

БАКТЕРИЦИДНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБЛЕНОЇ ПОРТАТИВНОЇ СИСТЕМИ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ СВІТЛОДІОДІВ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

¹ Леонов Ю.І.

¹ Верголяс М.Р.

² Григорчук О.М.

¹ Зоріна О.В.

³ Балко О.І.

³ Балко О.Б.

¹ Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

³ Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного Національної академії наук України», м. Київ, Україна

■ **МЕТОЮ** даної роботи є визначення бактерицидної ефективності моделі портативної системи для обробки води ультрафіолетом з використанням світлодіодів, розробленої авторами, на моделі санітарно-показового мікроорганізму *Escherichia coli*. У роботі використовували розроблену авторами модель портативної системи для очистки води УФ-випромінюванням з LED-світильниками та довжиною хвилі УФ-випромінювання 279 нм. Мікробіологічні дослідження проводили на санітарно-показовому мікроорганізмі *Escherichia coli* (штам УКМ В-906) з колекції ДУ «Інститут мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України». В результаті проведених досліджень встановлено, що розроблена модель відповідає необхідним умовам: є портативною, енергоефективною (працює від звичайного павербанка чи сонячного акумулятора), при експозиції в 10 хв повністю інактивує *Escherichia coli* у найвищій концентрації, для менших концентрацій є ефективною експозиція навіть у 5 хв. При перевірці поглинання УФ-випромінювання спектрів А, В, С кварцовою трубкою, що повинна дозволити УФ-випромінюванню проходити крізь неї з меншою втратою енергії, було встановлено, що воно було найменшим (менше 5%) на відстані 20 см. Отже, метод знезараження УФ-випромінювання з LED-світильниками та довжиною хвилі 279 нм є ефективним для поліпшення показників епідемічної безпеки питної води, а відповідні портативні установки можуть бути перспективними для отримання безпечної питної води в умовах надзвичайних ситуацій.

■ **КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *УФ-випромінювання, E. coli, LED-світильники, портативна система.*

BACTERICIDAL EFFICIENCY OF A PORTABLE UV-VIPROMINE BATH SYSTEM BASED ON LEDS FOR NON-CONTAMINATED WATER

¹ Leonov Yu.I.

¹ Vergolyas M.R.

² Grigorchuk O.M.

¹ Zorina O.V.

³ Balko O.I.

³ Balko O.B.

¹ State Institution «Marzиеv Institute for Public Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

³ D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

■ **THE GOAL** of this study was to determine the bactericidal effectiveness of a portable UV-LED water treatment system, developed by the authors, using the sanitary indicator microorganism *E. coli*. The authors' portable UV water purification system model, which uses UV-LED lights with a wavelength of 279 nm, was used for this study. Microbiological research was conducted on the sanitary indicator microorganism *E. coli* (strain UKM B-906) from the collection of the D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology. The results of the study showed that the developed model meets the necessary criteria: it is portable and energy-efficient (powered by a standard power bank or solar battery). At a 10-minute exposure, it completely inactivates *E. coli* at the highest concentration. For lower concentrations, even a 5-minute exposure is effective. When testing the absorption of UV radiation in the A, B, and C zones by a quartz tube, which is supposed to allow UV radiation to pass through with minimal energy loss, it was found that the absorption was lowest (less than 5%) at a distance of 20 cm. Therefore, the method of disinfection using UV-LEDs with a wavelength of 279 nm is effective for improving the epidemiological safety of drinking water. Portable systems based on this technology could be a promising solution for obtaining safe drinking water during emergencies.

■ **KEYWORDS:** *UV radiation, E. coli, LED lights, portable system.*

ВСТУП

Кліматичні перетворення мають значний негативний вплив на забезпеченість територій водними ресурсами: їх обміління, зниження рівня ґрунтових вод, погіршення якості води тощо [1, 2]. Через зазначене в Україні, як і багатьох європейських країнах, особливо актуальним є забезпечення населення питною водою гарантованої якості [3]. Особливо гостро проблема забруднення питної води стоїть в регіонах з відсутністю належної інфраструктури водопостачання. Зокрема, внаслідок бойових дій значно зростає ризик забруднення води водних джерел та питної, знижується надійність водопостачання та погіршується доступ до питної води [6, 7]. Це може призводити до поширення захворювань як неінфекційної, так і інфекційної етіології [4, 5].

Для попередження захворюваності населення через споживання води невідповідної якості за показниками епідемічної безпеки в ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» передбачено контроль її якості за 11 відповідними показниками. У поверхневих водах виявляють спочатку 5 з них (загальне мікробне число, загальні коліформи, *Escherichia coli*, ентерококи, коліфаги), а потім інші (патогенні ентеробактерії, ентеровіруси тощо, паразитологічні показники). Основним мікробіологічним критерієм безпеки питної води вважається відсутність бактерій групи кишкової палички (коліформ) на 100 мл води (санітарно-показовий мікроорганізм). *Escherichia coli* використовується як індикатор фекального забруднення з кількох причин: постійно присутня у кишківнику людини та тварин; легко культивується в лабораторних умовах; чутлива до змін у довкіллі, швидко гине у чистій воді; її наявність може свідчити про можливу присутність небезпечних патогенів [8].

З метою знезараження в більшості країн ЄС питну воду хлорують (хлором, гіпохлоритом натрію), використовуючи цей метод в якості основного або в поєднанні з іншими методами (діоксидом хлору, озonom, перманганатом калію, ультрафільтрацією, УФ-випромінювання) [9, 10]. УФ-випромінювання — сучасний та безпечний метод, що має переваги: не змінює склад та смак води; не потребує додавання хімікатів; знищує більшість бактерій, вірусів, цист та спор. Цей метод є перспективним по відношенню до патогенних мікроорганізмів. Інактивація бактерій здійснюється переважно

за рахунок незворотних пошкоджень ДНК [11]. Ефективність та безпечність знезараження питної води відповідним методом залежить від товщини шару води та її якості, інтенсивності УФ-випромінювання, часу його дії, гідродинамічних характеристик, матеріалів, конструкції пристрою, наявності надійного джерела його живлення та підзарядки тощо [12].

Сучасні портативні УФ-системи з використанням світлодіодів, що прості у разі транспортування та використання, є альтернативним методом знезараження питної води в польових умовах, зокрема, в умовах надзвичайних ситуацій. Такі пристрої мають багато переваг порівняно із ртутними лампами УФ-випромінювання. Проведені поодинокі дослідження окремих конструкцій УФ-систем з використанням світлодіодів для індивідуального використання свідчать про їх ефективність та/або доцільність конструктивного вдосконалення [12].

Таким чином, на сьогодні є актуальним удосконалення та вивчення особливостей ефективної дії сучасних портативних пристроїв для УФ-випромінювання, що працюють з використанням світлодіодів.

Мета роботи. Метою даної роботи є визначення бактерицидної ефективності моделі портативної системи для обробки води ультрафіолетом з використанням світлодіодів, розробленої авторами, на моделі санітарно-показового мікроорганізму *Escherichia coli*.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

В роботі використовували розроблену авторами модель портативної системи для очистки води УФ-випромінюванням з LED-світильниками та довжиною хвилі УФ-випромінювання 279 нм. Дослідження проводили на санітарно-показовому мікроорганізмі *Escherichia coli* (штам УКМ В-906) з колекції ДУ «Інститут мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного».

Для створення експериментальної установки використали малопотужні (0,2 Вт) ультрафіолетові світлодіоди (UV-C), розраховані на напругу 5–8 В та силу струму до 30 мА, які дають короткохвильове УФ-випромінювання у діапазоні електромагнітного спектру із піковою довжиною хвилі 275 нм, що є бактерицидною зоною.

Для забезпечення рівномірного УФ-випромінювання в усіх напрямках ми розмістили UV-C-світлодіоди симетрично на перфорованих

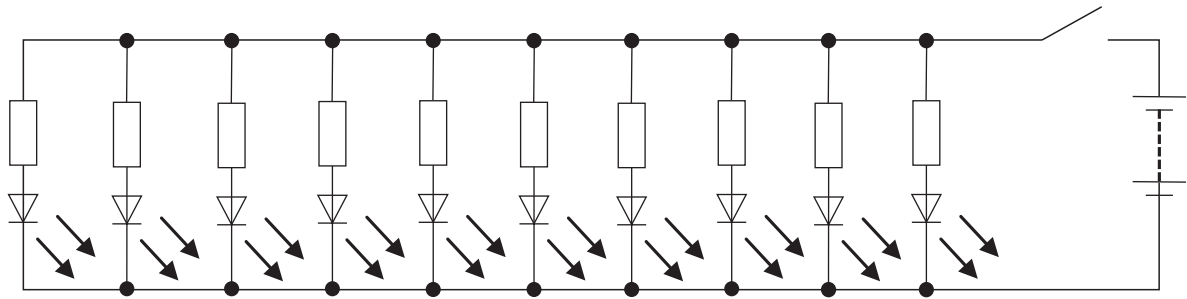


Рис. 1. Умовна електрична схема модуля збірки з УФ-світлодіодів

гранях пластмасової прямокутної трикутної призми, оскільки вони мають мініатюрні розміри (3,5 мм × 3,5 мм × 1,05 мм) і дають УФ-випромінювання з кутом 120°. Готовий модуль збірки з УФ-світлодіодів помістили в циліндричну трубку, виготовлену з кварцового скла, прозорого для ультрафіолетових променів.

В якості джерела живлення використовували звичайний павербанк MI Power Bank 2S 10000 mAh (model № PLM09ZM), що забезпечило мобільність приладу (рис. 1, 2).

Авторами було досліджено поглинання УФ-випромінювання спектрів А, В, С кварцовою трубкою на відстані 5, 10, 20 см. Кварцова трубка — це один з ключових компонентів УФ-пристрою. Вона знижує ймовірність пошкодження УФ-ламп та повинна дозволити УФ-випромінюванню проходити крізь неї з меншою втратою енергії. Проведено перевірку бактерицидної дії моделі пристрою на санітарно-показовому мікроорганізмі *Escherichia coli* (штам УКМ В-906) з колекції ДУ «Інститут мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного». Підготовка розведень та перевірка титрів проводилась на базі відділу антибіотиків ІМВ ім. Д.К. Заболотного. Для перевірки бактерицидної ефективності використовували титри

Escherichia coli 10⁹, 10⁸, 10⁷, 10⁶, 10⁵, 10⁴. Розведення чистої культури готували на стерильно-му фізіологічному розчині (100 мл).

Обробку ультрафіолетом за допомогою моделі портативної системи на основі LED світильників проводили, занурюючи систему у розчин на 30 с, 1 хв, 5 хв та 10 хв.

Облік результатів проводили з допомогою тест-системи CompactDry™ ЕС, виробництва Shimadzu Diagnostics Corp. (Японія). На кожну точку використовували 4 тест-системи. На кожну чашку наносили 1 мл розчину та інкубували при 37°C 24 години.

Після інкубації проводили аналіз результатів шляхом підрахунку кількості колонієутворюючих одиниць (КУО).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У роботі авторами було проведено перевірку поглинання всіх спектрів УФ-випромінювання кварцовою трубкою. Вимірювання було проведено за допомогою радіометрів АРГУС-04, -05, -06 (табл. 1).

Як можна бачити в табл. 1, поглинання всіх спектрів УФ-випромінювання кварцовою трубкою на відстані 20 см було мінімальним та складало для: УФ-А — 17 мВт, УФ-В — 3 мВт, УФ-С — близько 60 мВт. Для випромінювання спектру В на відстані 20 см було найменшим (3 мВт), як і фон випромінювання (4 мВт).

За даними літератури, час експозиції для інактивації *Escherichia coli* у воді УФ при довжині хвилі 276 нм складає 5 хв [13], а при довжині хвилі 280 нм — 30 с [14]. Відповідно, для експерименту було обрано 4 точки: 30 с, 1 хв, 5 хв та 10 хв.

На рис. 3 представлено контрольні чашки з відповідними титрами.

Як видно з рис. 3, найбільші титри (10⁸ та 10⁹) показали зону суцільного росту (ЗСР), таким чином підтверджено максимальну присутність *Escherichia coli* в розчині на момент

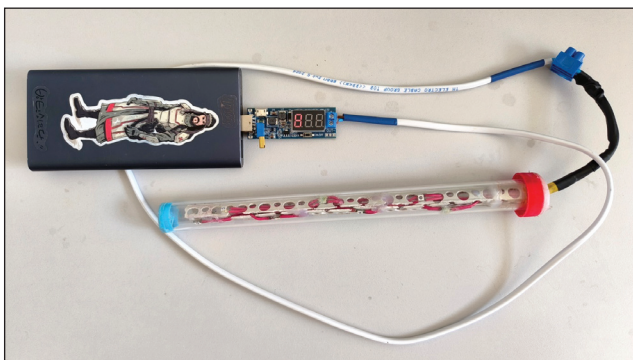


Рис. 2. Зовнішній вигляд експериментальної моделі УФ-пристрою для знезараження води в увімкненому стані

Таблиця 1. Результати поглинання УФ-випромінювання спектрів А, В, С кварцовою трубкою

Спектр оптичного випромінювання	Відстань, см	Фон випромінювання, мВт	Поглинання випромінювання кварцовою трубкою, мВт
УФ-А	5	53	55
		53	55
		53	58
	10	36	38
		36	38
		36	38
	20	16	17
		17	17
		16	17
УФ-В	5	31	29
		31	29
		32	29
	10	11	10
		11	11
		11	11
	20	4	3
		4	3
		4	3
УФ-С	5	563	541
		562	539
		563	538
	10	177	174
		180	174
		177	169
	20	75	63
		75	65
		77	63

Примітка. УФ-А — випромінювання спектру А, довжина хвилі — 315–400 нм; УФ-В — випромінювання спектру В, довжина хвилі — 280–315 нм; УФ-С — випромінювання спектру С, довжина хвилі — 100–280 нм.

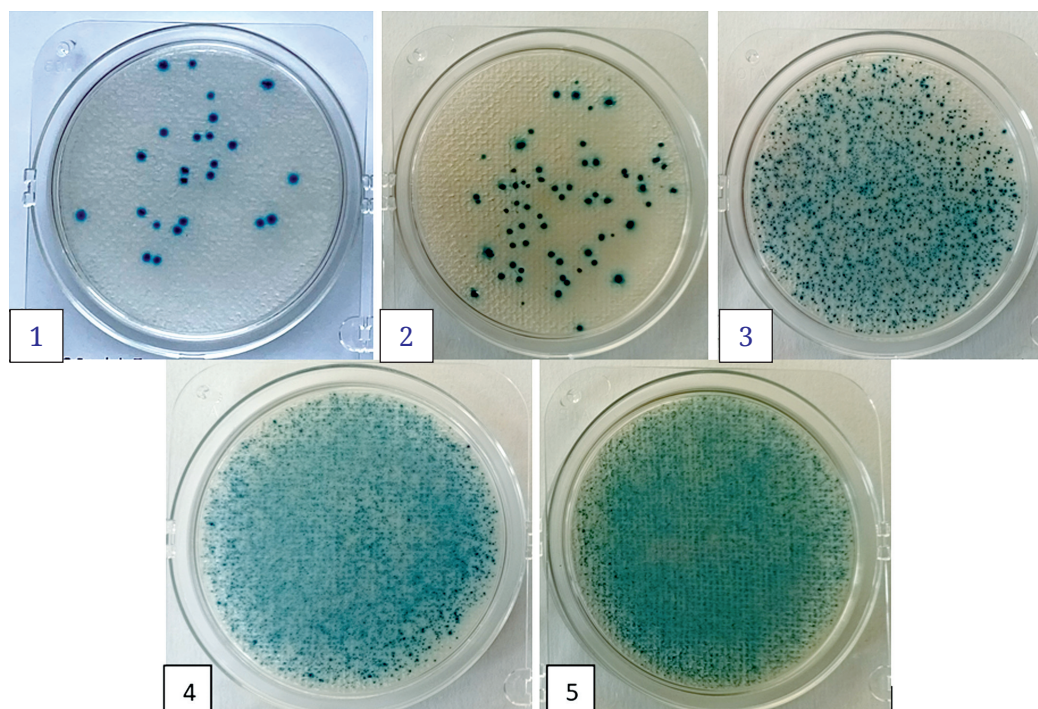


Рис. 3. Контрольні посіви: 1 — титр 10^5 ; 2 — титр 10^6 ; 3 — титр 10^7 ; 4 — титр 10^8 ; 5 — титр 10^9

Таблиця 2. Кількість КУО *Escherichia coli* (штам УКМ В-906) після застосування портативної системи для дезінфекції води

	Титр <i>Escherichia coli</i> в розчині				
	10 ⁹	10 ⁸	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁵
Контроль	ЗСП	ЗСП	566	580	96
30с	ЗСП	ЗСП	521	556	84
1 хв	ЗСП	ЗСП	395	472	52
5 хв	150	3	0	0	0
10 хв	0	0	0	0	0

проведення опромінення з допомогою розробленої моделі портативної системи для дезінфекції води.

В результаті проведених нами досліджень були отримали дані, зазначені в табл. 2.

Як видно з табл. 2, ефективнішим часом експозиції є 10 хвилин. Навіть найбільші концентрації *Escherichia coli* було успішно інактивовано за цей час. Менші концентрації (10⁶ та 10⁵) були ефективно інактивовані вже впродовж 5 хв. При цьому загальні втрати електроенергії джерела живлення (MI Power Bank 2S) склали менше 25% на 90 хв роботи пристрою.

Таким чином, ми можемо стверджувати, що модель портативної системи для знезараження води ультрафіолетом з LED-світильниками має ефективну бактерицидну дію проти *Escherichia coli* при експозиції 10 хв, при довжині хвилі 279 нм, навіть при титрі 10⁹. При цьому система має прекрасні показники енергоефективності, що дозволяє використовувати її з павербанком місткістю 10000 mAh не менше 20 разів поспіль.

ВИСНОВКИ

1. Авторами розроблено модель портативної системи для дезінфекції води за допомогою УФ-випромінювання з використанням LED-світильників, що має довжину хвилі 279 нм. Систему розміщено у герметичній кварцовій трубці. При перевірці поглинання УФ-випромінювання спектрів А, В, С кварцовою трубкою було встановлено, що воно було найменшим (менше 5 мВт) для випромінювання зони В на відстані 20 см.

2. Розроблена модель пристрою УФ-випромінювання з LED-світильниками та довжиною хвилі 279 нм має:

- ефективну бактерицидну дію щодо *Escherichia coli* у водному розчині при експозиції 10 хв для титрів 10⁸ та 10⁹, для менших концентрацій ефективною також є експозиція у 5 хв;

- прийнятні показники енергоефективності, що дозволяє багаторазово використовувати її за відсутності електроенергії та наявності павербанку чи сонячного акумулятора в умовах надзвичайних ситуацій.

REFERENCES

1. **Hryhorenko LV.** Hihiiienichne obgruntuvannia do tsilnosti vykorystannia doochyshchenoi pytnoi vody sered silskykh i miskykh respondentiv Dnipropetrovskoi oblasti [Hygienic justification of the feasibility of using purified drinking water among rural and urban respondents of the Dnipropetrovsk region]. *Hihiiena naselenykh mist* [Hygiene of Population Places]. 2015;66:65–74 (Ukrainian).
2. **Romashchenko M, Husyev Y, Shatkovskiy A, et al.** Impact of climate change on water resources and agricultural production. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo [Land Reclamation and Water Management]*. 2020;(1):5–22. doi: 10.31073/mivg202001-235
3. **Romashchenko M, Shevchenko A, Shevchuk S. et al.** Prospects and problems of using local water resources for irrigation in the basins of small rivers of the forest-steppe of Ukraine. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo [Land Reclamation and Water Management]*. 2023;(1):75–83. doi: 10.31073/mivg202301-351
4. **Zorina OV, Surmasheva OV, Ivanko OM, Polka OO, Mavrykin YeO.** Analiz pidkhodiv do otsinky ta zastosuvannia dezinfektsiinykh zasobiv dlia pytnoi vody v Ukraini ta krainakh YeS, u tomu chysli krainakh NATO [Analysis of approaches to the assessment and application of disinfectants for drinking water in Ukraine, EU and NATO countries]. *Ukrainskyi zhurnal viiskoi medytsyny [Ukrainian Journal of Military Medicine]*. 2025;6:48–56. doi: 10.46847/ujmm.2025.1(6)-048 (Ukrainian).
5. **Ivanko OM., Zorina OV, Deputat YuM.** Analiz perspektiv implementatsii v Ukraini AMEDP-4.9 «Vymohy do prydatnosti pytnoi vody pid chas polovykh operatsii i v razi vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii» [Analysis of the prospects for the implementation in Ukraine of AMEDP-4.9 «Requirements for the suitability of drinking water during field operations and in the event of emergencies»]. *Ukrainskyi zhurnal viiskovoï medytsyny [Ukrainian Journal of Military Medicine]*. 2022;3(3):31–3. doi: 10.46847/ujmm.2022.3(3)s (Ukrainian).
5. **Polka NS, Fedorenko VI, Plastunov VA.** Problemy zberezhenia dovkillia i zdorovia natsii u materialakh XV zizdu hihiienistiv Ukrainy [Problems of enviro-

ment safering and population healht based on reports at the XV congress of hygienists Ukraine. *Dovkillia ta zdorovia [Environment and Health]*. 2013;2(65):68–80. Available from: <http://www.dovkil-zdorov.kiev.ua/env/65-0068.pdf> (Ukrainian).

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Дослідження виконано без зовнішнього фінансування. Автори не отримували грантів чи іншої фінансової підтримки від будь-яких установ чи компаній.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

При написанні статті генеративний штучний інтелект не використовувався.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ ТА ЇХ ВНЕСОК

ЛЕОНОВ Юрій: концептуалізація, дослідження, методологія, спостереження. ORCID: 0000-0001-6625-2786.

ВЕРГОЛЯС Майя: курація даних, формальний аналіз. ORCID 0000-0002-3617-0947.

ГРИГОРЧУК Олександр: ресурси, методологія. ORCID 0000-0002-6139-1231.

ЗОРИНА Олеся: адміністрування проекту, написання — перегляд та редагування. ORCID 0000-0002-1557-8521.

БАЛКО Олександр: ресурси, методологія. ORCID 0000-0003-2635-3464.

БАЛКО Ольга: ресурси, методологія. ORCID 0000-0002-1306-2046.

7. **Smith R, Nieuwenhuijsen M, Wright J, Raynor P, Cocker J, Jones K.** Validation of trichloroacetic acid exposure via drinking water during pregnancy using a urinary TCAA biomarker. *Environ Res.* 2013;**126**:145–51. doi: 10.1016/j.envres.2013.05.004

SOURCES OF FUNDING

The research was carried out without external financial support. The authors did not obtain grants or funding from any institutions or companies.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of a conflict of interest.

APPLICATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

No generative artificial intelligence was employed in the writing of this article.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS AND THEIR CONTRIBUTION

LEONOV Yurii: conceptualization, investigation, methodology, supervision. ORCID: 0000-0001-6625-2786.

VERGOLIAS Mayia: data curation, formal analysis ORCID: 0000-0002-3617-0947.

HRYHORCHUK Oлександр: resources, methodology. ORCID: 0000-0002-6139-1231.

ZORINA Olesia: project administration, writing — review & edition. ORCID: 0000-0002-1557-8521.

BALKO Oлександр: resources, methodology. ORCID: 0000-0003-2635-3464.

BALKO Olha: resources, methodology. ORCID: 0000-0002-1306-2046.

ЗОРИНА Олеся: 02094, Україна, м. Київ, вул. Павла Полуботка Гетьмана, 50. Тел.: +38 050 932 3650; e-mail: wateramnu@ukr.net.

ZORINA Olesia: 50 Pavlo Polubotka Hetman Street, Kyiv, 02094, Ukraine. Phone: +38 050 932 3650; e-mail: wateramnu@ukr.net.



Отримано 17.11.2025
Переглянуто 26.12.2025
Схвалено до публікації 19.03.2026

Received 17.01.2025
Revised 26.12.2025
Approved for publication 19.03.2026