

Є.М. Пасічник<sup>1</sup>  
С. М. Кватернюк<sup>1</sup>  
С.В. Мандебура<sup>2</sup>  
Д.Р. Латуша<sup>1</sup>  
М. П. Максименко<sup>1</sup>  
В.О. Шевченко<sup>1</sup>

## КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЇ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ВПЛИВОМ КЛІМАТИЧНИХ ТА МІЛІТАРНИХ ЧИННИКІВ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

<sup>2</sup>Уманський державний педагогічний університету ім. Павла Тичини

### **Анотація**

*У статті проведено системний аналіз трансформації водних ресурсів України в умовах глобального потепління та збройної агресії. Досліджено гідрологічні тренди, що свідчать про критичне обміління малих річок, зміну сезонного режиму великих водних артерій та посилення водного стресу, особливо у південних та східних регіонах країни. Встановлено, що темпи регіонального потепління в Україні перевищують середньоглобальні показники, що призводить до інтенсивної аридизації та розширення посушливих зон на північ. Особливу увагу приділено кількісній оцінці вологозабезпеченості, яка за рівнем внутрішніх відновлюваних ресурсів класифікує Україну як державу зі структурним дефіцитом води. Проаналізовано якісну деградацію екосистем внаслідок евтрофікації та термічного стресу. Розглянуто феномен «аквациду» – масштабного руйнування гідротехнічної інфраструктури та мілітаризації водних об'єктів, що створює безпрецедентні загрози національній безпеці. Обґрунтовано необхідність переходу до інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом та впровадження природоорієнтованих адаптаційних стратегій.*

**Ключові слова:** зміна клімату, водні ресурси, екологічна безпека, гідрологічний режим, аридизація, водний стрес, аквацид, адаптаційні стратегії.

### **Abstract**

*The article provides a systematic analysis of the transformation of Ukraine's water resources amidst global warming and armed aggression. It investigates hydrological trends that indicate a critical depletion of small rivers, shifts in the seasonal regimes of major water arteries, and escalating water stress, particularly in the southern and eastern regions of the country. The study establishes that the rates of regional warming in Ukraine exceed global averages, leading to intensive aridization and the northward expansion of arid zones. Particular attention is paid to the quantitative assessment of water availability, which, based on internal renewable resources, classifies Ukraine as a state with a structural water deficit. Furthermore, the paper analyzes the qualitative degradation of ecosystems resulting from eutrophication and thermal stress. It examines the phenomenon of 'aquacide' – the large-scale destruction of hydraulic infrastructure and the militarization of water bodies, posing unprecedented threats to national security. The findings substantiate the necessity of transitioning to Integrated Water Resources Management (IWRM) based on the basin principle and the implementation of nature-based adaptation strategies.*

**Keywords:** climate change, water resources, environmental security, hydrological regime, aridization, water stress, aquacide, adaptation strategies.

### **Вступ**

На сучасному етапі розвитку цивілізації доступ до безпечної питної води визнано фундаментальним правом людини та ключовим фактором стабільності національних економік. Для України проблема трансформації водних ресурсів набула критичного значення через синергетичний вплив двох дестабілізуючих факторів: глобальної зміни клімату та повномасштабної збройної агресії. Темпи зростання середньорічної температури в Україні перевищують середньоглобальні показники, що провокує інтенсивну аридизацію територій, зміну гідрологічного режиму річок та деградацію водних еко-

систем. Водночас військові дії спричинили пряме руйнування критичної гідротехнічної інфраструктури, що призвело до явища «аквациду» та поставило під загрозу екологічну та національну безпеку держави. За рівнем внутрішніх відновлюваних водних ресурсів Україна класифікується як країна зі структурним дефіцитом води, що в умовах сучасних викликів вимагає негайного перегляду стратегій водокористування.

Метою статті є комплексне дослідження трансформації водних ресурсів України під впливом кліматичних змін та воєнних дій, а також обґрунтування адаптаційних стратегій інтегрованого управління водним потенціалом для забезпечення національної безпеки.

### Результати дослідження

Проведене дослідження дозволило ідентифікувати критичні зсуви у гідрологічному циклі України, які відбуваються під впливом синергетичної дії глобального потепління та масштабних військових руйнувань. Встановлено, що середня річна температура повітря в межах країни зростає зі швидкістю понад  $0,4^{\circ}\text{C}$  за десятиліття, що значно випереджає середньосвітові показники та провокує інтенсивну аридизацію територій. Це призвело до стратегічного зміщення кліматичних зон на 100–150 км у північному напрямку: південні степи поступово трансформуються у зони з ознаками напівпустель, а Полісся втрачає характерне надлишкове зволоження, переходячи у стан нестійкого водного балансу. Гідрологічні спостереження підтверджують катастрофічне обміління малих річок, водність яких у літній період знизилася на 20–50%, а понад 10 тисяч малих водотоків фактично припинили своє існування, що руйнує локальні екосистеми та позбавляє сільські громади джерел технічного водопостачання.

Для моніторингу якісних показників водних екосистем та ідентифікації зон мілітарного забруднення в умовах обмеженого наземного доступу було застосовано методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) на основі мультиспектральних даних супутників Sentinel-2 та Landsat 8/9. Використання специфічних спектральних індексів, зокрема NDWI для делінеації водних дзеркал та модифікованих алгоритмів аналізу інтенсивності відбиття у червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах, дозволило дистанційно оцінити рівень евтрофікації через концентрацію хлорофілу-а та зафіксувати аномальне зниження прозорості води внаслідок руйнування гідротехнічних споруд. Інтеграція термальних каналів (TIRS) забезпечила можливість детекції зон теплового забруднення та моделювання кисневого режиму, а синтез отриманих мультиспектральних знімків у середовищі ГІС дозволив візуалізувати динаміку поширення забруднювачів та провести ретроспективну оцінку деградації водних об'єктів, що підтверджує ефективність супутникового моніторингу як ключового інструменту забезпечення національної екологічної безпеки [1-3].

Оцінка кількісних показників вологозабезпеченості свідчить про перехід України до категорії держав із вираженим «водним стресом». За рівнем внутрішніх відновлюваних водних ресурсів, що становить близько 1,25 тис. м<sup>3</sup> на особу на рік, Україна посідає одне з останніх місць у Європі, що в умовах прогнозованого дефіциту становить фундаментальну загрозу для аграрного сектору та енергетики. Ситуація критично загострилася внаслідок військової агресії та феномену «аквациду», найбільш масштабним проявом якого стало руйнування Каховської ГЕС. Це призвело до втрати понад 18 км<sup>3</sup> прісної води, осушення 150 тис. га родючих земель та знищення унікальних заплавних біотопів Нижнього Дніпра. Мілітаризація водних об'єктів та пряме ураження очисних споруд спричинили неконтрольоване хімічне забруднення продуктами детонації боєприпасів та розливами паливно-мастильних матеріалів, що критично знизило самоочисну здатність річкових систем.

Окрему увагу в ході дослідження приділено якійсь деградації поверхневих вод. Дистанційний моніторинг та аналіз температурного режиму великих водосховищ Дніпровського каскаду виявив стійку тенденцію до аномального прогрівання поверхневих шарів води до  $28\text{--}30^{\circ}\text{C}$  у літній період. Такий термічний режим у поєднанні з надлишковим надходженням біогенних елементів (азоту та фосфору) провокує вибухоподібний розвиток синьо-зелених водоростей (*Microcystis aeruginosa* тощо). Гіпоксія (зниження концентрації кисню нижче  $4\text{ мг/дм}^3$ ) та накопичення ціанотоксинів призводять до масової загибелі гідробіонтів і роблять воду непридатною для питних потреб без впровадження високовартісних технологій доочищення. Таким чином, кумулятивний ефект кліматичної аридизації та військової деструкції інфраструктури вимагає негайного переходу до адаптивної моделі інтегрованого управління водними ресурсами, заснованої на басейновому принципі та жорсткому моніторингу екологічних ризиків.

## Висновки

Комплексний аналіз трансформації водних ресурсів України вказує на критичне загострення дефіциту відновлюваних джерел вологозабезпечення (до рівня 1,25 тис. м<sup>3</sup>/рік на особу) внаслідок синергетичного впливу кліматичної аридизації, що спричиняє зміщення природних зон на 100–150 км на північ, та масштабної деструкції гідротехнічної інфраструктури через військову агресію. Встановлено, що поєднання екстремального прогріву поверхневих вод (до 28–30°C) з явищами «аквациду» призвело до незворотної деградації річкових екосистем, інтенсивної евтрофікації та втрати стратегічних запасів прісної води, що вимагає негайної імплементації інтегрованого басейнового управління та адаптаційних стратегій для гарантування національної екологічної безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Мультиспектральні методи та засоби комп'ютеризованого екологічного моніторингу водних об'єктів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 314 с.
2. Погребенник В. Д., Петрук В. Г., Паламар М. І., Походило Є. В., Кватернюк С. М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 1. Математичне моделювання та принципи побудови систем оперативного контролю : колективна монографія. Житомир : Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 416 с.
3. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Кватернюк С. М. Дистанційний спектрополяриметричний контроль полідисперсних аерозольних середовищ в екологічному моніторингу : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016. 187 с.

*Пасічник Єва Миколаївна* – студентка групи ЕКО-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [yevapesichnyk07@gmail.com](mailto:yevapesichnyk07@gmail.com).

*Кватернюк Сергій Михайлович* – д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [serg.kvaternuk@gmail.com](mailto:serg.kvaternuk@gmail.com).

*Мандебура Святослав Васильович* – викладач кафедри хімії, екології та методики їх навчання Уманського державного педагогічного університету ім. Павла Тичини, м. Умань, e-mail: [eko14b.mandebura@gmail.com](mailto:eko14b.mandebura@gmail.com).

*Латуша Дмитро Русланович* – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [dima.latusha27@gmail.com](mailto:dima.latusha27@gmail.com).

*Максименко Максим Павлович* – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [obzzorator@gmail.com](mailto:obzzorator@gmail.com).

*Шевченко Валентин Олександрович* – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [raptor.sad77@gmail.com](mailto:raptor.sad77@gmail.com).

*Pasichnyk Yeva M.* – student of group ECO-23b, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [yevapesichnyk07@gmail.com](mailto:yevapesichnyk07@gmail.com).

*Serhii M. Kvaterniuk* – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [serg.kvaternuk@gmail.com](mailto:serg.kvaternuk@gmail.com).

*Sviatoslav V. Mandebura* – Lecturer of the Department of Chemistry, Ecology and Methods of their teaching, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, e-mail: [eko14b.mandebura@gmail.com](mailto:eko14b.mandebura@gmail.com).

*Dmytro R. Latusha* – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [dima.latusha27@gmail.com](mailto:dima.latusha27@gmail.com).

*Maxim P. Maksimenko* – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [obzzorator@gmail.com](mailto:obzzorator@gmail.com).

*Valentyn O. Shevchenko* – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [raptor.sad77@gmail.com](mailto:raptor.sad77@gmail.com).