

UDK 502.1:504/628.1:628.4

Tetiana Tkachenko, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Labor Protection and Environment

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2105-5951> **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

Viktoriia Sakhnovska, PhD student of the Department of Labor Protection and Environment

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2489-7276> **e-mail:** vsakhnovskaya@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

EXPRESS MONITORING OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN UKRAINIAN MUNICIPAL WASTEWATER SYSTEMS DURING WAR

Abstract. *The article is devoted to the study of the environmental safety of wastewater systems in Ukraine, which is characterized by a critical state due to global environmental changes, aging infrastructure, and military aggression. National and international legislation, including the Geneva Conventions regulating the protection of wastewater facilities, has been analyzed. It has been found that military actions have led to large-scale infrastructure destruction, water resource pollution, and a humanitarian crisis.*

A categorization of wastewater systems based on the impact of military actions is proposed, which allows for the adaptation of response measures to the specific conditions of each region, from express monitoring and prevention in relatively safe zones to the restoration of destruction and preliminary forecasting in active combat zones. An express monitoring method for the environmental safety of wastewater systems has been developed, based on a limited list of key indicators, ensuring efficiency and reliability. Each indicator reflects critical aspects of environmental safety, from the depletion of water resources and soil pollution to energy efficiency and risks to public health. The quantitative assessment of indicators in points, according to the level of environmental hazard, allows for the systematization of data and the identification of the most vulnerable areas of the system. This approach provides a scientifically sound basis for the development of effective measures to minimize the negative impact on the environment and ensure the sustainable functioning of wastewater systems in emergency situations.

A retrospective express monitoring of the environmental safety of wastewater systems in Ukraine has been conducted. It has been determined that during the ten-year period of armed conflict in Ukraine, there has been a statistically significant increase in the level of environmental risk in nine regions, while in five regions the indicator remains relatively stable. In the remaining regions, a trend towards risk reduction has been observed. However, the overall environmental situation is characterized as critical, as the vast majority of regions show environmental hazard indicators that exceed permissible norms. The functioning of wastewater systems in these regions poses a threat to the environment and public health, potentially leading to a large-scale environmental catastrophe.

Keywords: *wastewater systems; military actions; monitoring; environmental safety; indicators; planned and urgent measures.*

Т.М. Ткаченко, В.М. Сахновська

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

ЕКСПРЕС-МЕТОД МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

***Анотація.** Стаття присвячена дослідженню екологічної безпеки систем водовідведення в Україні, яка характеризується критичним станом через глобальні екологічні зміни, старіння інфраструктури та військову агресію. Проаналізовано національне та міжнародне законодавство, зокрема Женевські конвенції, що регламентують захист об'єктів водовідведення. Виявлено, що воєнні дії призвели до масштабних руйнувань інфраструктури, забруднення водних ресурсів та гуманітарної кризи.*

Запропонована категоризація систем ВВ за впливом воєнних дій, що дозволяє адаптувати заходи реагування до специфічних умов кожного регіону, від експрес-моніторингу та попередження у відносно безпечних зонах до відновлення руйнувань та попереднього прогнозування в зонах активних бойових дій. Розроблено метод експрес-моніторингу екологічної безпеки систем водовідведення, що базується на обмеженому переліку ключових індикаторів, забезпечує оперативність та достовірність. Кожен індикатор відображає критичні аспекти екологічної безпеки, від виснаження водних ресурсів та забруднення ґрунтів до енергетичної ефективності та ризиків для здоров'я населення. Кількісна оцінка індикаторів у балах, згідно з рівнем екологічної небезпеки, дозволяє систематизувати дані та виявити найбільш вразливі ділянки системи. Цей підхід забезпечує науково обґрунтовану основу для розробки ефективних заходів з мінімізації негативного впливу на довкілля та забезпечення сталого функціонування систем водовідведення в умовах надзвичайних ситуацій.

Проведено ретроспективний експрес-моніторинг екологічної безпеки систем водовідведення України. Визначено, що протягом десятирічного періоду збройного конфлікту в Україні спостерігається статистично значуще зростання рівня екологічного ризику в дев'яти областях, тоді як у п'яти областях показник залишається відносно стабільним. У решті регіонів зафіксовано тенденцію до зниження ризику. Однак, загальна екологічна ситуація характеризується як критична, оскільки переважна більшість регіонів демонструє показники екологічної небезпеки, що перевищують допустимі норми. Функціонування систем водовідведення в цих регіонах становить загрозу для довкілля та здоров'я населення, що потенційно може призвести до масштабної екологічної катастрофи.

***Ключові слова:** системи водовідведення; військові дії; моніторинг; екологічна безпека; індикатори; планові та першочергові заходи.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.48-61>

Вступ

Екологічна безпека систем водовідведення в Україні характеризується критичним станом, що зумовлено кумулятивним ефектом глобальних екологічних змін [1, 2], старіння об'єктів інфраструктури [3, 4] та деструктивного впливу військової агресії [5]. Україна стикається з унікальним

комплексом проблем, що включають масштабне руйнування інфраструктури [6, 7], забруднення водних ресурсів [6] та необхідність впровадження євроінтеграційних стандартів.

Женевські конвенції 1949 року, зокрема Додаткові протоколи I та II [8-10], у контексті водовідведення регламентують захист об'єктів, необхідних для виживання цивільного населення, що охоплює інфраструктуру водовідведення, від навмисних атак. Руйнування цих систем спричиняє антисанітарні умови, епідеміологічні ризики та забруднення водних ресурсів. Також, відповідно до принципів запобігання надмірним стражданням та захисту довкілля, конвенції забороняють застосування методів ведення війни, що спричиняють довготривале та масштабне забруднення, зокрема скидання неочищених стоків, які створюють загрозу для здоров'я населення та екологічної стійкості [8-10].

Однак станом на початок 2024 року об'єкти водопостачання та водовідведення в Україні продовжують зазнавати активних руйнувань внаслідок воєнних дій, що спричиняє комплексну гуманітарну та екологічну кризу. Масштабні пошкодження критичної інфраструктури, включаючи водопроводи, каналізаційні мережі, насосні станції та очисні споруди (рис. 1), в ряді регіонів призводять до катастрофічного дефіциту питної води та порушення санітарно-гігієнічних норм, що створює пряму загрозу для здоров'я населення та сприяє поширенню інфекційних захворювань [5].

Для забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення в Україні необхідний комплексний підхід, що включає модернізацію інфраструктури, удосконалення законодавства, посилення контролю за водокористуванням, міжнародну співпрацю та врахування техногенних факторів.

Мета роботи. Дослідження стану екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України під час військових дій на підставі методу експрес-моніторингу.

Завдання роботи:

1. Розробити метод експрес-моніторингу екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення України.
2. Провести дослідження стану муніципальних систем водовідведення України під час військових дій на підставі розробленого методу.

Теоретичні основи дослідження

Усвідомлюючи критичність проблеми, держава активно впроваджує відповідні законодавчі та нормативні акти. Зокрема: Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом (розділ V, глава 5) передбачає поступове наближення законодавства України до законодавства ЄС у сфері охорони навколишнього середовища, включаючи управління водними ресурсами, а Додаток XXX до Угоди встановлює конкретні директиви ЄС, які Україна зобов'язана імплементувати [11], зокрема Директиву 91/271/ЄЕС "Про очищення міських стічних вод" [12].

Стаття 2 Конвенції «Про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер» регламентує, що сторони вживають усіх відповідних заходів для недопущення, обмеження та зменшення будь-якого транскордонного впливу, а стаття 3 встановлює, що сторони співпрацюють на основі рівності та взаємності, особливо шляхом укладання двосторонніх або

багатосторонніх угод [13]; стаття 13 Конституції України, закріплюючи право власності Українського народу на природні ресурси, встановлює високий рівень захисту водних ресурсів [14].

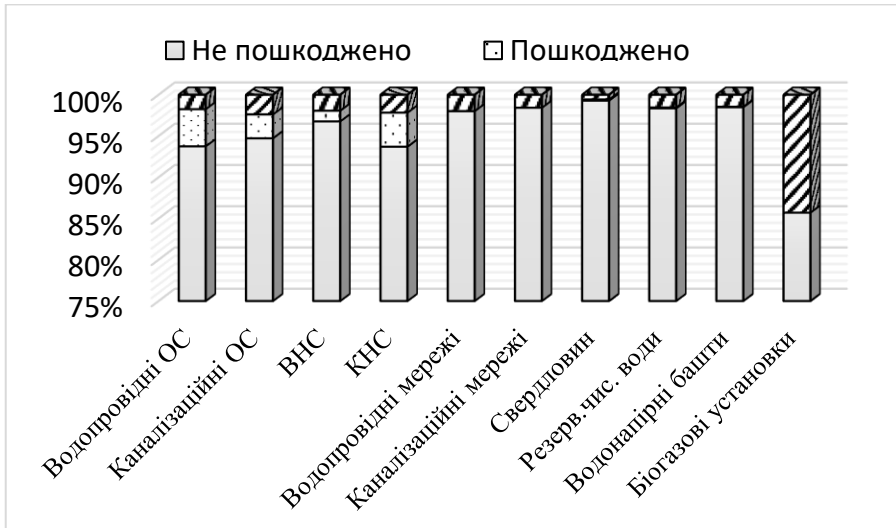


Рис. 1. Пошкодження об'єктів інфраструктури водопостачання та водовідведення станом на початок 2024 року (побудовано за даними [5])

Водний кодекс України, визначаючи всі води національним надбанням (ст. 3), регулює використання, охорону та відтворення водних ресурсів (ст. 1), встановлюючи права (ст. 44) та обов'язки (ст. 48) водокористувачів, регламентуючи охорону вод (ст. 70) та відповідальність за порушення (ст. 110) [15]; Закон України "Про національну безпеку України" [16] та «Стратегія національної безпеки України» [17] визначають погіршення екологічного стану водних басейнів, загострення проблеми транскордонних забруднень і зниження якості води як основні загрози національній безпеці в екологічній сфері, а поліпшення екологічного стану річок України та якості питної води – як один з головних напрямів державної політики з питань національної безпеки; Закон України «Про водовідведення та очищення стічних вод» (ст. 3) визначає правові, економічні та організаційні засади функціонування систем водовідведення (ст. 5, 6) [18]; Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (ст. 3) визначає завдання законодавства, спрямовані на запобігання негативному впливу господарської діяльності на природні ресурси [19]; пункт 1 розділу III «Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення» [20] вимагає їх відповідності нормам, що гарантують безпечну експлуатацію мереж і споруд та ефективне очищення відповідно до "Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами" [21]. Водна стратегія України до 2050 року [22] передбачає модернізацію інфраструктури водовідведення, посилення контролю за шкідливими речовинами у стічних водах та удосконалення законодавства згідно з вимогами ЄС. Реалізація цих заходів спрямована на покращення якості послуг водовідведення, досягнення екологічно безпечного стану водних об'єктів та зниження ризиків від повеней та паводків. Стратегія є особливо актуальною в умовах воєнних дій та необхідності інтеграції до ЄС.

Аналіз поточного стану нормативно-правового забезпечення в Україні свідчить про наявність розвиненої системи регулювання охорони та раціонального використання водних ресурсів. Однак, слід підкреслити, що ефективність функціонування зазначеної системи обумовлюється не лише її обсягом, але й якістю імплементації та дієвістю контролю за дотриманням встановлених правових норм.

Вплив збройних конфліктів на водні ресурси та екосистеми є предметом багатьох досліджень [23-29]. Причому для проведення моніторингу муніципальних систем водовідведення державою постійно оновлюються індикатори та методики [15-22, 30]. Однак така оцінка є трудомісткою. В умовах війни, коли інфраструктура руйнується, доступ обмежений, а ресурси вичерпуються, такий моніторинг стає надзвичайно складним, а часом і неможливим. Водночас, забезпечення населення якісною водою стає критично важливим, а відновлення пошкоджених систем водопостачання та водовідведення – першочерговим завданням для збереження екологічної безпеки та життя людей. Для чого необхідно застосування експрес-моніторингу екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення, який буде спиратися на невеликий перелік індикаторів.

Результати дослідження

Для розробки заходів забезпечення екологічної роботи систем водовідведення в надзвичайних умовах пропонується поділити їх на категорії (таблиця 1).

Таблиця 1. Категорії систем ВВ України за впливом воєнних дій

Категорія	Пояснення	Вид заходів
I категорія	Системи, що знаходяться на територіях, де не відбувалися воєнні дії	Експрес-моніторинг, моніторинг. Попередження, розробка першочергових та планових заходів інтенсифікації роботи систем ВВ
II категорія	Системи, що знаходяться на територіях, де відбувалися воєнні дії, але звільнені	Експрес-моніторинг, моніторинг відновлення руйнувань, прогнозування. Попередження, розробка першочергових та планових заходів інтенсифікації роботи систем ВВ
III категорія	Системи, що знаходяться на території триваючих воєнних дій	Експрес-моніторинг, відновлення руйнувань, попередження, прогнозування
IV категорія	Системи, що знаходяться на непідконтрольних територіях	Попереднє прогнозування

За даними Deep State [31] та Переліку [32], станом на 01 січня 2025 року системи водовідведення центральної та західної України за впливом воєнних дій можна було віднести до першої та другої категорії, півдня та сходу – до об'єктів третьої та четвертої категорії.

Для проведення експрес-моніторингу пропонується використовувати невеликий перелік індикаторів, які, з одного боку, дозволять достовірно оцінити екологічний стан існуючих систем водовідведення, а з іншого боку, є статистичною інформацією муніципальних підприємств і не потребують додаткових досліджень: питоме водоспоживання (I1) та водовідведення (I2), забезпечення послугами водовідведення (I3), стан мереж водовідведення (I4), питомі витрати електроенергії (I5), наявність ексфільтрації та додаткового притоку стічних вод (I6), стан КНС (I7) та очисних споруд (I8), наявність скиду неочищених стічних вод до навколишнього середовища (I9).

На першому кроці експрес-моніторингу згідно з відкритими джерелами [33-34] отримуємо вихідні дані для 2013 року та 2023 року за визначеними індикаторами.

Для індикаторів 5 та 9 значення відображаються в абсолютних та відносних показниках відповідно. Для індикаторів 1-4, 6-8 значення виставляються в балах відповідно до рівня ризику екологічної небезпеки, що дозволяє кількісно оцінити потенційний негативний вплив на довкілля та здоров'я населення (таблиця 2).

Таблиця 2. Ризик екологічної небезпеки для індикаторів 1-4, 6-6 [18, 20, 22, 37]

№ індикатора	Показник	Од. виміру	Ризик екологічної небезпеки		
			Низький	Середній	Високий
			2 бали	1 бал	0 балів
1	Питоме водоспоживання	л/добу на людину	[130, 285]	[100, 130) та (285, 305]	< 100 або > 305
2	Питоме водовідведення	л/добу на людину	[130, 285]	[100, 130) та (285, 305]	< 100 або > 305
3	Забезпечення послугами водовідведення	%	сільське населення ≥ 80 ; міське ≥ 72	сільське населення – [50; 80), міське – [70; 72)	сільське населення < 50; міське < 70
4	Стан мереж водовідведення	% зносу	≤ 15	(15, 60]	> 60
6	Ексфільтрація (E) та додатковий приток (I)	% від загального обсягу	$I \leq 2$ та $E \leq 2$	I (2, 20] та $E \leq 2$	$I > 20$ та $E > 2$
7	Стан каналізаційних насосних станцій	% зносу	≤ 15	(15, 60]	> 60
8	Стан очисних споруд водовідведення	% зносу	≤ 15	(15, 60]	> 60

На другому етапі експрес-моніторингу, що передбачає застосування MCDM-методів багатокритеріального прийняття рішень [35], здійснюється

нормалізація матриці методом min-max [36], що є необхідною процедурою для усунення впливу різних одиниць вимірювання та діапазонів значень на результати аналізу за формулою (1):

$$I_{norm}^{ij} = \frac{x^{ij} - x_{min}^i}{x_{max}^i - x_{min}^i}; \quad (1)$$

де I_{norm}^{ij} – нормоване значення i -того індикатору j -того муніципального підприємства (населеного пункту, області);

x^{ij} – значення i -того індикатору j -того муніципального підприємства (населеного пункту, області);

x_{min}^i – мінімальне значення i -того індикатору групи муніципальних підприємств (населених пунктів, областей);

x_{max}^i – максимальне значення i -того індикатору групи муніципальних підприємств (населених пунктів, областей).

Оскільки підвищення енергоспоживання в системах водовідведення спричиняє негативні наслідки для навколишнього середовища, то нормалізацію для п'ятого індикатору здійснюємо за формулою (2):

$$I_{norm}^{5j} = 1 - \frac{x^{5j} - x_{min}^5}{x_{max}^5 - x_{min}^5}; \quad (2)$$

де I_{norm}^{5j} – нормоване значення 5-того індикатору j -того муніципального підприємства (населеного пункту, області);

x^{5j} – значення 5-того індикатору j -того муніципального підприємства (населеного пункту, області);

x_{min}^5 – мінімальне значення 5-того індикатору групи муніципальних підприємств (населених пунктів, областей);

x_{max}^5 – максимальне значення 5-того індикатору групи муніципальних підприємств (населених пунктів, областей).

На третьому етапі експрес-моніторингу виконується складання нормалізованої матриці на підставі вагових коефіцієнтів, які були визначні матричним методом на підставі графу зв'язності індикаторів та екологічної безпеки мереж водовідведення (рис. 2, таблиця 3).

Наступний етап експрес-методу моніторингу екологічної безпеки муніципальних систем водовідведення передбачає узагальнення отриманих результатів, визначення рівня ризиків екологічної небезпеки систем водовідведенням ER^i (3) та ранжування підприємств за цим рівнем (таблиця 4).

$$ER^i = 1 - \sum_{i=1}^n I_{norm}^{ij} \cdot k_z^i. \quad (3)$$

Таблиця 3. Нормалізована матриця даних стану екологічної безпеки систем водовідведення України за 2023 рік

Індикатори		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Область	Вінницька	0,17	0,17	0,00	1,00	0,60	1,00	0,00	1,00	0,53
	Волинська	0,17	0,00	0,01	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,54
	Дніпропетровська	0,83	0,50	0,01	1,00	0,89	0,00	0,00	1,00	0,09
	Донецька	1,00	0,17	0,01	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,24
	Житомирська	0,17	0,17	0,00	1,00	0,48	0,00	0,00	0,50	0,50
	Закарпатська	0,33	0,17	0,01	1,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,38
	Запорізька	0,17	0,00	0,01	0,00	0,73	0,00	1,00	0,00	0,54
	Івано-Франківська	0,00	0,00	0,02	1,00	0,87	0,00	0,00	0,50	0,54
	Київська	0,50	0,00	0,01	1,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,53
	Київ	0,00	0,50	0,02	1,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,49
	Кіровоградська	0,50	0,17	0,01	1,00	0,57	0,00	0,00	0,50	0,00
	Львівська	0,00	0,50	0,01	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
	Миколаївська	0,17	0,33	0,01	1,00	0,43	0,00	1,00	0,50	0,54
	Одеська	0,67	0,50	0,01	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,48
	Полтавська	0,17	0,50	0,00	1,00	0,68	0,50	0,00	1,00	0,19
	Рівненська	0,00	0,00	0,01	1,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,17
	Сумська	0,33	0,00	0,01	1,00	0,52	0,00	0,00	0,50	1,00
	Тернопільська	0,33	0,17	0,01	1,00	0,56	0,00	0,00	1,00	0,46
	Харківська	0,33	0,00	0,01	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00	0,52
	Херсонська	0,83	1,00	0,01	0,00	0,89	0,00	1,00	0,00	0,54
Хмельницька	0,17	0,17	0,00	1,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,54	
Черкаська	0,00	0,17	0,00	1,00	0,77	0,00	0,00	1,00	0,41	
Чернівецька	0,67	1,00	0,00	1,00	0,32	0,00	0,00	0,50	0,49	
Чернігівська	0,00	0,00	0,00	1,00	0,46	0,00	1,00	0,50	0,50	



Рис. 2. Граф впливу індикаторів експрес-моніторингу на екологічну безпеку

Таблиця 4. Визначення рівня екологічного ризику систем водовідведення України за 2023 рік

№ індикатору		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Область	Коефіцієнт значущості	0,1099	0,1868	0,0275	0,3242	0,0055	0,3077	0,0165	0,0165	0,0055
	Вінницька	0,17	0,17	0,00	1,00	0,60	1,00	0,00	1,00	0,53
	Волинська	0,17	0,00	0,01	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,54
	Дніпропетровська	0,83	0,50	0,01	1,00	0,89	0,00	0,00	1,00	0,09
	Донецька	1,00	0,17	0,01	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,24
	Житомирська	0,17	0,17	0,00	1,00	0,48	0,00	0,00	0,50	0,50
	Закарпатська	0,33	0,17	0,01	1,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,38
	Запорізька	0,17	0,00	0,01	0,00	0,73	0,00	1,00	0,00	0,54
	Івано-Франківська	0,00	0,00	0,02	1,00	0,87	0,00	0,00	0,50	0,54
	Київська	0,50	0,00	0,01	1,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,53
	Київ	0,00	0,50	0,02	1,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,49
	Кіровоградська	0,50	0,17	0,01	1,00	0,57	0,00	0,00	0,50	0,00
	Львівська	0,00	0,50	0,01	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
	Миколаївська	0,17	0,33	0,01	1,00	0,43	0,00	1,00	0,50	0,54
	Одеська	0,67	0,50	0,01	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,48
	Полтавська	0,17	0,50	0,00	1,00	0,68	0,50	0,00	1,00	0,19
	Рівненська	0,00	0,00	0,01	1,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,17
	Тернопільська	0,33	0,17	0,01	1,00	0,56	0,00	0,00	1,00	0,46
	Харківська	0,33	0,00	0,01	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00	0,52
	Херсонська	0,83	1,00	0,01	0,00	0,89	0,00	1,00	0,00	0,54
Хмельницька	0,17	0,17	0,00	1,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,54	
Черкаська	0,00	0,17	0,00	1,00	0,77	0,00	0,00	1,00	0,41	
Чернівецька	0,67	1,00	0,00	1,00	0,32	0,00	0,00	0,50	0,49	
Чернігівська	0,00	0,00	0,00	1,00	0,46	0,00	1,00	0,50	0,50	

Якщо прийняти нульовий рівень екологічного ризику для систем водовідведення як базову лінію, а максимальну потенційну величину ризику як 100%, то проміжні значення у цьому діапазоні кількісно визначають градуйовану шкалу інтенсивності екологічного ризику.

Виконаємо ранжування підприємств за значенням екологічного ризику (*ER*) в порядку зростання, де мінімальні значення *ER* корелюють з низькими екологічними ризиками значення 0-0,33. Значення в інтервалі (0,33-0,67] корелюють з середнім рівнем екологічних ризиків. Тоді як максимальні значення *ER* (0,67-1] відповідають високому ризику та сигналізують про потенційні екологічні загрози, необхідність впровадження термінових заходів, особливо в умовах воєнного часу (таблиця 5).

Таблиця 5. Динаміка змінення екологічного ризику систем водовідведення України за 10 років воєнний дій

Ранг по 2023	Найменування населеного пункту	2013		2023		Динаміка +/-, %
		ER	Висновок	ER	Висновок	
1	2	3	4	5	6	7
1	Вінницька	0,5717	Середній	0,296	Низький	48
18	Волинська	0,5741	Середній	0,651	Середній	-13
4	Дніпропетровська	0,5043	Середній	0,469	Середній	7
22	Донецька	0,5751	Середній	0,855	Високий	-49
12	Житомирська	0,7518	Високий	0,613	Середній	18
11	Закарпатська	0,6229	Середній	0,601	Середній	4
24	Запорізька	0,7557	Високий	0,958	Високий	-27
19	Івано-Франківська	0,7220	Високий	0,659	Середній	9
13	Київська	0,6251	Середній	0,614	Середній	2
7	Київ	0,7056	Високий	0,575	Середній	18
8	Кіровоградська	0,6370	Середній	0,578	Середній	9
9	Львівська	0,7253	Високий	0,579	Середній	20
6	Миколаївська	0,7253	Високий	0,565	Середній	22
5	Одеська	0,5124	Середній	0,501	Середній	2
2	Полтавська	0,7162	Високий	0,389	Середній	46
20	Рівненська	0,5397	Середній	0,671	Високий	-24
16	Сумська	0,7864	Високий	0,622	Середній	21
10	Тернопільська	0,4497	Середній	0,586	Середній	-30
23	Харківська	0,7167	Високий	0,956	Високий	-33
21	Херсонська	0,6121	Середній	0,697	Високий	-14
14	Хмельницька	0,5455	Середній	0,620	Середній	-14
15	Черкаська	0,2105	Низький	0,622	Середній	-195
3	Чернівецька	0,5806	Середній	0,403	Середній	31
17	Чернігівська	0,7179	Високий	0,646	Середній	10

За 10 років збройного конфлікту суттєво підвищився екологічний ризик у 9 областях України, у п'яти областях залишився майже на тому ж рівні. В інших областях спостерігається покращення ситуації (рис. 3). Але ситуація залишається складною, оскільки тільки одна область має низький показник ризику екологічної небезпеки. Функціонування більшості систем є небезпечним для навколишнього середовища та людини та загрожує настанням масштабної екологічної катастрофи.

На підставі розробленого моніторингу слід підготувати першочергові та планові заходи підвищення екологічної безпеки систем водовідведення. До першочергових заходів для всіх областей слід віднести: створення стратегічних запасів реагентів та паливно-мастильних матеріалів, реконструкцію критичної інфраструктури, забезпечення аварійних бригад, розробку планів евакуації стічних вод, встановлення альтернативних джерел електропостачання, фізичний захист об'єктів та навчання персоналу. Також необхідно розрахувати вартість цих заходів та виділити відповідне фінансування. До планових: своєчасний ремонт обладнання та мереж відповідно до розроблених планів, підвищення надійності водовідведення шляхом резервування, будівництво альтернативних джерел

електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії, реконструкція та будівництво об'єктів з урахуванням зниження ризиків, впровадження цифрових технологій для моніторингу та прогнозування, а також застосування "зелених технологій" для регулювання зливових вод та підвищення екологічної стійкості.

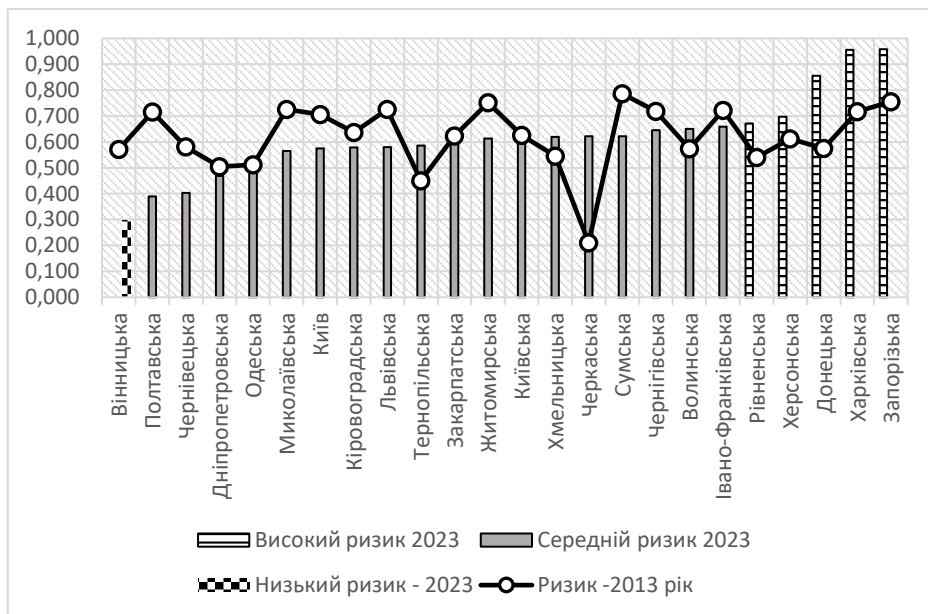


Рис. 3. Динаміка змінення ризиків екологічної небезпеки по областях України в 2013 та 2023 роках

Висновки та перспективи подальших досліджень

В умовах воєнних дій, коли системи водовідведення зазнають значних пошкоджень та навантажень, критично важливо забезпечити їхню сталу роботу та екологічну безпеку. Запропонована категоризація систем водовідведення за впливом воєнних дій (I-IV категорії) дозволяє адаптувати заходи реагування до специфічних умов кожного регіону, від експрес-моніторингу та попередження у відносно безпечних зонах до відновлення руйнувань та попереднього прогнозування в зонах активних бойових дій. Запропонований метод проведення експрес-моніторингу екологічної безпеки роботи муніципальних систем водовідведення України дозволяє систематизувати дані та виявити найбільш вразливі об'єкти системи.

Використання обмеженого переліку ключових індикаторів, що базуються на доступній статистичній інформації, забезпечує оперативність та достовірність експрес-моніторингу. Кожен індикатор відображає критичні аспекти екологічної безпеки. Кількісна оцінка індикаторів у балах, згідно з рівнем екологічної небезпеки, дозволяє систематизувати дані та виявити найбільш вразливі ділянки системи. Цей підхід забезпечує науково обґрунтовану основу для розробки ефективних заходів з мінімізації негативного впливу на довкілля та забезпечення сталого функціонування систем водовідведення в умовах надзвичайних ситуацій.

Проведений ретроспективний експрес-моніторинг муніципальних систем водовідведення України показав високий ризик екологічної небезпеки в 5 областях України і середній для 18 областей, що свідчить про необхідність впровадження першочергових та планових заходів інтенсифікації роботи систем.

Результати досліджень можуть бути впроваджені в діяльність муніципальних підприємств водопостачання та водовідведення.

REFERENCES

1. Lin, H. (2014). Changes in atmospheric carbon dioxide. In *Global environmental change* (pp. 61–67). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5784-4_48
2. Brandon, M.A. & Clark, N. H. (Eds.). (2003). *Environmental changes: Global challenges*. Milton Keynes: Open University.
3. UNSD. (n.d.). *Global indicator framework for the sustainable development goals and targets of the 2030 agenda for sustainable development*. https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%202023%20refinement_Eng.pdf
4. Kalbar, P. P., & Lokhande, S. (2023). Need to adopt scaled decentralized systems in the water infrastructure to achieve sustainability and build resilience. *Water Policy*. <https://doi.org/10.2166/wp.2023.267>
5. KSE. (2024). *Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року* [Report on direct infrastructure damage from destruction caused by Russian military aggression against Ukraine as of the beginning of 2024]. Kyiv. https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf
6. Babanina, I. (2022). *Зруйнована інфраструктура водопостачання та водовідведення на Сході та Півдні України: Аналітична записка* [Destroyed water supply and sewerage infrastructure in the East and South of Ukraine: Analytical note] (O. Kravchenko, Ed.). Ecolohiya, Pravo, Lyudyna. https://epl.org.ua/wp-content/uploads/2023/02/rujnuvannya-infrastruktury_vychytana-versiya.pdf
7. Pashchenko, O. M., & Hoshtynar, S. L. (2022). International legal principles for guaranteeing water safety during military conflicts. *Environmental Law*, (3-4), 57–62. <https://doi.org/10.37687/2413-7189.2022.3-4-4.12>
8. United Nations. (1999). *Protocol on water and health to the 1992 convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_030#Text
9. United Nations. (2005). *Additional protocol to the Geneva conventions of 12 August 1949, and relating to the adoption of an additional distinctive emblem (Protocol III)*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g74#Text
10. Verkhovna Rada of the Ukrainian SSR. (1989). *Decree on the ratification of the additional protocol to the Geneva conventions of 12 August 1949, and relating to the protection of victims of international armed conflicts (Protocol I), and the additional protocol to the Geneva conventions of 12 August 1949, and relating to the protection of victims of non-international armed conflicts (Protocol II)* (Decree No. 7960-XI). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/7960-11#Text>
11. Verkhovna Rada of Ukraine. (2014). *Law of Ukraine on the ratification of the association agreement between Ukraine, of the one part, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, of the other part* (Law No. 1678-VII). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18#Text>
12. European Economic Community. (1991). *Council directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment* (Directive No. 91/271/EEC). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_911#Text

13. United Nations. (1999). *Protocol on water and health to the 1992 convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_030#Text
14. Verkhovna Rada of Ukraine. (2001). *Constitution of Ukraine*. Kyiv: Parliamentary Publishing House.
15. Verkhovna Rada of Ukraine. (2004). *Water code of Ukraine*. Kyiv: InYure.
16. Verkhovna Rada of Ukraine. (2018). *Law of Ukraine on national security of Ukraine* (Law No. 2469-VIII). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>
17. President of Ukraine. (2020). *Decree on the decision of the national security and defense council of Ukraine of September 14, 2020 "On the national security strategy of Ukraine"* (Decree No. 392/2020). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text>
18. Verkhovna Rada of Ukraine. (2023). *Law of Ukraine on wastewater disposal and treatment* (Law No. 2887-IX). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text>
19. Verkhovna Rada of Ukraine. (1999). *Law of Ukraine on environmental protection*. Kyiv: Parliamentary Publishing House.
20. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine. (2017). *Order on approval of the rules for acceptance of wastewater into centralized sewerage systems and the procedure for determining the amount of payment charged for excess discharges of wastewater into centralized sewerage systems* (Order No. 316). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text>
21. Cabinet of Ministers of Ukraine. (1999). Resolution on approval of the rules for the protection of surface waters from pollution by return waters (Resolution No. 465). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-п#Text>
22. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022). Order on approval of the water strategy of Ukraine for the period up to 2050 (Order No. 1134-p). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-п#Text>
23. Rajkumar, S., et al. (2023). Smart sewage monitoring systems. In Third congress on intelligent systems (pp. 27–40). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9225-4_3
24. Utepov, Y., et al. (2024). Advancing sanitary surveillance: Innovating a live-feed sewer monitoring framework for effective water level and chamber cover detections. *Heliyon*, 10(6), e27395. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27395>
25. (n.d.). Monitoring. In *Wastewater microbiology series* (pp. 135–139). Hoboken, NJ, USA: Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471468967.ch22>
26. Peng, C., et al. (2022). Monitoring of wastewater treatment process based on multi-stage variational autoencoder. *Expert Systems with Applications*, 117919. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117919>
27. Lynggaard-Jensen, A. (1999). Trends in monitoring of waste water systems. *Talanta*, 50(4), 707–716. [https://doi.org/10.1016/s0039-9140\(99\)00197-6](https://doi.org/10.1016/s0039-9140(99)00197-6)
28. Soetedjo, A., et al. (2022). Real-time implementation of wastewater monitoring system on the communal wastewater treatment plant using the IoT technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1030(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1030/1/012006>
29. Wade, M. J., Sánchez, A., & Katebi, M. R. (2005). On real-time control and process monitoring of wastewater treatment plants: Real-time process monitoring. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 27(3), 173–193. <https://doi.org/10.1191/0142331205tm140oa>
30. Nasonkina, N., et al. (2009). Strategy for monitoring and reforming municipal water supply systems. *Water Supply and Sewerage*, 2, 2–8.
31. DeepStateMAP. (n.d.). DeepStateMAP. <https://deepstatemap.live/#6/47.5987553/35.5737305>

32. Ministry of Reintegration of the Temporarily Occupied Territories of Ukraine. (2022). Order on approval of the list of territories where hostilities are (were) conducted or temporarily occupied by the Russian Federation¹ (Order No. 309). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1668-22#Text>
33. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine. (2014). National report on the quality of drinking water and the state of drinking water supply and sewerage in Ukraine in 2013. Kyiv. <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html>
34. Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine. (2024). National report on the quality of drinking water and the state of drinking water supply and sewerage in Ukraine in 2023. Kyiv. <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html>
35. Buja, A. (1996). What criterion for a power algorithm? In Robust statistics, data analysis, and computer intensive methods (pp. 49–61). New York, NY: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2380-1_4
36. Coulmas, F. (2025). Normalization and standardization. In Language policy (pp. 49–64). Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780191976377.003.0004>
37. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2013). DBN V.2.5-75:2013.34 Sewerage. External networks and structures. Basic design provisions. https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200391384846566485?doc_type=2

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 і прийнята до друку після рецензування 13.12.2024

The article was received 30.09.2024 and was accepted after revision 13.12.2024

Ткаченко Тетяна Миколаївна

д.т.н., професор кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури
Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2105-5951> **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

Сахновська Вікторія

аспірантка кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури
Адреса робоча: 03037, Україна, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 31
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2489-7276> **e-mail:** vsahnovskaya@gmail.com