

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ВОЄННИХ ДІЙ НА ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ

Олена Жукова<sup>1</sup>, Ірина Кордуба<sup>2</sup>, Ігор Прокопенко<sup>3</sup>, Павло Старжинський<sup>4</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, пр. Повітряних Сил, Київ, 03037, Україна

<sup>1</sup> канд. техн. наук, elenazykova21@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0662-9996

<sup>2</sup> докт. техн. наук, uaror-korduba@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5135-8465

<sup>3</sup> prockopenko.2017@gmail.com, orcid.org/0009-0009-0129-3283

<sup>4</sup> pavlostarzhynskiy@gmail.com, orcid.org/0009-0004-4495-9309

DOI: 10.32347/2524-0021.2026.53.27-35

**Анотація.** У статті досліджено комплексний і кумулятивний вплив військових дій на стан водних екосистем України в умовах тривалого збройного конфлікту та постійного антропогенного навантаження. Розглянуто основні механізми забруднення водних об'єктів токсичними компонентами вибухових речовин, важкими металами та продуктами деградації боєприпасів. Показано, що, потрапляючи у водне середовище, ці речовини формують стійкі ксенобіотики, які накопичуються у трофічних ланцюгах, порушують обмінні процеси гідробіонтів і знижують природний потенціал самоочищення водойм. На основі результатів багаторічних польових моніторингових досліджень ділянки р. Дніпро в межах урбоекосистеми м. Києва (річковий профіль 922–825 км) виконано просторовий аналіз динаміки гідрохімічних і гідробіологічних показників. Встановлено виражене погіршення екологічного стану водної екосистеми вниз за течією в межах урбанізованого профілю, максимальне – у зоні впливу скидів Бортицької станції аерації. Це проявляється у зниженні вмісту розчиненого кисню, зростанні органічного та біогенного навантаження, а також перевищенні нормативів за вмістом амонійного азоту. Додатково зафіксовано скорочення видового різноманіття фітопланктону з домінуванням толерантних до забруднення ціанобактерій, зокрема токсикогенного виду *Microcystis aeruginosa*. Розраховані індикатори, зокрема інтегральний індекс техноємності та індекс інтенсивності внутрішньоводоймних процесів, дали змогу кількісно оцінити кумулятивний характер деградації річкової екосистеми та зниження її асиміляційної здатності. За результатами дослідження запропоновано систему параметрів для оцінки структурно-екологічної трансформації водотоків, класифікацію основних факторів кумулятивного впливу та поетапну модель відновлення деградованих водних екосистем. Запропонований науково-методичний підхід має практичне значення для вдосконалення екологічного моніторингу, оцінки екологічних ризиків, обґрунтування пріоритетних природоохоронних рішень і планування заходів повоєнної реабілітації водних ресурсів.

**Ключові слова:** водні екосистеми, воєнні дії, ксенобіотики, самоочищення, урбоекосистеми, р. Дніпро, моніторинг.

### ВСТУП

Сучасний розвиток суспільства супроводжується зростанням екологічних загроз, зумовлених господарською діяльністю людини. Особливо гостро ця проблема проявляється у забрудненні водних об'єктів у межах урбоекосистем [1–5].

Воєнні дії на території України істотно посилили антропогенний тиск на водні екосистеми. Уже в перші місяці

повномасштабного вторгнення водні ресурси зазнали суттєвих негативних впливів через забруднення водойм важкими металами та іншими хімічними сполуками, руйнування дамб, насосних станцій і очисних споруд, а також захоплення об'єктів водної інфраструктури [9–13].

Хімічні сполуки, що входять до складу вибухових речовин і боєприпасів, становлять серйозну загрозу для водних екосистем. Потрапляючи у воду, вони зазнають

біогеохімічних перетворень і утворюють нові небезпечні сполуки, які можуть тривалий час зберігатися у водному середовищі, накопичуватися у трофічних ланцюгах і порушувати обмінні процеси в організмах [11–15].

Особливо небезпечними є іони важких металів, зокрема свинцю, кадмію, ртуті та хрому, що входять до складу військової техніки й боєприпасів. У водному середовищі вони формують стійкі сполуки, спричиняють фізіологічні порушення у гідробіонтів, зменшують біорізноманіття та порушують функціональну рівновагу водних екосистем [13, 14, 18].

Військові дії також супроводжуються викидами в атмосферу оксидів вуглецю, азоту та сірки, які, взаємодіючи з атмосферною вологою, спричиняють випадання кислотних опадів. Це додатково погіршує гідрохімічний стан води, негативно впливає на водні організми та знижує здатність екосистем до самовідновлення [13–17].

За таких умов особливо важливими є впровадження ефективних технологій очищення та постійний моніторинг стану водних об'єктів. Застосування сучасних біотехнологій і методів біологічного очищення може підвищити ефективність самоочисних процесів у поверхневих водоймах, а використання біоіндикаторів дає змогу оцінювати результативність відновних заходів і виявляти довготривалі екологічні наслідки [6–8, 19, 20].

## АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Дослідженню основних аспектів екологічної безпеки водних ресурсів присвячені роботи провідних українських науковців, серед яких Гриб Й. В., Гребінь В. В., Осадчий В. І., Петрук В. Г., Удод В. М., Шмандій В. М., Волошкіна О. С., Хільчевський В. К., в працях яких сформовано теоретичну основу механізмів забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів.

Проблематика збереження водних ресурсів та управління ними була предметом багатьох досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. Зокрема, в українських

наукових працях висвітлена законодавча база, пов'язана з реформуванням системи управління водними ресурсами в роботах М. І. Ромащенко, сутність водного менеджменту та його основні аспекти в роботах Н. А. Макаренко. Принципи басейнового управління знайшли своє відображення у роботах О. М. Климчик, Т. В. Пінкіна, А. А. Пінкіна. Комплексна оцінка якості води, її методологія, а також дослідження джерел забруднення детально описані у працях В. П. Строкаля та Л. В. Войтенко.

Питанню оцінки впливу техногенних факторів на екологічний стан водних екосистем присвячені роботи Міхеєва О. М., Пічури В. І. О., Мадж С. М., Коцюби І. Г. та Барабаша О. В. Результати комплексного аналізу стану поверхневих водних ресурсів відображений у працях Циганенко-Дзюбенка І. Ю., Пономаренка Є. Г., Дмитренка Т. В. та Немцової А. А.

Особлива увага приділяється впливу військових конфліктів на стан водних ресурсів. Зокрема, розглядалися наслідки збройних конфліктів у регіоні Донбасу в роботах В. К. Хільчевського та шляхи вирішення водних конфліктів в роботах О. М. Куцько, Д. О. Перемибіда. Проте питання щодо впливу військових дій на водні ресурси України все ще залишається відкритим і надзвичайно актуальним, адже дозволить визначити основні ризики для компонентів довкілля з метою своєчасного запобігання негативним наслідкам забруднення.

## МЕТА І МЕТОДИ

Будь-яка військова активність створює комплекс ризиків для водних ресурсів і загрожує небезпечні процеси в усіх складових довкілля [9–13]. На рис. 1 подано узагальнену схему впливу військових дій на водні екосистеми та особливості їх функціонування.

За таких умов моніторинг стану водних об'єктів є необхідною передумовою раціонального використання водних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки та захисту здоров'я населення.



**Рис. 1.** Узагальнена схема впливу військових дій на водні екосистеми

**Fig. 1.** Generalised scheme of the impact of military actions on aquatic ecosystems.

**Табл. 1.** Параметри оцінки рівня структурно-екологічної трансформації водних екосистем

**Table 1.** Parameters for assessing the level of structural and ecological transformation of aquatic ecosystems

	Характеристики		
	Гідрологічні	Фізико-хімічні	Гідробиологічні
Показники	Рівень води, швидкість течії, температура води, витрата води	БСК, ХСК, іони важких металів, розчинений кисень, індекс техноємності (ІТЕ) та індекс інтенсивності внутрішньоводоймних процесів (ІВП)	Індекс Шеннона-Вайнера, індекс Сімпсона, індекс видового багатства, індекс сапробності
Індикатори деградаційних процесів	Зменшення показників >15%	Зростання БСК, ХСК та вмісту іонів важких металів, зменшення вмісту розчиненого кисню, зниження величин індексів ІТЕ та ІВП	Зменшення кількості видового різноманіття та чисельності

**Табл. 2.** Характеристика основних факторів впливу на водні екосистеми  
**Table 2.** Characteristics of the main impact factors on aquatic ecosystems

Фактори	Характеристика впливу
Розвиток урбоекосистем	Збільшення кількості транспорту, зменшення площі зелених зон, зміна гідрологічного режиму поверхневих і підземних водних об'єктів, зростання водоспоживання, погіршення фізико-хімічних показників, збільшення поверхневого стоку, порушення кисневого режиму та процесів самоочищення, зменшення екологічної ємності водойм, погіршення показників біорізноманіття, зниження індексу техноємності (ІТЕ) та індексу інтенсивності внутрішньоводоймних процесів (ІВП)
Кліматичний вплив	Збільшення вмісту біогенних речовин у водних екосистемах, посилення процесів евтрофікації поверхневих водойм, зміна гідрологічного режиму поверхневих і підземних водних об'єктів, погіршення фізико-хімічних показників, порушення кисневого режиму і процесів самоочищення, зменшення екологічної ємності водойм, погіршення показників біорізноманіття
Військові дії	Забруднення водних екосистем унаслідок руйнування інфраструктури, використання військової техніки й озброєння, порушення цілісності екосистем, погіршення санітарно-гігієнічних умов, надходження до водойм оксидів сірки, азоту та інших небезпечних речовин, скидання зворотних вод без очищення, зношення і замулення гідротехнічних споруд, зростання дефіциту води
Надзвичайні ситуації техногенного характеру	Забруднення водних екосистем унаслідок руйнування споруд і будівель, погіршення санітарно-гігієнічних умов, надходження зворотних вод без очищення, зношення і замулення гідротехнічних споруд, зростання дефіциту води, погіршення показників біорізноманіття

Системні та регулярні моніторингові дослідження забезпечують отримання кількісних і якісних характеристик водного середовища, дають змогу виявляти хімічні, біологічні та фізичні забруднювачі й оцінювати ризики для населення та водних екосистем [6, 8, 19, 20].

У табл. 2 узагальнено вплив процесів урбанізації, кліматичних чинників, військових дій і техногенних надзвичайних ситуацій, а також наведено індикатори, що дають змогу оцінити масштаб трансформаційних змін у водних екосистемах [9–13].

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Дослідження проводили в межах урбоекосистеми м. Києва на ділянці р. Дніпро (профіль 922–825 км). Пункти моніторингу охоплювали три основні ділянки: вище міста (вхідна фонова зона, 922–897 км),

центральну частину міського профілю (зона транзиту через міське ядро, 897–854,5 км, з контрольним створом на 870 км) та нижче міста (зона відтоку і впливу Бортницької станції аерації, 854,5–825 км).

За зведеними результатами дослідження гідрохімічних показників водної екосистеми р. Дніпро в межах м. Києва підтверджено чітку просторову диференціацію якості води вздовж урбанізаційного профілю. У районі гідроствору 922 км середній вміст розчиненого кисню становив  $9,33 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ , тоді як у районі 897 км і в зоні 870 км він знизився до  $7,91 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ , що свідчить про негативний вплив урбоекосистеми. Найбільше органічне та біогенне навантаження зафіксовано на замикаючому створі 854,5 км: ХСК –  $45,95 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ , БСК<sub>5</sub> –  $3,768 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ , азот амонійний –  $1,056 \text{ мг N}/\text{дм}^3$ , що перевищує норматив у 2,7 рази, нітрати –

0,614 мг N/дм<sup>3</sup>, фосфати – 0,222 мг P/дм<sup>3</sup>. У зоні асиміляції нижче міста зазначені показники частково нормалізуються, що вказує на відновлення самоочисних процесів у р. Дніпро.

Індекс техноємності (ІТЄ) та індекс інтенсивності внутрішньоводоймних процесів (ІВП) фіксують максимальне навантаження на екосистему у зонах 870 км і 854,5 км. Значення ІТЄ на цих створах у період дослідження коливалися в межах 0,60-0,84, а ІВП у міській зоні досягав 0,78, що відображає критичний рівень деструктивних процесів і виснаження асиміляційної ємності.

Аналіз коефіцієнта ефективності самоочищення (Е) показує, що у 73 % досліджень переважає низький рівень самоочищення, тоді як високий рівень ефективності фіксується лише у 6-12 % спостережень.

Гідробіологічні дані також підтверджують високе навантаження на водну екосистему Дніпра. За період дослідження на

ділянці 854,5 км зафіксовано найнижче видове різноманіття фітопланктону — 7 видів проти 12 на 897 км — та мінімальне значення індексу Шеннона 3,61. У 2023 р. у зоні нижче Бортницької станції аерації домінував вид *Microcystis aeruginosa* з біомасою 6646,52 г/м<sup>3</sup> і критично низькою кількістю видів бентосу — 6, що свідчить про посилення евтрофікації та вторинне забруднення.

Отримані фізико-хімічні та гідробіологічні показники підкреслюють необхідність розроблення і впровадження ефективних заходів з охорони водних ресурсів, поліпшення якості води та відновлення водних екосистем.

У таблиці 3 наведено основні етапи поліпшення екологічного стану водотоків, що зазнали антропогенного впливу внаслідок розвитку урбоекосистем, дії кліматичних чинників, військових дій та техногенних надзвичайних ситуацій.

**Табл. 3.** Етапи відновлення водних об'єктів  
**Table 3.** Stages of restoration of water bodies

Етап	Назва етапу	Загальна характеристика	Екологічна ефективність
1	Аналіз поточного стану	Аналіз поточного стану водного басейну та визначення основних ризиків	Визначення первинної антропогенної трансформації екологічного стану водного об'єкта
2	Визначення основних джерел забруднення	Здійснення аналізу основних джерел забруднення та наслідків впливу	Зниження ризиків забруднення
3	Визначення основних напрямів зниження антропогенного впливу	Аналіз наявних методів поліпшення екологічного стану навколишнього середовища	Аналіз методів зниження антропогенного навантаження на водні екосистеми, вибір найбільш ефективних
4	Відновлення екосистем	Здійснення заходів, спрямованих на відновлення трофічних ланцюгів	Стабілізація видів та кількості гідробіонтів, відновлення інтенсивності внутрішньоводоймних процесів
5	Моніторинг поточного стану	Здійснення комплексного аудиту екологічного стану водних екосистем	Оцінка динаміки внутрішньоводоймних процесів та процесів самовідновлення
6	Коригування	У разі низької динаміки відновлення водної екосистеми - впровадження коригувальних заходів	Здійснення моніторингових заходів для оцінки ефективності коригувальних дій

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Дослідження підтвердило, що вплив військових дій на водні екосистеми має кумулятивний характер і посилює наявне антропогенне навантаження, пов'язане з урбанізацією та кліматичними чинниками. Руйнування водної інфраструктури, надходження хімічних забруднювачів і порушення екологічної рівноваги знижують асиміляційний потенціал водних об'єктів та погіршують їх здатність до самовідновлення.

За результатами моніторингу ділянки р. Дніпро в межах м. Києва (922–825 км) встановлено чітку просторову диференціацію стану водної екосистеми: від відносно кращих показників у фоновій зоні вище міста до найбільш напруженого екологічного стану в нижній частині міського профілю, зокрема в зоні впливу Бортницької станції аерації. Це проявляється у зниженні вмісту розчиненого кисню, зростанні органічного та біогенного навантаження, погіршенні індексних характеристик і збідненні біотичного різноманіття.

Аналіз коефіцієнта ефективності самоочищення засвідчив виснаження природного потенціалу самовідновлення водотоку: у 73 % спостережень зафіксовано низький рівень самоочищення, тоді як високий рівень виявлено лише у 6-12 % випадків. Домінування *Microcystis aeruginosa* та критично низька кількість видів бентосу в зоні нижче Бортницької станції аерації вказують на прогресуючу евтрофікацію та ризик вторинного забруднення.

Дані табл. 3 відображають поетапний підхід до відновлення водних екосистем, що зазнали суттєвого антропогенного впливу. Пріоритетними є первинна оцінка екологічного стану водотоку, визначення основних джерел забруднення та добір дієвих заходів, спрямованих на поліпшення якості води, відновлення внутрішньоводоймних процесів і стабілізацію біоти [6–8, 19, 20].

Практичним результатом роботи є шестиетапна модель відновлення деградованих водних екосистем, що передбачає послідовний перехід від аналізу поточного стану до коригувального моніторингу. Її

застосування дає змогу системно підходити до відновлення водотоків, ідентифікувати джерела забруднення та обирати найбільш ефективні природоохоронні заходи.

Отримані результати формують підґрунтя для розроблення стратегій захисту та повоєнної реабілітації водних екосистем України. Подальші дослідження доцільно зосередити на довгостроковій динаміці відновлення після завершення бойових дій, оцінюванні трансформації підземних водоносних горизонтів і розробленні методів пришвидшеного біологічного очищення від специфічних військових забруднювачів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Udod V. M., Madzhd S. M., Kulynych Y. I.** Regional features of the structural and functional organization of the development of technogenically altered aquatic ecosystems // *Visnyk of Kremenchuk National University*. 2017. Iss. 3. P. 104.
2. **Ромащенко М. І., Яцюк М. В., Дегтяр О. О.** Концептуальні засади реформування водного господарства України // *Вісник аграрної науки*. 2018. № 12(789). С. 9–18.
3. **Makarenko N., Budak O.** Waste management in Ukraine: Municipal solid waste landfills and their impact on rural areas // *Annals of Agrarian Science*. 2017. Vol. 15, no. 1. P. 80–87.
4. **Klimchik O. M., Pinkina T. V., Pinkin A. A.** Implementation of the integrated water resources management system based on the basin principle // *ScienceRise*. 2018. Vol. 4, no. 45. P. 36–40.
5. **Strokal V. P., Kovpak A. V.** The basin approach for water resources management in Ukraine: The SWOT analysis // *Biological Systems: Theory and Innovation*. 2020. Vol. 11, no. 4.
6. **Войтенко Л. В., Кочетов Я. В.** Комплексна оцінка якості води: проблеми та рішення // *Чиста вода: фундаментальні, прикладні та промислові аспекти*. 2021. С. 99–103.
7. **Khilchevskiy V. K., Grebin V. V., Zabokrytska M. R.** Abiotic typology of the rivers and lakes of the Ukrainian section of the Vistula River basin and its comparison with results of Polish investigations // *Hydrobiological Journal*. 2019. Vol. 55, no. 3. P. 95–102.
8. **Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Кірейцева Г. В., Герасимчук О. Л., Скиба Г. В., Хоменко С. В.** Особливості планування та реалізації моніторингу малих річок в умовах урбанізації та військових дій // *Scientific Bulletin of Kherson State*

- University. Series Geographical Sciences. 2024. № 21. С. 36–46.
9. **Хильчевський В. К.** Водні та збройні конфлікти – класифікаційні особливості: у світі та в Україні // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 1(63). С. 6–19.
  10. **Khilchevskiy V. K., Mezentsev K. V.** Water conflicts and Ukraine: Donbas region // Proceedings of the 15th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2021. P. 1–5.
  11. **Schillinger J., Özerol G., Güven-Griemert Ş., Heldeweg M.** Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management // WIREs Water. 2020. Vol. 7, no. 6. Art. e1480.
  12. **Tignino M., Irmakkesen Ö.** The Geneva List of Principles on the Protection of Water Infrastructure // Brill Research Perspectives in International Water Law. 2020. Vol. 5, no. 2. P. 3–104.
  13. **Rawtani D., Gupta G., Khatri N., Rao P. K., Hussain C. M.** Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 850. Art. 157932.
  14. **Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., Barceló D.** Russian-Ukrainian war impacts the total environment // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 837. Art. 155865.
  15. **Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A., Khilchevskiy V., De Meester L., Stepanenko S., Trokhymenko G., Hernández-Agüero J. A.** Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure // Nature Sustainability. 2023. Vol. 6, no. 5. P. 578–586.
  16. **Snizhko S., Didovets I., Bronstert A.** Ukraine’s water security under pressure: Climate change and wartime // Water Security. 2024. Vol. 22. Art. 100182.
  17. **Afanasyev S.** Impact of war on hydroecosystems of Ukraine: Conclusion of the first year of the full-scale invasion of Russia (a review) // Hydrobiological Journal. 2023. Vol. 59, no. 4. P. 3–16.
  18. **Saravanan P., Anbukumaran P., Nandhini G. R., Kiruthika K.** Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: Sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment // Environment International. 2024. Vol. 192. Art. 108975.
  19. **Строкаль В. П., Ковпак А. В.** Причинно-наслідкові зв’язки забруднення біогенними елементами басейну річки Дніпра: синтез теоретичних даних // Екологічні науки. 2021. № 2(35). С. 37–44.
  20. **Строкаль В. П., Ковпак А. В.** Екологічний стан природних вод суббасейну Верхнього Дніпра та Десни: показники якості води і можливі причини їх погіршення // Біологічні системи: теорія та інновації. 2021. Т. 12, № 2. С. 24–40.
  21. **Моніторинг** та екологічна оцінка водних ресурсів України / Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://monitoring.davr.gov.ua/> (дата звернення: 10.03.2024).
  22. **Стан** забруднення поверхневих вод України / Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/> (дата звернення: 10.03.2024).
  23. **Ukraine** Third Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3) / World Bank, Government of Ukraine, European Union, United Nations. Washington, DC, 2024. <https://doi.org/10.1596/41058>
  24. **План** управління річковим басейном Дніпра на 2025-2030 роки / Державне агентство водних ресурсів України. Київ, 2024.

#### REFERENCES

1. **Udod, V. M., Madzhd, S. M., & Kulynych, Y. I. (2017).** Regional features of the structural and functional organization of the development of technogenically altered aquatic ecosystems. *Visnyk of Kremenchuk National University*, (3), 104. [in Ukrainian]
2. **Romashchenko, M. I., Yatsyuk, M. V., & Dehtyar, O. O. (2018).** Conceptual principles of water management reform in Ukraine. *Bulletin of Agrarian Science*, 12(789), 9–18. Retrieved from [https://agrovisnyk.com/pdf/en\\_2018\\_12\\_02.pdf](https://agrovisnyk.com/pdf/en_2018_12_02.pdf)
3. **Makarenko, N., & Budak, O. (2017).** Waste management in Ukraine: Municipal solid waste landfills and their impact on rural areas. *Annals of Agrarian Science*, 15(1), 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.02.009>
4. **Klymchyk, O., Pinkina, T., & Pinkin, A. (2018).** Implementation of the integrated water resources management system based on the basin principle. *ScienceRise*, 4(0), 36–40. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.129789>
5. **Strokal, V. P., & Kovpak, A. V. (2020).** The basin approach for water resources management in Ukraine: the SWOT analysis. *Biological Systems: Theory and Innovation*, 11(4). <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.004>
6. **Voitenko, L. V., & Kochetov, Ya. V. (2021).** Comprehensive water quality assessment: Problems and solutions. *Chysta voda: fundamentalni*,

прикладni ta promyslovi aspekty, 99–103. [in Ukrainian].

7. **Khilchevskiy, V. K., Grebin, V. V., & Zabokrytska, M. R. (2019).** Abiotic Typology of the Rivers and Lakes of the Ukrainian Section of the Vistula River Basin and its Comparison with Results of Polish Investigations. *Hydrobiological Journal*, 55(3), 95–102. <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v55.i3.110>

8. **Tsyhanenko-Dziubenko, I. Yu., Kireitseva, H. V., Herasymchuk, O. L., Skyba, H. V., & Khomenko, S. V. (2024).** Features of planning and implementation of monitoring of small rivers under urbanization and military actions. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series Geographical Sciences*, (21), 36–46. <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2024-21-4>

9. **Khilchevskiy, V. K. (2022).** Water and armed conflicts – classification features: in the world and in Ukraine *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 1(63), 6–19. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.1.1>

10. **Khilchevskiy, V. K., & Mezentsev, K. V. (2021).** Water conflicts and Ukraine: Donbas region. *Proceedings of the 15th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2004>

11. **Schillinger, J., Özerol, G., Güven-Griemert, Ş., & Heldeweg, M. (2020).** Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water*, 7(6), e1480. <https://doi.org/10.1002/wat2.1480>

12. **Tignino, M., & Irmakkesen, Ö. (2020).** The Geneva List of Principles on the Protection of Water Infrastructure. *Brill Research Perspectives in International Water Law*, 5(2), 3–104. Retrieved from [https://brill.com/view/journals/rpwl/5/2/article-p3\\_1.xml](https://brill.com/view/journals/rpwl/5/2/article-p3_1.xml)

13. **Rawtani, D., Gupta, G., Khatri, N., Rao, P. K., & Hussain, C. M. (2022).** Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of the Total Environment*, 850, 157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>

14. **Pereira, P., Bašić, F., Bogunovic, I., & Barceló, D. (2022).** Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of the Total Environment*, 837, 155865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>

15. **Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskiy, V., De Meester, L., Stepanenko, S., Trokhymenko, G., & Hernández-Agüero, J. A. (2023).** Impact of the

Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 6(5), 578–586. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>

16. **Snizhko, S., Didovets, I., & Bronstert, A. (2024).** Ukraine’s water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*, 22, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>

17. **Afanasyev, S. (2023).** Impact of war on hydroecosystems of Ukraine: Conclusion of the first year of the full-scale invasion of Russia (a review). *Hydrobiological Journal*, 59(4), 3–16. <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v59.i4.10>

18. **Saravanan, P., Saravanan, V., Rajeshkannan, R., Arnica, G., Rajasimman, M., Baskar, G., & Pugazhendhi, A. (2024).** Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment. *Environmental Research*, 258, 119440. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119440>

19. **Strokal, V. P., & Kovpak, A. V. (2021).** Causal relationships of nutrient pollution in the Dnipro River basin: Synthesis of theoretical data. *Ecological Sciences*, 2(35), 37–44. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco-2-35.6>

20. **Strokal, V. P., & Kovpak, A. V. (2021).** Ecological status of natural waters in the Upper Dnipro and Desna sub-basins: Water quality indicators and possible causes of deterioration. *Biological Systems: Theory and Innovation*, 12(2), 24–40. <https://doi.org/10.31548/biologiya2021.02.003>

21. **State Agency of Water Resources of Ukraine. (2024).** Monitoring and environmental assessment of water resources of Ukraine. Retrieved from <https://monitoring.davr.gov.ua/> (accessed on March 10, 2024)

22. **Borys Sreznevskiy Central Geophysical Observatory. (2024).** State of pollution of surface waters of Ukraine. Retrieved from <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/> (accessed on March 10, 2024)

23. **World Bank, Government of Ukraine, European Union, & United Nations. (2024).** Ukraine Third Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3). Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/099021324115085807>

24. **State Agency of Water Resources of Ukraine. (2024).** Dnipro River Basin Management Plan for 2025-2030. Kyiv, Ukraine. Retrieved from [https://davr.gov.ua/fls18/PURBDnipro7\\_ukr.pdf](https://davr.gov.ua/fls18/PURBDnipro7_ukr.pdf) [in Ukrainian]

## Assessment of the impact of military actions on aquatic ecosystems

*Olena Zhukova, Iryna Korduba, Ihor Prokopenko, Pavlo Starzhynskyi*

**Abstract.** The article examines the complex and cumulative impact of military actions on the state of aquatic ecosystems in Ukraine under conditions of prolonged armed conflict and continuous anthropogenic pressure. The main mechanisms of pollution of water bodies by toxic components of explosives, heavy metals, and products of ammunition degradation are considered. It is shown that, once introduced into the aquatic environment, these substances form persistent xenobiotics that accumulate in trophic chains, disrupt the metabolic processes of hydrobionts, and reduce the natural self-purification potential of water bodies. Based on the results of long-term field monitoring studies of a section of the Dnipro River within the urban ecosystem of Kyiv (river profile 922-825 km), a spatial analysis of the dynamics of hydrochemical and hydrobiological indicators was carried out. A pronounced deterioration in the ecological state of the aquatic ecosystem downstream within the urbanised profile was established, with the maximum occurring in the zone affected by the discharges from the Bortnychi Aeration Station. This is manifested in a decrease in dissolved oxygen content, an increase in organic and nutrient loading, and the exceedance of standards for ammonium nitrogen content. In addition, a reduction in phytoplankton species diversity was recorded, with the dominance of pollution-tolerant cyanobacteria, in particular the toxin-producing species *Microcystis aeruginosa*. The calculated indicators, in particular the integral techno-capacity index and the index of the intensity of internal water-body processes, made it possible to quantify the cumulative nature of river ecosystem degradation and the reduction of its assimilative capacity. Based on the research results, a system of parameters for assessing the structural and ecological transformation of watercourses, a classification of the main factors of cumulative impact, and a phased model for the restoration of degraded aquatic ecosystems are proposed. The proposed scientific and methodological approach is of practical importance for improving environmental monitoring, assessing ecological risks, substantiating priority environmental protection decisions, and planning measures for the post-war rehabilitation of water resources.

**Keywords:** aquatic ecosystems, military actions, xenobiotics, self-purification, urban ecosystems, Dnipro River, monitoring.

*Дата першого надходження рукопису 13.03.2026*

*Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування 26.03.2026*

*Дата публікації 31.03.2026*