вже йдеться про біологічні інвазії [23]. Інвазійні види рослин стають значною проблемою, витискаючи місцеві види рослин, що збіднює природну флору і може призвести до біотичної гомогенізації – збільшення подібності між біотами різних територій [1, 24, 25].

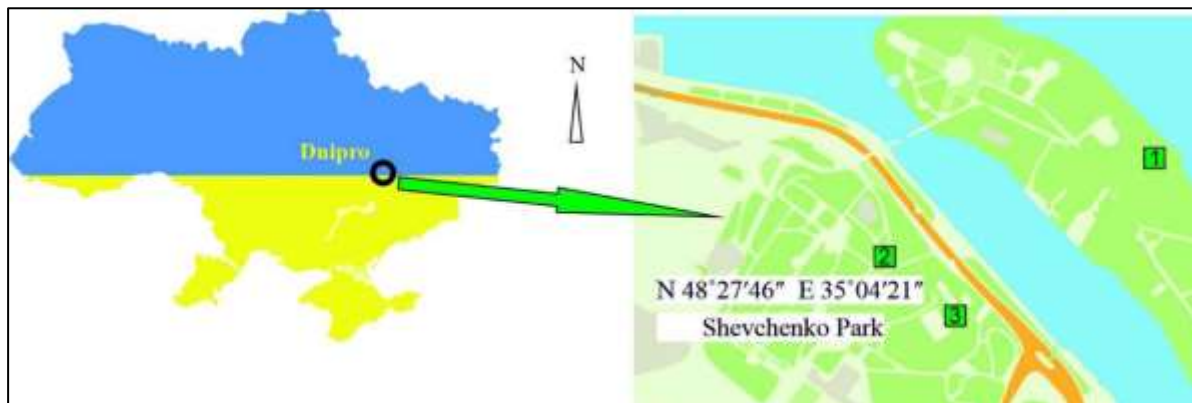
Мета – визначити біорізноманіття та тенденцію до гомогенізації дендрофлори парку Шевченка (м. Дніпро, Україна).

## Об'єкти та методи дослідження

Район досліджень – парк Шевченка знаходиться на правому березі м. Дніпро (N 48°27'46" E 35°04'21") (рис. 1) у межах степового Придніпров'я у підзоні різнотравно-кострицево-ковилових степів [26] і входить до складу відносно урбанізованої території міста, що знаходиться під активним впливом міського середовища. Свою історію парк ім. Т. Г. Шевченка розпочинає з середини 18 ст., коли у 1743 р. землю на крутосхилі Дніпра придбав козак Лазар Глоба. за спогадами старожилів з дерев згадуються акації, дуби, липи, клени, в'язи, каштани, шовковиця та

кущі бузку. За роки Першої світової війни парк був майже повністю знищений. Проте в 1930–1933 рр. він був істотно перепланований і його територія збільшена за рахунок Монастирського острова [27, 28]. Під час Другої світової війни парк знову майже повністю був знищений. Відбудова парку тривала до 1952 р. [29].

Дослідження проведено протягом 2018–2022 рр. Для спостережень обрано три стаціонарні ділянки (рис. 1) розміром 10 м × 10 м. У ході відбору дослідних ділянок головний акцент зроблено на ділянках, де три-



**Рис. 1** – Розміщення пробних ділянок у межах парку Шевченка на території міста Дніпро  
**Fig. 1** – Placement of test sites within Shevchenko Park on the territory of the city of Dnipro

валий час людина не втручалася у процеси розвитку і рослинні угруповання формувалися природним шляхом. Кожна з обраних ділянок характеризується комплексом умов, які впливають на розвиток життєво-важливих показників деревних видів та на їх самовідновлення. Ділянки розташовані на різних рівнях за висотою і характеризуються різним рівнем рекреаційного навантаження (рис. 2): ділянка 1 розташована на Монастирському острові незначного підвищення, поблизу річки Дніпро, ділянка 2 – на схилі південної експозиції (14–30° нахилу), ділянка 3 – на схилі південно-східної, східної експозиції (17–20° нахилу) і характеризу-

ються різним рівнем рекреаційного навантаження (рис. 2), на ділянці 1 – сильне, на ділянці 2 – помірне, на ділянці 3 – відсутнє.

Клімат регіону дослідження – помірно-континентальний, який характеризується теплим літом і помірно м'якою зимою. Проте існує і своя специфіка, пов'язана з надмірною посухою наприкінці літнього періоду та значними коливаннями температури в осінньо-зимовий та зимово-весняний періоди року [30, 31].

У ході дослідження застосовані флористичні методи (інвентаризація таксономічного складу, порівняльний аналіз видового складу рослин аборигенної і інтродукованої



Умовні позначення: 1 – ділянка з сильним рекреаційним навантаженням,  
2 – ділянка з помірним рекреаційним навантаженням,  
3 – ділянка з відсутнім рекреаційним навантаженням

**Рис. 2** – Розташування дослідних ділянок у парку Шевченка (м. Дніпро) за альтитудою і рівнем рекреаційного навантаження

Symbols: 1 – site with heavy recreational load, 2 – site with moderate recreational load, 3 – site with no recreational load

**Fig. 2** – Location of experimental sites in Shevchenko Park (Dnipro) according to altitude and level of recreational load



дендрофлори, визначення флористичної спільності та флористичної гомогенності), методи екологічного аналізу (за біоморфами та екоморфами), фізичні, фізико-хімічні, хімічні методи аналізу ґрунту, статистичні методи опрацювання даних. Визначення видового складу рослин здійснювали за визначником [32], їх номенклатурні назви подано згідно з урахуванням *Angiosperm Phylogeny Group classification* [33].

Коефіцієнт флористичної спільності видів між дослідними ділянками (індекс Жаккара) розраховували за [34, 35] і виражали у відсотках. Для з'ясування рівня флористичної гомогенності застосовували індекс біотичної дисперсії Коха [36].

Екологічну паспортизацію видів рослин здійснювали за екоморфами [26]. Уточнення екоморф проведено згідно з «Аналіз

флори національного природного парку «Орільський» [37]. В основу аналізу біоморфологічної структури покладено систему життєвих форм В. М. Голубєва [38].

Видове багатство флори дослідних ділянок оцінювали за індексами Маргалефа та Менхінка [39, 40].

Для визначення хімічних та фізичних показників ґрунту дослідні зразки були відібрані з його корененасиченого шару (0–25 см).

Результати хімічного аналізу опрацьовані методами описової статистики ( $x \pm SD$ ). Зв'язок між кількістю інтродукованих і автохтонних видів, що самовідновились, оцінювали з використанням коефіцієнту кореляції, його похибки та рівня значущості. Розрахунки здійснювали в пакеті прикладних програм Statistica 6.0.

### Результати дослідження

Ґрунти на пробних площах відповідно до результатів агрохімічних досліджень представлені урбо-чорноземом малогумусовим на лесах, належать до середнього рівня родючості і сприятливі для озеленення зональними дерево-чагарниковими насадженнями. Хімічні та фізичні показники ґрунтів парку Шевченка (шар 0–25 см) з різним рівнем рекреаційного навантаження (перші показники відповідають стану ґрунту ділянки з сильним рекреаційним навантаженням (ділянка 1), з помірним і відсутнім (ділянки 2 і 3), відповідно: вміст гумусу –  $5,25 \pm 0,22\%$ ,  $4,62 \pm 0,44\%$  і  $5,66 \pm 0,28\%$ ; сухий залишок –  $0,047 \pm 0,007\%$ ,  $0,064 \pm 0,0095\%$ ,  $0,056 \pm 0,095\%$ ; рН водн. –  $7,95 \pm 0,13$ ,  $7,84 \pm 0,17$  і  $7,85 \pm 0,19$ ; рН КСІ –  $6,61 \pm 0,63$ ,  $6,67 \pm 0,42$  і  $6,81 \pm 0,45$ ; гранулометричний склад – пісок з кількістю часточок фізичної глини 9,2%, важкий суглинок з кількістю часточок фізичної глини 53,3%, легкий суглинок з кількістю часточок фізичної глини 49,6%.

У деревостані та чагарниковому ярусі на ділянці 1, де спостерігається сильне рекреаційне навантаження, трапляються такі види як *Ailanthus altissima* (Mill.), *Ulmus pumila* L., *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus laevis* Pall., *Fraxinus excelsior* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Acer negundo* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Morus alba* L., *Juglans regia* L.. Висота верхнього ярусу

крон деревних видів рослин у складі деревостану цієї ділянки сягає 10–12 м. Це штучно висаджені рослини *Ailanthus altissima*, *Ulmus laevis*, *Ulmus pumila*, які складають 4,4% від загальної кількості деревних рослин дослідної ділянки та мають вік від 15 до 20 років. Зімкнутість крон у даному насадженні  $76,2 \pm 4,6\%$ , відносна освітленість  $2,63 \pm 1,58\%$ , світлова структура – тіньова. Тип ґрунтового зволоження – свіжуватий. Трав'яне покриття ділянки змішане, від синузальної структури до вкрапель окремих видами, такими як *Ballota nigra* L., *Chelidonium majus* L., *Hordeum jubatum* L., *Chenopodium album* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch..

Проте на цій ділянці також присутня значна кількість молодих за віком рослин (95,6%), переважно самосіву, підросту віком до 7 років, зокрема *Ailanthus altissima* (66,7%), *Ulmus pumila* (6,9%), *Quercus robur* (5,7%), *Acer platanoides* (5,7%), *Ulmus laevis* (4,6%), *Fraxinus excelsior* (3,4%), *Robinia pseudoacacia* (2,3%), *Acer negundo* (1%), *Aesculus hippocastanum* (1%), *Morus alba* (1%), *Juglans regia* (1%), які вирости шляхом природного поновлення. Серед цих рослин інтродукованим є *Ailanthus altissima*, *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Aesculus hippocastanum*, *Morus alba*, *Juglans*



*regia*, які складають 80,5% від загальної кількості деревних рослин, що самовідновилися. Коефіцієнт кореляції між кількістю інтродукованих і автохтонних деревних видів, що самовідновилися, дорівнює 0,73 ( $P = 0,16$ ).

У деревостані та в чагарниковому ярусі ділянки 2, де спостерігається помірне рекреаційне навантаження трапляються види: *Ailanthus altissima* (Mill.), *Acer platanoides* L., *Acer negundo* L., *Morus alba* L., *Celtis occidentalis* L., *Ulmus laevis* Pall., *Fraxinus excelsior* L., *Sambucus nigra* L.

Висота верхнього ярусу крон деревних видів рослин у складі деревостану складає 14–18 м. Це штучно висаджені рослини: *Ulmus laevis*, які складають 1,9% від загальної кількості деревних порід на всій пробній площі з віком близько 20–30 років. Зімкнутість крон у цьому насадженні 53,7±9,8%, відносна освітленість 9,25±3,89%, світлова структура – напівтіньова, тип ґрунтового зволоження – свіжуватий. Трав'яне покриття ділянки утворюють такі види як *Lactuca serriola* L., *Ballota nigra* L., *Chelidonium majus* L., *Hordeum jubatum* L., *Carduus crispus* L.

На цій ділянці під головним пологом присутня значна кількість молодих за віком деревних рослин (98,1%), переважно самосіву, підросту віком до 12 років, зокрема *Ailanthus altissima* (37,1%), *Acer platanoides* (27,2%), *Acer negundo* (19,2%), *Morus alba* (8,6%), *Celtis occidentalis* (3,3%), *Ulmus laevis* (2,0%), *Fraxinus excelsior* (1,3%), *Sambucus nigra* (1,3%), які з'явилися тут шляхом природного поновлення. Серед указаних рослин інтродукованими є такі види: *Ailanthus altissima*, *Acer negundo*, *Morus alba*, *Celtis occidentalis*, які становлять 68,2% від загальної кількості деревних рослин, що самовідновилися. Коефіцієнт кореляції між кількістю інтродукованих і автохтонних деревних видів, що самовідновилися, дорівнює 0,76 ( $P = 0,14$ ).

У деревостані та в чагарниковому ярусі ділянки 3, де відсутнє рекреаційне навантаження трапляються види: *Acer platanoides* L., *Celtis occidentalis* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Ulmus laevis* Pall., *Ulmus pumila* L., *Acer negundo* L., *Morus alba* L., *Fraxinus excelsior* L., *Gleditsia triacanthos* L.

Висота деревостану в насадженні дорівнює 10–15 м. До його верхнього ярусу

входять *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus laevis*, *Acer negundo*, які становлять 5,9% від загальної кількості деревних рослин. Це штучно висаджені рослини з віком 20–30 років. Зімкнутість крон у насадженні 55,6±13,0%, відносна освітленість 6,62±1,98%, світлова структура – напівтіньова, тип ґрунтового зволоження – свіжуватий. Трав'яне покриття ділянки утворюють такі види: *Lactuca serriola* L., *Ballota nigra* L., *Chelidonium majus* L., *Hordeum jubatum* L., *Viola hirta* L.

Проте на цій пробній ділянці також присутня значна кількість молодих за віком рослин (94,1%), переважно самосіву, підросту віком до 10 років, зокрема *Acer platanoides*, *Celtis occidentalis*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus laevis*, *Ulmus pumila*, *Acer negundo*, *Morus alba*, *Fraxinus excelsior*, *Gleditsia triacanthos*, які вирости шляхом природного поновлення. Серед цих молодих рослин інтродукованими є: *Celtis occidentalis*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Acer negundo*, *Morus alba*, *Gleditsia triacanthos*, які становлять 38,5% від загальної кількості деревних рослин, що самовідновилися. Коефіцієнт кореляції між кількістю інтродукованих і автохтонних деревних видів, що самовідновилися, дорівнює 0,77 ( $P = 0,13$ ).

Рослинне угруповання дослідженої території представлено 14 деревними видами, що самовідновилися (табл. 1). Так, на ділянці 1, де рекреаційне навантаження сильне, трапляються 11 деревних видів, що самовідновилися, із них 7 адвентивні види, 4 – аборигенні види. За кількістю домінує *Ailanthus altissima* (66,7%) від загальної кількості самосіву деревних видів.

На ділянці 2, де рекреаційне навантаження помірне, трапляються 8 деревних видів, що самовідновилися, із них 4 адвентивні види, 4 – аборигенні види. За кількістю домінують *Ailanthus altissima* (37,1%) і *Acer platanoides* (27,2%) від загальної кількості самосіву деревних видів.

На ділянці 3, де відсутнє рекреаційне навантаження трапляються 9 деревних видів, що самовідновилися, з них 6 – адвентивні види, 3 – аборигенні види. За кількістю домінує *Acer platanoides* (55,2%) і *Celtis occidentalis* (21,9%) від загальної кількості самосіву деревних видів.

Таблиця 1  
Таксономічний склад рослинних угруповань і біоecологічна характеристика видів рослин  
парку Шевченка

Table 1  
Taxonomic composition of plant groups and bioecological characteristics of plant species  
of the Shevchenko Park

№	Родина	Вид рослин	Біоморфологічна та екологічна характеристика видів	Кількість особин, екз.		
				Ділянка		
				1	2	3
1	Adoxaceae	<i>Sambucus nigra</i> L.	Fr, ввр., nPh, RuSil, OgMs–MgTr, KsMs–MsHg, ScHe, Ent, Endz	–	2	–
2	Cannabaceae	<i>Celtis occidentalis</i> L.	Arb, Ph, SilCu, OgMs–MgTr, MsKs, ScHe, Amph, Adv	–	5	21
3	Fabaceae	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Arb, ст/к., ввр., Ph, SilCu, MsTr, MsKs, He, Ent, Bar, Adv	–	–	1
4	Fabaceae	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Arb, Ph, SilCuRu, Og–MgTr, MsKs, He, Ent, Bal, Adv	2	–	10
5	Fagaceae	<i>Quercus robur</i> L.	Arb, ст/к., ввр., Ph, Sil, OgMs–AlkMgTr, MsKs–MsHg, ScHe, Ent, Synz	5	–	–
6	Juglandaceae	<i>Juglans regia</i> L.	Arb, ввр., Ph, SilCu, MsMgTr, Ms, He, Amph(Ent), Synz, Adv	1	–	–
7	Moraceae	<i>Morus alba</i> L.	Arb, ст/к., ввр., Ph, SilCuRu, MsTr, KsMs, ScHe, Amph, Endz, Adv	1	13	2
8	Oleaceae	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Arb, ст/к., ввр., Ph, Sil, MsMgTr, KsMs–MsHg, ScHe, Ent, Anch	3	2	3
9	Sapindaceae	<i>Acer platanoides</i> L.	Arb, Ph, Sil, MgTr, Ms, ScHe, Ent, Anch	5	41	53
10	Sapindaceae	<i>Acer negundo</i> L.	Arb, Ph, SilCuRu, Og–MgTr, MsKs–HgMs, He, Ent, Anch, Adv	1	29	3
11	Sapindaceae	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Arb, ст/к., ввр., Ph., MsTr, Ms, He, Ent, Bar, Adv	1	–	–
12	Simaroubaceae	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.)	Arb, ввр., Ph, (Sil)Cul, MsTr, KsMs, ScHe, Ent, Anch, Adv	59	56	–
13	Ulmaceae	<i>Ulmus laevis</i> Pall	Arb, ст/к., ввр., Ph, Sil, MsTr, Ms, ScHe, Amph, Anch	6	6	6
14	Ulmaceae	<i>Ulmus pumila</i> L.	Arb, ст/к., к/пар., вр., Ph, SilCuRu, OgMsTr, MsKs, ScHe, Amph, Anch, Adv	7	–	3

Примітка. *Життєві форми*: Arb – дерево, Fr – кущ (чагарник); *Біоморфи*: ст/к. – стрижньокореневий; к/пар. – коренепаростковий, вр. – вегетативнорухливий; ввр. – вегетативнонерухливий; *Екоморфи*: Ph – фанерофіти (дерева високі), nPh – низькі дерева, високі кущі; OgTr – оліготрофи, MsTr – мезотрофи, MgTr – мегатрофи, AlkTr – рослини засоленних ґрунтів; Ks – ксерофіти, Ms – мезофіти, Hg – гігрофіти; He – геліофіти, Sc – сціофіти; Ru – рудеранти, Sil – сільванти, Cu – культуранти (види, які культивуються); *Діаспорохори* (екобіохори): Endz – ендозоохори, Anch – анемохори, Bal – балісти, Bar – барохори, Synz – синзоохори. *Полленохори*: Amph – анемофілія, Ent – ентомофілія. Adv – адвентивний вид.

Note. *Life forms*: Arb – tree, Fr – bush (shrub); *Biomorphs*: art. - tap root; k/par. - rhizome, vr. - vegetatively mobile; national - vegetatively immobile; *Ecomorphs*: Ph – phanerophytes (tall trees), nPh – low trees, tall bushes; OgTr – oligotrophs, MsTr – mesotrophs, MgTr – megatrophs, AlkTr – plants of saline soils; Ks – xerophytes, Ms – mesophytes, Hg – hygrophytes; Ne – heliophytes, Sc – sciophytes; Ru - ruderants, Sil - sylvants, Cu - culturants (species that are cultivated); *Diasporochores* (ecobiochores): Endz – endozoochores, Anch – anemochores, Val – ballists, Bar – barochores, Synz – synzoochores. *Pollenochores*: Amph – anemophily, Ent – entomophilia. Adv is an adventive form.

Індекс видового багатства Маргалефа для ділянки з сильним рекреаційним навантаженням виявився найбільшим (2,22) порівняно з ділянками з помірним і відсутнім рівнем рекреації (1,39 та 1,73) (табл. 2). Таку саму тенденцію можна відмітити й для індексу видового різноманіття Менхініка.

Оцінювання якісної спільності видового складу дослідних ділянок з деревними видами, що самовідновлюються, показало,

що спостерігається тренд до зниження різноманітності флор ділянок за рахунок збільшення кількості спільних видів (табл. 3).

Для встановлення флористичної гомогенності дослідних ділянок розраховано індекс біотичної дисперсії Коха, величина якого становить 50,0%. Це свідчить про достатньо високий рівень флористичної гомогенізації на території парку.

Таблиця 2

Індекси видового багатства досліджених ділянок парку Шевченка на території залежно від рівня рекреаційного навантаження

Table 2

Indexes of species richness of the investigated sites of the Shevchenko Park on the territory depending on the level of recreational load

Індекс	Рекреаційне навантаження		
	Сильне (ділянка 1)	Помірне (ділянка 2)	Відсутнє (ділянка 3)
Маргалефа	2,22	1,39	1,73
Менхініка	1,15	0,64	0,89

Таблиця 3

Якісна спільність дослідних ділянок з деревними видами, що самовідновлюються, за умов різного рівня рекреаційного навантаження парку Шевченка

Table 3

Qualitative community of experimental sites with self-regenerating tree species under conditions of different levels of recreational load in the Shevchenko Park

Рекреаційне навантаження	Сильне (ділянка 1)	Помірне (ділянка 2)	Відсутнє (ділянка 3)
Сильне (ділянка 1)	(11)	<b>6</b>	<b>7</b>
Помірне (ділянка 2)	46,2 %	(8)	<b>6</b>
Помірне (ділянка 3)	53,8 %	54,5 %	(9)

Примітка. У дужках – кількість видів, напівжирним – число спільних видів.

Note. The number of species in parentheses, the number of common species in bold.

## Обговорення

Деградацію та руйнування природних екосистем [41, 42] вважають основною причиною втрати наземного біорізноманіття в усьому світі [43, 44]. У цих дослідженнях автори вплив людини на біорізноманіття, вплив землекористування на різноманіття видів. Як показали Rosenthal et al. [45], рекреаційна функція є однією з найпоширеніших загроз для видів, які перебувають у зоні ризику. У дослідженнях da Rocha et al. [46] показано, що позиції ландшафту (рельєф) не є специфічним чинником, різниця – в практиці землекористування. Цей висновок також підтверджує наш методологічний підхід щодо поділення дослідженої території парку Шевченка в умовах міста на ділянки з різним рівнем рекреаційного навантаження (сильним, помірним і відсутнім).

Lakicevic et al. [47] досліджували дендрофлористичне різноманіття п'яти міських парків, що розташовані у Нові-Сад (Сербія). Ці науковці наголосили, що індекси біорізноманіття надають ключову інформацію для моніторингу видового різноманіття. Вони встановили, що парки виконують важливу функцію для підтримання біорізноманіття в містах, оскільки вони забезпечують середовище проживання місцевої рослинності та підтримують природні процеси в екосистемах. За їх дослідженнями індекс Жаккара між парками варіював від 41,4% до 72,4%, що свідчило про тенденції ймовірної гомогенізації і було пояснено впливом кліматичних умов і методів господарювання. У нашому дослідженні індекс Жаккара між усіма ділян-

ками майже близький за величиною і коливається від 46,2% до 54,5%. Це доводить, що є певна подібність дендрофлор ділянок і спостерігається тенденція до їх гомогенізування, що підтверджується величиною індексу біотичної дисперсії Коха, який дорівнює 50,0%.

У дослідженні Lakicevic et al. [47] відмічено, що інвазійні деревні види можуть вплинути на втрату біорізноманіття в довгостроковій перспективі. Згідно з їхніми даними частка немісцевих видів коливалась в межах від 40% до 57%. Види *Acer negundo*, *Ailanthus altissima* та *Ulmus pumila* через високий потенціал поширення виявилися як найбільш агресивні інвазійні види. Ці автори зауважують, що вказані види є частими інвазійними видами на всій території Сербії. У нашому дослідженні адвентивні види складають від 38,5% до 80,5%, що пояснюється різним рекреаційним навантаженням досліджених ділянок. Переважають види: *Ailanthus altissima*, *Celtis occidentalis*, *Acer negundo*.

Широким колом науковців акцентується на необхідність ретельного відстежування появи інвазійних видів, оскільки вони потенційно можуть вплинути на втрату біорізноманіття в довгостроковій перспективі [48–50] і практичному застосуванні відпові-

дних заходів, переважно включаючи механічне видалення найбільш агресивних інвазійних видів для контролювання їх подальшого поширення [47]. За нашими дослідженнями серед адвентивних видів відмічена позитивна інвазійність *Ailanthus altissima*, *Acer negundo*, *Celtis occidentalis*.

Zarghi & Hosseini [51] досліджували вплив екотуризму на біорізноманіття рослин у зоні Челмір Тандуре (провінція Хорасан-Разаві, Іран). Для характеристики видового багатства національного парку ці науковці застосували індекси Маргалефа і Менхініка і показали, що індекс Маргалефа змінювався від 1,4 до 0,6, а індекс Менхініка від 0,8 до 0,5, відповідно від низького рекреаційного навантаження до високого. Отримані значення показників пов'язують із впливом екотуризму, який можна вважати як одну із форм рекреаційного навантаження. У нашому дослідженні ці показники варіюють від 2,22 до 1,39 (індекс Маргалефа) та від 1,15 до 0,64 (індекс Менхініка) відповідно від високого рекреаційного навантаження до низького. Таку закономірність, на наш погляд, можна пояснити більшою кількістю адвентивних видів на ділянці з сильним рекреаційним навантаженням парку Шевченка.

## Висновки

Встановлено, що на дослідних ділянках з різним ступенем рекреаційного навантаження парку Шевченка в умовах міста (м. Дніпро, Україна) трапляється 14 деревних видів, що здатні до насінневого самовідновлення, та які належать до 12 родів і 10 родин. З них зареєстровано 9 адвентивних видів, представлених у таксономічному відношенні 9 родами і 7 родинами з провідною родиною *Sapindaceae* (у кількісному відношенні). Серед адвентивних деревних видів, для яких у межах регіону дослідження відома інвазійність *Ailanthus altissima* (родина *Simaroubaceae*) проявляє на дослідних ділянках найвищу активність. Його сумарна кількість 115 екз., при цьому на ділянці з сильним рекреаційним навантаженням частка цього виду становить 34,4% від загальної кількості підросту насінневого походження, досліджуваних ділянок, що пояснюється поєднанням екологічних та антропогенних чинників.

Індекси видового багатства Маргалефа і Менхініка деревних видів, що самовідновлюються, для ділянки з сильним рекреаційним навантаженням виявився найбільшим (за рахунок адвентивних видів) порівняно з ділянками, на яких рекреаційне навантаження відсутнє або помірне. Індекс біотичної дисперсії Коха (50,0%) свідчить про наявність процесу флористичної гомогенізації на досліджених територіях парку.

Аналіз біорізноманіття дендрофлори, що самовідновлюється, та її адвентивної фракції для умов парку Шевченка дозволив виявити, окрім позитивної інвазії *Ailanthus altissima* трапляння таких видів-неофітів як *Celtis occidentalis* і *Acer negundo*, що вказує на постійну інвазію чужорідних видів у місцеву флору та потенційну загрозу природному флористичному різноманіттю. У подальшому необхідно прогнозування можливих наслідків інтродукції чужорідних видів у складі дендрофлори парку Шевченка в умовах мегаполіса.

### 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. Шамрай М. В., Пахомов О. Є. Самовідновлення деревних рослин в умовах екотопу лісопарку Дружби міста Дніпро. *Ecology and Noospherology*. 2022. Т. 33, № 1. С. 42–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/032207>
2. Georgi J. N., Dimitriou D. The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece. *Building and Environment*. 2010. Vol. 45, № 6. P. 1401–1414. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.003>
3. Денисюк Н. В., Мельник В. Й. Оцінювання фітомеліоративної ролі зелених насаджень парків і скверів північного району міста Рівне. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30, № 2. С. 38–43. <https://doi.org/10.36930/40300207>
4. Teixeira C. P., Fernandes C. O., Ryan R., Ahern J. Attitudes and preferences towards plants in urban green spaces: Implications for the design and management of Novel Urban Ecosystems. *Journal of environmental management*. 2022. Vol. 314. P. 115103. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115103>
5. Du C., Jia W., Chen M., Yan L., Wang K. How can urban parks be planned to maximize cooling effect in hot extremes? Linking maximum and accumulative perspectives. *Journal of environmental management*. 2022. Vol. 317. P. 115346. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115346>
6. Мельничук Н. Я., Генік Я. В. Еколого-біологічні основи формування садово-паркових композиційних груп парків міста Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 6. С. 9–13. <https://doi.org/10.15421/40290601>
7. Kim Y. J., Brown R. D. A multilevel approach for assessing the effects of microclimatic urban design on pedestrian thermal comfort: The High Line in New York. *Building and Environment*. 2021. Vol. 205. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108244>
8. Zhang J., Gou Z. Tree crowns and their associated summertime microclimatic adjustment and thermal comfort improvement in urban parks in a subtropical city of China. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021. Vol. 59. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126912>
9. Didur O., Kulbachko Y., Ovchynnykova Y. et al. Zoogenic mechanisms of ecological rehabilitation of urban soils of the park zone of megapolis: earthworms and soil buffer capacity. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 2019. Vol. 75, № 1. P. 24–33. <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.75.1.21121>
10. Invasive and introduced plants and animals: Human perceptions, attitudes and approaches to management / Edited by I. D. Rotherham, R. A. Lambert. London: Routledge, 2011. <https://doi.org/10.4324/9780203525753>
11. Trimanto T. Acclimatization of plant collection from east nusa tenggara exploration (egon forest, mutis mount, and camplong park) at purwodadi botanic garden. *Berkala Penelitian Hayati*. 2014. Vol. 19, № 1. P. 5–10. <https://doi.org/10.23869/130>
12. van Kleunen M., Essl F., Pergl J. et al. The changing role of ornamental horticulture in alien plant invasions. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 2018. Vol. 93, № 3. P. 1421–1437. <https://doi.org/10.1111/brv.12402>
13. Potgieter L. J., Gaertner M., O'Farrell P. J., Richardson D. M. Perceptions of impact: Invasive alien plants in the urban environment. *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 229. P. 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.080>
14. Кохно М. А. Інтродукція деревних рослин в Україні: здобутки й перспективи. Інтродукція рослин. 1999. № 1. С. 27–29.
15. Кохно М. А. Історія інтродукції деревних рослин в Україні (короткий нарис). Київ: Фітосоціоцентр, 2007. 67 с.
16. Кучерявий В. П. Інтродукція деревних і чагарникових порід та проблеми їх охорони на прикладі міста Львова. *Науковий вісник: зб. наук.-техн. праць Українського державного лісотехнічного університету*. 2004. Вип. 14.8. С. 134–139.
17. Вітенко Д. В., Шлапак В. П., Вітенко В. А., Баюра О. М. Екологічна пластичність *Maclura pomifera* (Rafin.) Schneid в умовах України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30, № 1. С. 74–78. <https://doi.org/10.36930/40300112>
18. Alvey A. A. Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban forestry & urban greening*, 2006. Vol. 5, № 4. P. 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.09.003>

19. Kowarik, I. Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. *Plant invasions: general aspects and special problems*. 1995. P. 15-38.
20. Pysek P. Alien and native species in Central European urban floras: a quantitative comparison. *Journal of biogeography*. 1998. Vol. 25, №1. P. 155–163. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1998.251177.x>
21. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control / R. N. Mack et al. *Ecological applications*. 2000. Vol. 10, no. 3. P. 689–710. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0689:bicegc\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0689:bicegc]2.0.co;2)
22. Скробала В. М., Данилик Р. М. Вплив урбанізації на зміни природного рослинного покриву. *Питання соціоекології*. 1996. Т. 2. С. 36–37.
23. Macagnan T. A., de Camargo S., de Azevedo Eric C. O. A subtribo *Cranichidinae* Lindl. (*Orchidaceae*) no Estado do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Botany*. 2011. Vol. 34, № 3. P. 447–461. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000300017>
24. Lososová Z., Chytrý M., Tichý L. et al. Biotic homogenization of Central European urban floras depends on residence time of alien species and habitat types. *Biological Conservation*. 2012. Vol. 145. P. 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.11.003>
25. Shamray M. V., Pakhomov O. Y., Kabar A. M. Self-restoration of woody plants in the conditions of the Botanical Garden of Dnipro National University. *Ecology and Noospherology*. 2021. Vol. 32, № 1. P. 47–50. <https://doi.org/10.15421/032108>
26. Бельгард А. Л. Лесная растительность юго-востока Украины. Киев: КГУ, 1950. 264 с.
27. Державний архів Дніпропетровської області, ф. 416, оп.1, спр.62, арк.7-7зв
28. Державний архів Дніпропетровської області, ф. 416, оп.1, спр.176, арк.3
29. Кавун М. Э. Сады и парки в истории Екатеринослава – Днепропетровска. Книга 1. Парк имени Т. Г. Шевченко. Днепропетровск: Герда, 2009. 144 с.
30. Lykholat Y., Khromykh N., Didur O. et al. Modeling the invasiveness of *Ulmus pumila* in urban ecosystems under climate change. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018. Vol. 9, № 2. P. 161–166. <https://doi.org/10.15421/021824>
31. Lykholat Y. V., Didur O. O., Drehval O. A. et al. (). Endophytic community of *Chaenomeles speciosa* fruits: Screening for biodiversity and antifungal activity. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13, № 2. P. 130–136. <https://doi.org/10.15421/022218>
32. Доброчаева Д. Н., Котов М. И., Прокудин Ю. Н. и др. Определитель высших растений Украины. Киев: Наукова думка, 1987. 548 с.
33. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2009. Vol. 161, № 2. P. 105–121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
34. Kunz S. H., Ivanauskas N. M., Martins S. V., Stefanello E. S. D. Analysis of floristic similarity between forests of the Upper Xingu River and forests of the Amazon Basin and of the Planalto Central. *Brazilian Journal of Botany*. 2009. Vol. 32, № 4. P. 725–736. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000400011>
35. Borges R. A. X., Carneiro M. A. A., Viana P. L. Altitudinal distribution and species richness of herbaceous plants in campos rupestres of the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil. *Rodriguesia*. 2011. Vol. 62, № 1. P. 139–152. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201162110>
36. Stikhareva T., Ivashchenko A., Kirillov V., Rakhimzhanov A. Floristic diversity of threatened woodlands of Kazakhstan formed by *Populus pruinosa* Schrenk. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. Vol. 45, № 2. Article 5. <https://doi.org/10.3906/tar-2006-70>
37. Барановський Б. О., Манюк В. В., Іванько І. А., Кармизова Л. О. Аналіз флори національного природного парку «Орільський». Дніпро: Ліра, 2017. 320 с.
38. Тарасов В. В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Дніпропетровськ: Ліра, 2012. 296 с.
39. Battaglia J. P., Kearney C. M., Guerette K. et al. Use of multiple endpoints to assess the impact of captivity on gut flora diversity in Long Island Sound *Fundulus heteroclitus*. *Environmental Biology of Fishes*. 2022. Vol. 105. P. 867–883. <https://doi.org/10.1007/s10641-022-01293-x>
40. Divakara B. N., Nikitha C. U., Nölke N. et al. Tree diversity and tree community composition in northern part of megacity Bengaluru, India. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. P. 1295. <https://doi.org/10.3390/su14031295>
41. Li W., Buitenwerf R., Chequín R. N. et al. Complex causes and consequences of rangeland greening in South America – multiple interacting natural and anthropogenic drivers and simultaneous ecosystem degradation and recovery trends. *Geography and Sustainability*. 2020. Vol. 1, № 4. P. 304–316. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.12.002>
42. Adla K., Dejan K., Neira D., Dragana Š. Chapter 9 - Degradation of ecosystems and loss of ecosystem services. *One Health. Integrated Approach to 21st Century Challenges to Health* / J. C. Prata, A. I. Ribeiro, T. Rocha-Santos (Eds.). Elsevier B.V., 2022. P. 281–327. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822794-7.00008-3>



43. Fernández-Palacios J. M., Kreft H., Irl S. et al. Scientists' warning – The outstanding biodiversity of islands is in peril. *Global ecology and conservation*. 2021. Vol. 31. P. e01847. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01847>
44. von Staden L., Lötter M. C., Holness S., Lombard A. T. An evaluation of the effectiveness of critical biodiversity areas, identified through a systematic conservation planning process, to reduce biodiversity loss outside protected areas in South Africa. *Land Use Policy*. 2022. Vol. 115. P. 106044. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106044>
45. Rosenthal J., Booth R., Carolan N. et al. The impact of recreational activities on species at risk in Canada. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. 2022. P. 100567. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2022.100567>
46. da Rocha J. P. R., Sturião W. P., Nogueira N. O. et al. Soil quality indicators to evaluate environmental services at different landscape positions and land uses in the Atlantic Forest biome. *Environmental and Sustainability Indicators*. 2020. Vol. 7. P. 100047. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100047>
47. Lakicevic M., Reynolds K. M., Orlovic S., Kolarov R. Measuring dendrofloristic diversity in urban parks in Novi Sad (Serbia). *Trees, Forests and People*. 2022. Vol. 8. P. 100239. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100239>
48. Josefsson J., Widenfalk L. A., Blicharska M. et al. Compensating for lost nature values through biodiversity offsetting – Where is the evidence? *Biological Conservation*. 2021. Vol. 257. P. 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109117>
49. Guo Q., Qian H., Zhang, J. Does regional species diversity resist biotic invasions? *Plant Diversity*. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.09.004>
50. Xu H., Liu Q., Wang S. et al. A global meta-analysis of the impacts of exotic plant species invasion on plant diversity and soil properties / *The Science of the total environment*. 2022. Vol. 810. P. 152286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152286>
51. Zarghi A., Hosseini S. M. Effect of ecotourism on plant biodiversity in Chelmir zone of Tandoureh National Park, Khorasan Razavi Province, Iran. *Biodiversitas*. 2014. Vol. 15. P. 224–228. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d150215>

Стаття надійшла до редакції 30.10.2022

Стаття рекомендована до друку 25.11.2022

**M. V. SHAMRAY<sup>1</sup>**,

Graduate Student of the Department of Zoology and Ecology

e-mail: [anym@ukr.net](mailto:anym@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2004-8100>

**O. O. DIDUR<sup>1</sup>**, PhD ( Biology), Senior Researcher,

Senior Research Fellow of Biology Research Institute

e-mail: [didur@ua.fm](mailto:didur@ua.fm) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7425-9013>

<sup>1</sup> *Oles Honchar Dnipro National University*

72 Gagarin, Av., Dnipro, 49010, Ukraine

## **BIOTIC HOMOGENIZATION OF DENDROFLORA IN THE CONDITIONS OF THE MEGAPOLIS (DNIPRO, UKRAINE)**

**Purpose.** Biodiversity assessment and clarification of the trend towards homogenization of the dendroflora of the Shevchenko Park (Dnipro, Ukraine).

**Methods.** Floristic methods of research are applied - elucidation of the taxonomic composition and selection of the adventitious fraction of dendroflora, methods of species richness assessment (according to the Menkinik index and Margalef index), determination of floristic commonality (according to the Jaccard index) and floristic homogeneity (according to the Koch index of biotic dispersion), methods of ecological analysis (by biomorphs and ecomorphs), physical, physicochemical, chemical methods of soil analysis, soil biological activity, statistical methods of data processing (descriptive statistics and correlation analysis).

**Results.** It was established that artificial stands of trees in the Shevchenko Park are capable of forming a sufficient amount of viable undergrowth of autochthonous and introduced (adventurous) species, the ratio of which is 37.0% to 63.0%. The amount of tree growth of adventive sites in the areas according to the level of recreational load is distributed as follows: with no load - 38.5% of the number of self-regenerating trees, with moderate - 68.2%, with strong - 80.5%. The indexes of species richness of Margalef and Menkinik of self-regenerating tree species for the site with a strong recreational load turned out to be the largest (due to adventitious species)

compared to the sites with no and moderate recreational load. Koch index of biotic dispersion is 50.0%. Correlation coefficients between the number of allochthonous and autochthonous tree species that have self-regenerated for the studied areas with strong, moderate and no recreational load are statistically significant (0.73, 0.76, 0.77 respectively).

**Conclusions.** On the territory of the investigated areas of the park, there are 14 tree species capable of seed self-regeneration, which taxonomically belong to 12 genera and 10 families. Of them, 9 adventive species were registered, represented by 9 genera and 7 families with the leading family Sapindaceae. The calculated index of biotic dispersion testifies to the presence of a process of floristic homogenization of the forest stand on the territory of the park. As part of the adventitious fraction of the self-regenerating dendroflora, there is an increased invasion of *Ailanthus altissima* and the occurrence of such neophyte species as *Celtis occidentalis* and *Acer negundo*, which indicates the penetration of alien species into the local flora and a potential threat to natural floristic diversity.

**KEY WORDS:** autochthonous and alien species of plants, green zone of the city, tree plantations, seed self-regeneration

### References

1. Shamray, M., & Pakhomov, O. (2022). Self-renewal of tree plants in the conditions of the ecotope of the forest park of the Friendship of the city of Dnipro. *Ecology and Noospherology*, 33(1), 42-48. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/032207> (In Ukrainian).
2. Georgi, J. N., & Dimitriou, D. (2010). The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece. *Building and Environment*, 45(6), 1401–1414. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.003>
3. Denisyuk, N. V., & Melnyk V. Y. (2020). Assessment of the phytomelioration role of green spaces in parks and squares of the northern district of Rivne. *Scientific bulletin of UNFU*, 30(2), 38–43 <https://doi.org/10.36930/40300207> (In Ukrainian).
4. Teixeira, C. P., Fernandes, C. O., Ryan, R., & Ahern, J. (2022). Attitudes and preferences towards plants in urban green spaces: Implications for the design and management of Novel Urban Ecosystems. *Journal of environmental management*, 314, 115103. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115103>
5. Du, C., Jia, W., Chen, M., Yan, L., & Wang, K. (2022). How can urban parks be planned to maximize cooling effect in hot extremes? Linking maximum and accumulative perspectives. *Journal of environmental management*, 317, 115346. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115346>
6. Melnychuk, N. Y., & Henyk Y. V. (2019). Ekologo-biologichni osnovy formuvannya sadovo-parkovykh grup parkiv mista Lvova. [Ecological and biological bases of the formation of garden and park compositional groups of parks of the city of Lviv]. *Scientific bulletin of UNFU*, 29(6), 9–13 (In Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40290601>
7. Kim, Y. J., & Brown, R. D. (2021). A multilevel approach for assessing the effects of microclimatic urban design on pedestrian thermal comfort: The High Line in New York. *Building and Environment*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108244>
8. Zhang, J., & Gou, Z. (2021). Tree crowns and their associated summertime microclimatic adjustment and thermal comfort improvement in urban parks in a subtropical city of China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126912>
9. Didur, O., Kulbachko, Y., Ovchynnykova, Y., Pokhylenko, A., & Lykholat, T. (2019). Zoogenic mechanisms of ecological rehabilitation of urban soils of the park zone of megapolis: earthworms and soil buffer capacity. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, 75(1), 24–33. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.75.1.21121>
10. Rotherham, I. D., & Lambert, R. A. (Eds.). (2011). *Invasive and Introduced plants and animals: Human perceptions, attitudes and approaches to management* (1st ed.) Routledge, London. <https://doi.org/10.4324/9780203525753>
11. Trimanto, T. (2014). Acclimatization of plant collection from east nusa tenggara exploration (egon forest, mutis mount, and camplong park) at purwodadi botanic garden. *Berkala Penelitian Hayati*, 19(1), 5–10. <https://doi.org/10.23869/130>
12. van Kleunen, M., Essl, F., Pergl, J. et al. (2018). The changing role of ornamental horticulture in alien plant invasions. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 93(3), 1421–1437. <https://doi.org/10.1111/brv.12402>
13. Potgieter, L. J., Gaertner, M., O'Farrell, P. J., & Richardson, D. M. (2019). Perceptions of impact: Invasive alien plants in the urban environment. *Journal of Environmental Management*, 229, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.080>
14. Kohno, M. A. (1999). Introduction of woody plants in Ukraine: achievements and prospects. *Introduction of plants*, 1, 27–29 (In Ukrainian).

15. Kohno, M. A. (2007). History of introduction of woody plants in Ukraine (short essay). Phytosocial Center, Kyiv (In Ukrainian).
16. Kucheriavyi, V. P. (2004). Introduction of tree and shrub species and problems of their protection on the example of the city of Lviv. *Scientific bulletin of UNFU*, 14(8), 134–139 (In Ukrainian).
17. Vitenko, D. V., Shlapak, V. P., & Baiura, O. M. (2020). Ecological plasticity of *Maclura pomifera* (Rafin.) Schneid in the conditions of Ukraine. *Scientific bulletin of UNFU*, 30(1), 74–78. <https://doi.org/10.36930/40300112> (In Ukrainian).
18. Alvey, A. A. (2006). Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban forestry & urban green-ing*, 5(4), 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.09.003>
19. Kowarik, I. (1995). Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. Plant invasions: general aspects and special problems, 15–38.
20. Pyšek, P. (1998). Alien and native species in Central European urban floras: a quantitative comparison. *Journal of Biogeography*, 25(1), 155–163. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1998.251177.x>
21. Mack, R. N., Simberloff, D., Mark Lonsdale, W., Evans, H., Clout, M., & Bazzaz, F. A. (2000). Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological applications*, 10(3), 689–710. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0689:bicegc\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0689:bicegc]2.0.co;2)
22. Skrobala, V. M., & Diniljuk, R. M. (1996). The impact of urbanization on changes in natural vegetation cover. *Issues of socioecology*, 2, 36–37 (In Ukrainian).
23. Macagnan, T. A., de Camargo, S., de Azevedo Eric, C. O. (2011). A subtribo *Cranichidinae* Lindl. (*Orchidaceae*) no Estado do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, 34(3), 447–461. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000300017>
24. Lososová, Z., Chytrý, M., Tichý, L., Danihelka, J., Fajmon, K., Hájek, O., Kintrová, K., Láníková, D., Otýpková, Z., & Řehořek, V. (2012). Biotic homogenization of Central European urban floras depends on residence time of alien species and habitat types. *Biological Conservation*, 145, 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.11.003>
25. Shamray, M. V., Pakhomov, O. Y., & Kabar, A. M. (2021). Self-restoration of woody plants in the conditions of the Botanical Garden of Dnipro National University. *Ecology and Noospherology*, 32(1), 47–50. <https://doi.org/10.15421/032108>
26. Belgard, A. L. (1950). Forest vegetation of the south-east of the Ukrainian SSR. Publishing House of T. G. Shevchenko Kiev State University, Kiev (In Russian).
27. Derzhavnyi arkhiv Dnipropetrovskoi oblasti, f. 416, op.1, spr. 62, 7-7zv
28. Derzhavnyi arkhiv Dnipropetrovskoi oblasti, f. 416, op.1, spr. 176, 3
29. Kavun, M. E. (2009). Gardens and parks in the history of Ekaterinoslav – Dnipropetrovsk. Book 1. (T. G. Shevchenko Park). Gerda, Dnipropetrovsk (In Russian).
30. Lykholat, Y., Khromykh, N., Didur, O., Alexeyeva, A., Lykholat, T., & Davydov, V. (2018). Modeling the invasiveness of *Ulmus pumila* in urban ecosystems under climate change. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9(2), 161–166. <https://doi.org/10.15421/021824>
31. Lykholat, Y. V., Didur, O. O., Drehval, O. A., Khromykh, N. O., Sklyar, T. V., Lykholat, T. Y., Liashenko, O. V., & Kovalenko, I. M. (2022). Endophytic community of *Chaenomeles speciosa* fruits: Screening for biodiversity and antifungal activity. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(2), 130–136. <https://doi.org/10.15421/022218>
32. Dobrochayeva, D. N., Kotov, M. I., Prokudin, Y. N. et al. (Eds.) (1987). Manual of higher plants of Ukraine. Naukova dumka, Kyiv (In Russian).
33. APG III (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105–121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
34. Kunz, S. H., Ivanauskas, N. M., Martins, S. V., & Stefanello, E. S. D. (2009). Analysis of floristic similarity between forests of the Upper Xingu River and forests of the Amazon Basin and of the Planalto Central. *Brazilian Journal of Botany*, 32(4), 725–736. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000400011>
35. Borges, R. A. X., Carneiro, M. A. A., & Viana, P. L. (2011). Altitudinal distribution and species richness of herbaceous plants in campos rupestres of the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil. *Rodriguesia*, 62(1), 139–152. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201162110>
36. Stikhareva, T., Ivashchenko, A., Kirillov, V., & Rakhimzhanov, A. (2021). Floristic diversity of threatened woodlands of Kazakhstan formed by *Populus pruinosa* Schrenk. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(2), Article 5. <https://doi.org/10.3906/tar-2006-70>
37. Baranovski, B. O., Maniuk, V. V., Ivanko, I. A., & Karmyzova, L. O. (2017) Analysis of the flora of the Orilskyi National Nature Park. Lira, Dnipro (In Ukrainian).
38. Tarasov, V. V. (2012). Flora of the Dnepropetrovsk and Zaporozhye regions. Vascular Plants with their Biology-ecological characteristic. Lira, Dnipropetrovsk (In Ukrainian).

39. Battaglia, J. P., Kearney, C. M., Guette, K. et al. (2022). Use of multiple endpoints to assess the impact of captivity on gut flora diversity in Long Island Sound *Fundulus heteroclitus*. *Environmental Biology of Fishes*, 105, 867–883. <https://doi.org/10.1007/s10641-022-01293-x>
40. Divakara, B. N., Nikitha, C. U., Nölke, N., Tewari, V. P., & Kleinn, C. (2022). Tree diversity and tree community composition in northern part of megacity Bengaluru, India. *Sustainability*, 14, 1295. <https://doi.org/10.3390/su14031295>
41. Li, W., Buitenwerf, R., Chequín, R. N., Florentín, J. E., Salas, R. M., Mata, J. C., Wang, L., & Niu, Z., & Svenning J.-C. (2020). Complex causes and consequences of rangeland greening in South America – multiple interacting natural and anthropogenic drivers and simultaneous ecosystem degradation and recovery trends. *Geography and Sustainability*, 1(4), 304–316. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.12.002>
42. Adla, K., Dejan, K., Neira, D., & Dragana, Š. (2022). Chapter 9 - Degradation of ecosystems and loss of ecosystem services. In: J. C. Prata, A. I. Ribeiro, & T. Rocha-Santos (Eds.), *One Health. Integrated Approach to 21st Century Challenges to Health* (pp. 281–327). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822794-7.00008-3>
43. Fernández-Palacios, J. M., Kreft, H., Irl, S., Norder, S., Ah-Peng, C., Borges, P., Burns, K. C., de Nascimento, L., Meyer, J. Y., Montes, E., & Drake, D. R. (2021). Scientists' warning – The outstanding biodiversity of islands is in peril. *Global ecology and conservation*, 31, e01847. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01847>
44. von Staden, L., Lötter, M. C., Holness, S., & Lombard, A. T. (2022). An evaluation of the effectiveness of critical biodiversity areas, identified through a systematic conservation planning process, to reduce biodiversity loss outside protected areas in South Africa. *Land Use Policy*, 115, 106044. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106044>
45. Rosenthal, J., Booth, R., Carolan, N., Clarke, O., Curnew, J., Hammond, C., Jenkins, J., McGee, E., Moody, B., Roman, J., Rossi, K., Schaefer, K., Stanley, M., Ward, E., & Weber, L. (2022). The impact of recreational activities on species at risk in Canada. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 100567 <https://doi.org/10.1016/j.jort.2022.100567>
46. da Rocha, J. P. R., Sturião, W. P., Nogueira, N. O., Passos, R. R., Donagemma, G. K., Rangel, O. J. P., & Bhattarai, R. (2020). Soil quality indicators to evaluate environmental services at different landscape positions and land uses in the Atlantic Forest biome. *Environmental and Sustainability Indicators*, 7, 100047. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100047>
47. Lakicevic, M., Reynolds, K. M., Orlovic, S., & Kolarov, R. (2022). Measuring dendrofloristic diversity in urban parks in Novi Sad (Serbia). *Trees, Forests and People*, 8, 100239. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100239>
48. Josefsson, J., Widenfalk, L.A., Blicharska, M., Hedblom, M., P`art, T., Ranius, T., & Ockinger, E. (2021). Compensating for lost nature values through biodiversity offsetting – Where is the evidence? *Biological Conservation*, 257, 109–117. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2021.109117>
49. Guo, Q., Qian, H., & Zhang, J. (2022). Does regional species diversity resist biotic invasions? *Plant Diversity*. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.09.004>
50. Xu, H., Liu, Q., Wang, S., Yang, G., & Xue, S. (2022). A global meta-analysis of the impacts of exotic plant species invasion on plant diversity and soil properties. *The Science of the total environment*, 810, 152286. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152286>
51. Zarghi, A., & Hosseini, S. M. (2014). Effect of ecotourism on plant biodiversity in Chelmir zone of Tandoureh National Park, Khorasan Razavi Province, Iran. *Biodiversitas*, 15, 224–228. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d150215>

The article was received by the editors 30.10.2022

The article is recommended for printing 25.11.2022



## ПРАКТИКА МІЖНАРОДНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-08>

УДК (UDC): 502.5:712.4/.5](47+57)

**Н. В. МАКСИМЕНКО**, д-р геогр. 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, 6, м. Харків, 61022, Україна  
**А. Д. ШКАРУБА**, канд. геогр. наук, ст. наук. співр.  
e-mail: [anton.shkaruba@emu.ee](mailto:anton.shkaruba@emu.ee) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2536-2123>  
*Естонський університет природничих наук,*  
*Kreutzwaldi 1, Тарту, 51006, Естонія*

### ЩОДО ВИДАННЯ КОЛЕКТИВНОЇ МОНОГРАФІЇ ЗА ПРОЕКТОМ МІЖНАРОДНОГО ВИШЕГРАДСЬКОГО ФОНДУ

Колективом авторів із України, Чехії, Польщі, Словаччини, Угорщини, Нідерландів та Естонії в ході виконання проекту Міжнародного Вишеградського фонду “Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4” в Навчально-науковому інституті екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна підготовлена однойменна монографія. Автори спільно досліджували, як країни V4 впоралися з інституційною та інфраструктурною спадщиною, пов’язаною з зелено-блакитною інфраструктурою в містах, аналізували актуальні ситуації з виробництва знань та управління в Україні, розробили та описали критичні роздуми й політичні рекомендації та підготували монографію, метою якої є розповсюдження результатів серед широкого кола національних і міжнародних груп зацікавлених сторін.

Усі автори мають відповідний рівень кваліфікації та досвіду для вивчення підходів, шляхів та практик подолання проблем інституційної та інфраструктурної спадщини, пов’язаної з зелено-блакитною інфраструктурою у містах, для проведення досліджень, спрямованих на аналіз відповідних ситуацій з розвитку знань та управління в Україні, що є запорукою розробки та розвитку критичних міркувань та ефективних рекомендацій щодо розробки та розвитку політики.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** монографія, зелено-блакитна інфраструктура, країни Вишеградської групи, інституційна та інфраструктурна спадщина

**Як цитувати:** Максименко Н. В., Шкаруба А. Д. Щодо видання колективної монографії за проектом Міжнародного Вишеградського Фонду. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 27. С. 94 – 100. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-08>

**In cites:** Maksymenko, N. V., & Shkaruba, A. D. (2022). Regarding the publication of a collective monograph under the project of the International Vysegrad Fund. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 94 - 100. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-08> (in Ukrainian)

#### Вступ

Після розпаду соціалістичного блоку країни Вишеградської групи (країни V4): Чехія, Угорщина, Польща та Словаччина) мали початкові умови, які з точки зору політики містобудування та стратегій впровад-

ження, дуже схожі на ті, що мала Україна під час розпаду СРСР; тим не менш вони вже пройшли довгий шлях, розмірковуючи над своєю спадщиною у сфері планування та обираючи шляхи розвитку міст та територій.

---

© Максименко Н. В., Шкаруба А. Д., 2022



[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/)

Коли справа дійшла до розвитку та управління зеленою та блакитною інфраструктурою (ЗБІ), у них були як яскраві успіхи, так і невдачі. Останні розробки зосереджені на концепціях, що враховують природні підходи/рішення, зелені та блакитні смарт-рішення, участь зацікавлених сторін та методи краудсорсингу. Досвід країн V4 надзвичайно корисний для громад у сфері містобудування в Україні, оскільки контекст (як історичний, так і поточний) успішних прикладів і уроків дуже актуальний для періоду політичного та соціально-економічного переходу, який все ще триває в країнах Східного партнерства. Саме ці практики та академічний контекст досліджували й обмірковували партнери проекту «Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського

простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду V4" (GAP проекту).

Очевидно, що відповідні академічні спільноти та широкі кола практиків і фахівців, які займаються розробкою та управлінням ЗБІ в Україні, вже мають базові знання та досвід. Однак їм бракує нестандартної точки зору на проблеми розвитку та обслуговування ЗБІ, які пов'язані з аспектами політики, управління та технологій, а також у них може бути відсутнє послідовне розуміння та бачення ефективних рішень. Цю проблему можна вирішити шляхом спільного розвитку та обміну знаннями за умови, що знання є корисними та актуальними; в той же час для різних аудиторій застосовуються відповідні формати знань та інструменти комунікації.

### Основна частина

Результатом спільних досліджень вчених України, Чехії, Польщі, Словаччини, Угорщини, Нідерландів та Естонії стала україно- та англійською мовою колективна монографія «Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4 / Green & Blue Infrastructure in Post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience», що вийшла в світ у видавництві Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна за редакцією Н. Максименко та А. Шкаруба (рис. 1).

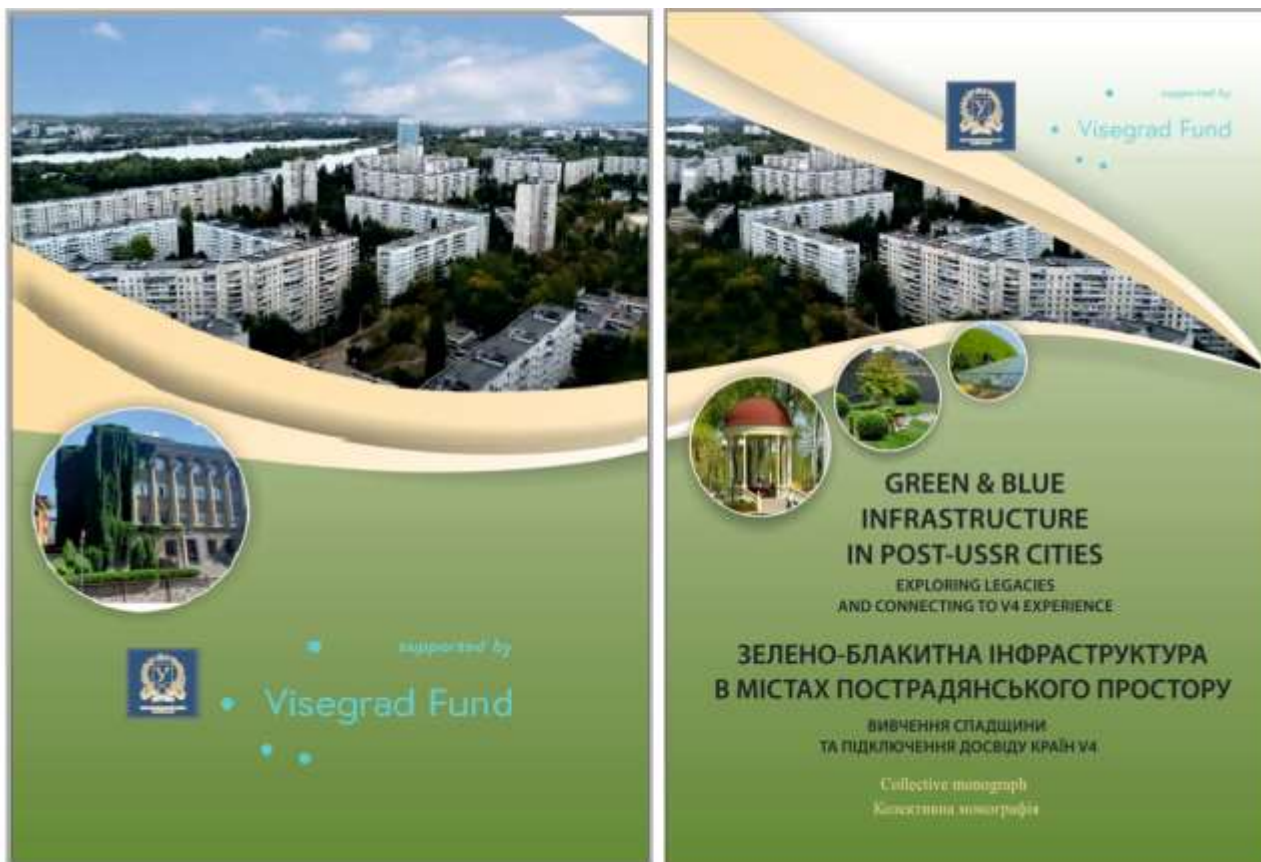
Структура монографії може графічно бути представлена у вигляді триєдиного дослідження (рис. 2), що спрямоване на розгляд проблем, пов'язаних з імплементацією в Україні ідеї сприйняття рослинного і водного кластеру урбоекосистем як єдиного цілого, а саме – зелено-блакитної інфраструктури. Для цього виділені три напрямки: оцінка наслідків адміністративно-командної системи організації міського середовища, характеристика власне зелено-блакитної інфраструктури в країнах – учасницях проекту та оцінка можливості використання інновацій у містобудівному плануванні.

У розділі 1.1. *Радянське місто як унікальний приклад містобудівного планування та розвитку* автори А. Скриган і А. Шкаруба надають докладний огляд публікацій вчених із країн Центральної та Східної Європи, що

присвячені аналізу феномену «радянського» міста. На конкретних прикладах доведено, що містобудівне планування в соціалістичних містах мало на меті демонстрацію досягнень соціалізму, його безумовних переваг у плануванні міст з виокремленням ділового центру, промислових зон, «спальних» районів та паркових і лісопаркових зон. У фіналі автори приходять до висновку, що зараз інституційна трансформація формально завершена, соціально-економічні умови повністю змінилися, але постсоціалістичні міста все ще продовжують трансформації міського середовища, просторової та функціональної структури.

*Розділ 1.2. Сучасна просторова структура пострадянських міст* (автори Н. Максименко, А. Клещ і Н. Черкашина) присвячений розгляду питань формування і функціонування територіальної структури природокористування м. Харкова. На основі аналізу супутникових знімків території дослідження виділено 6 типів природокористування за соціально-економічною функцією (селітебний, транспортний, захисно-рекреаційний, індустріальний, аграрний типи) та характером покриву (аквально-лісовий тип), а в їх межах – 32 види, що мають чітко виражені відмінні ознаками організації територій або мають специфічне цільове призначення, що значними чином впливає на їх форму експлуатації та процеси функціонування.





**Рис. 1** – Обкладинка монографії  
**Fig. 1** – Cover of the monograph



**Рис. 2** – Структура монографії  
**Fig. 2** – The structure of the monograph

Використовуючи ГІС-методи створена серія картографічних моделей територіальної структури природокористування у м. Харків та зроблено картометричні розрахунки площі кожного з ідентифікованих видів та типів природокористування. Отримані результати можуть бути використані як підґрунтя розвитку ЗБІ в сенсі визначення співвідношень забудованих поверхонь та заасфальтованих до озеленених ділянок та відкритих ґрунтів, тощо.

Особлива роль у монографії відведена розділу 1.3. *Сучасні проблеми, виклики та загрози пострадянських міст*, який розділений на 2 підрозділи:

- ✓ У першому з них - 1.3.1. *Проблеми функціонування зеленої інфраструктури сучасних міст (на прикладі м. Харків)*, авторський колектив (І. Коваль, Е. Кочанов, С. Бурченко, К. Уткіна і А. Гречко) надав ретроспективний аналіз проблеми зменшення площі зеленої інфраструктури у м. Харків, назвав у якості причин розширення транспортної мережі, житлову забудову, реконструкцію зелених зон з використанням «сірих» рішень та рекреацію. Детально на конкретних прикладах зроблено оцінку внеску кожного негативного чинника в загальний стан озеленення.

- ✓ Другий підрозділ - 1.3.2. *Екологічні аспекти антропогенної трансформації флори м. Харкова* (К. Звягінцева) повністю присвячено проблемам екологічних наслідків антропогенного навантаження на флористичний склад урболандшафтів, представлено зонування міста Харкова на основі якого запропоновано екотопологічну структуру урбанofлори Харкова з детальною характеристикою виділених еко-топів.

Розділ 2. Зелено-блакитна інфраструктура міст має логічний поділ на три підрозділи, що присвячені висвітленню загальних питань організації ЗБІ у містах, досвіду європейських та українських міст (рис.3).

В розділі 2.1. *Зелена інфраструктура та міське лісове господарство: стратегічне управління для пом'якшення та адаптації до зміни клімату в містах* (А. Скриган, А. Шкаруба) автори відповідають на запитання: Що означає «зелена інфраструктура»? З яких елементів вона складається? Чому зелена інфраструктура така важлива для міст? Крім того, значна увага приділена питанням розробки стратегії розвитку зеленої інфраструктури для адаптації міст до змін клімату. Наведено конкретні рекомендації для проектування озеленення міст з метою посилення ефекту охолодження, регулювання поверхневого стоку та збереження біорізноманіття.

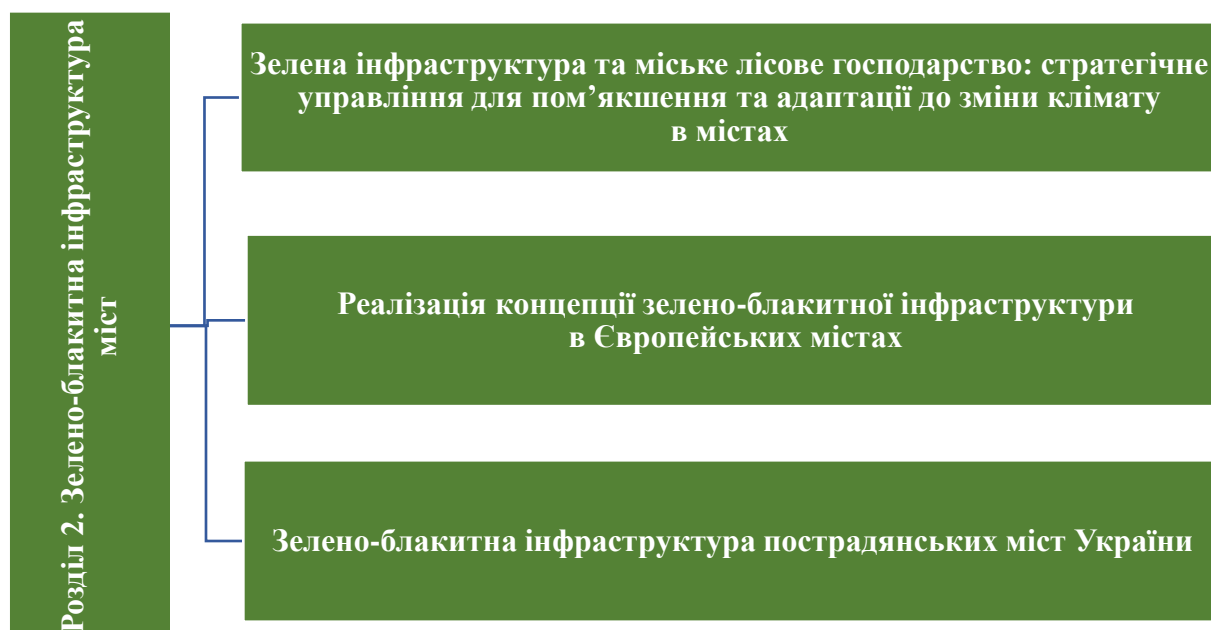


Рис. 3 – Структура розділу 2  
Fig. 3 – Structure of chapter 2

Авторами розділу 2.2. *Реалізація концепції зелено-блакитної інфраструктури в Європейських містах* є вчені і практики з різних країн, які на конкретних прикладах показали можливості розбудови зелено-блакитної інфраструктури, а саме:

- ✓ Газони з польовими квітами в місті Чеське-Будейовіце, *Чехія* (Е. Семанчікова)
- ✓ Практичні дослідження зелено-блакитних інфраструктурних рішень, Вроцлав, *Польща* (Ю. Рубашек);
- ✓ Комплексний проект розвитку зелено-блакитної інфраструктури в Дьорі, *Угорщина* (Л. Йона);
- ✓ Автостанція Ниви в Братиславі, *Словаччина* (М. Бігуньова, П. Пасечний);
- ✓ Ревіталізація струмка Дубова, місто П'єштяни, *Словаччина* (М. Бігуньова, Е. Вернерова);
- ✓ Зелена інфраструктура та природні рішення в *Естонії* (К. Сепп)

За аналогічним принципом побудовано розділ 2.3 *Зелено-блакитна інфраструктура пострадянських міст України*. Він включає підрозділи, що присвячені аналізу зелено-блакитної інфраструктури різних за своїми географічними умовами, промисловим потенціалом, традиціями ведення міського господарства та ще багатьма ознаками міст, а саме:

- ✓ Для міста Харкова зроблено аналіз особливостей організації зеленої інфраструктури міста (Н. Максименко, С. Бурченко, Е. Кочанов) та оцінку поверхневих водойми і джерел, як складових блакитної інфраструктури (Н. Максименко, В. Пересадько);
- ✓ Для міста Львова розглянута історія і сучасність організації зеленої інфраструктури (М. Назарук);
- ✓ Для міста Тернопіль проаналізовано гео-екологічні особливості зелено-блакитної інфраструктури (Л. Царик, Р. Кузик);
- ✓ Для міста Івано-Франківськ зроблено опис сучасної програми організації зелено-блакитної інфраструктури (Р. Василюк);
- ✓ Для міста Луцьк основний акцент зроблено на особливостях функціонування блакитної інфраструктури (А. Некос, М. Боярин);
- ✓ Для карпатського міста Яремче зроблено аналіз екологічних аспектів формування

блакитної інфраструктури (М. Гопцій, Л. Кущенко).

У третьому розділі *Трансфер знань та практик. Інновації у містобудівному плануванні та управлінні* європейські і українські автори запропонували результати своїх наукових вишукувань для розв'язання проблем з організацією зелено-блакитної інфраструктури у пострадянських містах.

В розділі 3.1. *ГІС - аналіз та Зелена мережа на прикладі проекту VivaGrass. Естонія* (К. Сепп) наведено результати проекту, до якого створено інтегрований інструмент планування Viva Grass. Він дозволив визначити просторове розташування екосистемних послуг та пакетів екосистемних послуг, інтегрувати структуру екосистемних послуг у процеси планування зеленої мережі та зв'язати екосистемне управління та процеси планування в інтегрованому інструменті планування.

Розділ 3.2 *Перспективи використання ландшафтно-екологічного планування у містах* (Н. Максименко, Н. Черкашина) охоплює всі аспекти особливостей реалізації алгоритму ландшафтно-екологічного планування в урболандшафтах. Наведено характеристику кожного з етапів: інвентаризаційного, оціночного, аналізу конфліктів природокористування, узагальнення і прогноз згідно цільової концепції використання території та оптимізаційного етапу. На конкретних прикладах реалізації ландшафтно-екологічного планування в районах м. Харків показано результати виконання різних етапів дослідження.

В розділі 3.3. *Інновації в організації зеленої інфраструктури м. Харків та перспективи її розвитку* (Н. Максименко, О. Гололобова) розглянуто конкретні напрямки впровадження інновацій, а саме:

- ✓ введення альтернативного виду газону – ялівцевого;
- ✓ досягнення композиційної різноманітності за допомогою високоштамбових великомірних саджанців декоративних дерев,
- ✓ удосконалення естетики міського середовища за допомогою модульних квітників та інші.

В розділі 3.4. *Вуглецева сміть урбо-екосистем як можливість пом'якшення кліматичних змін (можливості оцінки та управління)* (І. Шпаківська) доведено значення

розрахунку вуглецевої ємності зелених насаджень та наведено результати оцінки актуальної вуглецевої ємності урбоєкосистеми м. Івано-Франківська (Україна) з врахуванням кількості та стану зелених насаджень.

Контролю якості блакитного кластеру ЗБІ присвячено *розділ 3.5 Адаптація інтегрального показника екологічної безпеки води в умовах функціонування ЗБІ міста (А. Некос, В. Безсонний)*. Обґрунтовано використання інтегральних показників екологічного стану водних об'єктів для підвищення екологічної безпеки поверхневих вод, а для проведення оперативного моніторингу доведено дієвість показників кисневої характеристики.

Значимість ЗБІ для регулювання теплового острова у містах не потребує доказів. Саме тому до монографії включено *розділ 3.6. Визначення особливостей теплового режиму міста за допомогою даних дистанційного зондування (на прикладі м. Харків) (А. Ачасов, А. Кузьміна)*, в якому вивчення температурного режиму здійснювалось шляхом аналізу даних дистанційного зондування програмними засобами ГІС та розрахунок кореляції між значеннями температури та рослинним індексом NDVI. Визначення температури земної поверхні відбувалось за допомогою ГІС-програми QGIS та плагінів для неї. На конкретному фактичному матеріалі зроблено оцінку територіальної диференціації теплових показників по м. Харків.

*Розділ 3.7 Інновації в організації, дослідженні та управлінні водоохоронними зонами річок у великих містах (А. Клець, Н. Максименко)* присвячено дослідженню водоохоронних зон річок у межах м. Харків, які мають пострадянські риси і потребують суттєвого вдосконалення. Для формування управлінських рішень щодо забезпечення виконання водоохоронними зонами екологічних функцій проведено комплексне дослідження їх рельєфу із застосуванням ГІС-технологій, виявлено «слабкі» точки і розроблено шляхи їх усунення. В розділі представлено результати конкретних досліджень для річок Харків та Уди у вигляді графіків, діаграм і карт.

Важливою складовою інновацій є використання нетрадиційних методів дослідження ЗБІ, що продемонстровано у *розділі 3.8. Потенціал використання дендрохронологічної інформації для оцінки*

*інтенсивності рекреаційного навантаження в насадженнях зеленої зони м. Харків (І. Коваль, В. Воронін)*. Автори пропонують у якості індикаторів стану дубових і соснових насаджень під впливом антропогенного навантаження використовувати:

- ✓ коефіцієнт кореляції між кільцевими хронологіями дерев,
- ✓ коефіцієнт чутливості,
- ✓ авторегресію першого порядку,
- ✓ коефіцієнт варіації,
- ✓ результати аналізу кореляції між кільцевими хронологіями дерев,
- ✓ кліматичні фактори.

На конкретних прикладах доведено, що дендрохронологічні методи дають змогу за порівняно стислий термін оцінити реакцію радіального приросту дерев на екологічні зміни в зеленій інфраструктурі.

В *розділі 3.9. Інноваційний комплексний метод ймовірнісно-прогностичного моделювання характеристик весняного водопілля та оцінки екологічних ризиків урболандшафтів басейну Дніпра в умовах мінливості клімату (В. Овчарук, Ж. Шакирзанова, Н. Кичук, М. Гопцій)* на основі всебічного аналізу сучасного стану математичного моделювання гідрологічних процесів в Україні та світі, обґрунтована авторська математична модель формування, розрахунку та довгострокового прогнозування характеристик водопілля. Її використання при виникненні загрози затоплення урболандшафтів та картографічним представленням можливих ризиків надає підґрунтя для розробки планів дій відповідних підрозділів по безпечній евакуації та захисту населення. Розділ містить великий обсяг фактичного матеріалу, авторських викладок та картографічних моделей щодо басейну Дніпра.

Загалом, кожен розділ супроводжується списком використаних літературних та електронних джерел інформації. Всі розділи мають по дві анотації – українською і англійською мовами. Також двома мовами підписано багатий ілюстративний матеріал монографії.

Редактори монографії висловлюють щиру вдячність поважним рецензентам такого об'ємного рукопису:

**Массімо Сарголіні**, професору міського і регіонального планування, Директору Школи архітектури і дизайну Університету Камеріно, Італія;

**Сонько Сергію Петровичу**, доктору географічних наук, професору, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету садівництва, м. Умань, Україна;

**Тітенко Ганні Валеріївни**, кандидату географічних наук, доценту, директору Навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна.

#### Бібліографічний опис монографії

**Англійською:** Green & Blue Infrastructure in Post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience : collective monograph / Ed. by Nadiya V. Maksymenko, Anton D. Shkaruba. – Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 2022. – 400 p.

**Українською:** 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. – 400 с.

**N. V. MAKSYMENKO**, DSc (Geography), Prof.,  
Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Area  
e-mail: [maksymenko@karazin.ua](mailto:maksymenko@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>  
*V. N. Karazin Kharkiv National University,*  
6, Svobody Sq., 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,*  
Kreutzwaldi 1, 51006 Tartu, Estonia

#### REGARDING THE PUBLICATION OF A COLLECTIVE MONOGRAPH UNDER THE PROJECT OF THE INTERNATIONAL VYSEGRAD FUND

The team of scientists from Ukraine, the Czech Republic, Poland, Slovakia, Hungary, the Netherlands and Estonia in the framework of the International Visegrad Fund project «Green & Blue Infrastructure in Post-USSR Cities: exploring legacies and connecting to V4 experience» implemented in the Karazin Institute of Environmental Sciences, V.N. Karazin Kharkiv National University was prepared a Collective monograph with the same title.

Authors explored the ways V4 countries have coped with institutional and infrastructural legacies related to Green & Blue infrastructure in cities, have analysed relevant knowledge production and governance situations in Ukraine, have come up with critical reflections and policy recommendations, and have written this monograph for dissemination of findings to a broad range of national and international stakeholder groups.

All authors with excellent expertise in a full range of issues related to the GBI development and management. They are fully qualified to explore the ways V4 countries coped with institutional and infrastructural legacies related to Green & Blue infrastructure in cities, to run research for making analysis of the relevant knowledge for production and governance of various situations in Ukraine, to develop critical reflections and policy recommendations.

**KEY WORDS:** monograph, Green & Blue infrastructure, Visegrad Group countries, institutional and infrastructural legacies

#### References

Maksymenko, N.V., & Shkaruba A.D.(Eds). (2022). Green & Blue Infrastructure in Post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience : collective monograph. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <https://ecology.karazin.ua/mizhnarodna-dijalnist/v4-gbi/> (in Ukrainian)



The publication was prepared in the framework of International Visegrad Fund project «Green & Blue Infrastructure in post-USSR cities: exploring legacies and connecting to V4 experience».

Публікація підготовлена в рамках проекту Міжнародного Вишеградського фонду «Зелено-блакитна інфраструктура в містах пострадянського простору: вивчення спадщини та підключення до досвіду країн V4»

Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: «Екологія» є збірником наукових робіт, який включено до Переліку ВАК фахових видань, в яких можна публікувати основні результати дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора і кандидата географічних наук (спеціальності 101,103) та біологічних наук (спеціальності 091,101).

До публікації приймаються статті, які написані українською або англійською мовами згідно з правилами для авторів і отримали позитивні рекомендації рецензентів.

#### ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Електронна версія оформляється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 11, міжрядковий інтервал 1,0, всі поля по 2,5 см. Жирним шрифтом виділяються підзаголовки у статті; курсив допускається лише у виняткових випадках.

Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті. Ілюстрації подаються чорно-білими. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці.

Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання – по ширині.

Відступ для абзацу – 1,00 см.

Для статей необхідно вказати УДК (UDC): (зліва, розмір 11), ініціали та прізвище автора, науковий ступінь, звання та посаду (розмір 11, по центру), e-mail та <https://orcid.org/> усіх співавторів, повну назву установи та її адреса (розмір 10, по центру).

Анотація має бути структурованою для експериментальних робіт, тобто обов'язково вказати:

**Мета. Методи. Результати. Висновки.**

Текст статті має відповідати вимогам ВАК. Посилання на джерела у статті давати в прямокутних дужках [ ] із зазначенням номера в порядку посилання у тексті, а в окремих випадках і сторінок.

**Список використаної літератури** обов'язково оформляється за ДСТУ 8302:2015, обов'язково містити джерела, що опубліковані не більше 5 років тому: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Кількість посилань має бути не менше 15. Обов'язково вказувати DOI або URL-електронну адресу посилань.

**Через 2 інтервали також** подати прізвище, науковий ступінь, наукове звання та посаду, e-mail та <https://orcid.org/>, організацію, її повну адресу, назву статті, розширену анотацію та ключові слова англійською мовою: розмір 10, міжрядковий інтервал 1,0. Анотація повинна бути побудована як реферат у реферативних журналах та відражати суть експериментів, основні результати та їх інтерпретацію. Для експериментальних статей подати структуровані резюме де має бути вказані слова: **Purpose. Methods. Result. Conclusion.**; та **KEY WORDS** (ключові слова) – 5-6 слів

Подати також **References**, за стандартом APA (прізвище, ініціали, назва - англійською, та **Retrieved from** або **DOI**, наприкінці у дужках (In Ukrainian)

**Адреса редакції:** навчально-науковий інститут екології, 4 поверх, к. 483а,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
пл. Свободи, 6, Харків, Україна, 61022  
тел. +38-057- 707-53-86 e-mail: [visnykecology@karazin.ua](mailto:visnykecology@karazin.ua) [ecology.journal@karazin.ua](mailto:ecology.journal@karazin.ua)  
Власний сайт: <http://visnecology.univer.kharkov.ua/>

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



Наукове видання

**ВІСНИК ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
імені В. Н. КАРАЗІНА**

**СЕРІЯ «ЕКОЛОГІЯ»  
Вип. 27**

**Збірник наукових праць**

Українською та англійською мовами

Макетування та комп'ютерне верстання  
Баскакова Л. В.

Підписано до друку 30.11.2022 Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub> . Папір офсетний.  
Друк ризографічний

Ум. друк. арк. 10,6. Обл.-вид. арк. 11,9  
Наклад 100 пр. Зам.

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

Надруковано ХНУ імені В. Н. Каразіна  
61022, Харків, майдан Свободи, 4.  
Тел. 705-24-32  
Видавництво

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09