

UDC 628.16:556.53

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.2.51>

MODERN APPROACHES TO WATER QUALITY MONITORING FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE IMPULSE FLUSHING METHOD OF THE INHULETS RIVER

Kovalenko R. Yu. – PhD in Technical Sciences, Associate Professor
at the Department of Hydraulic Construction, Water and Electrical Engineering
Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID ID: 0000-0002-6185-577X
Scopus-Author ID: 57202211226

The article examines modern approaches to water quality monitoring aimed at improving the efficiency of the impulse flushing method in the Inhulets River, which is a strategically important water artery for irrigation and domestic water supply. The river experiences significant anthropogenic pressure due to the discharge of mine waters from enterprises in the Kryvyi Rih industrial region, leading to chemical pollution, including elevated concentrations of chlorides, sulfates, and heavy metals. The condition of the river has also deteriorated as a result of military actions that have affected the integrity of hydraulic structures and reduced the self-purification capacity of the aquatic environment. The study analyzes the limitations of the current flushing regulations, which are based on periodic gate openings at the Karachunivske Reservoir without consideration of the river's actual hydrochemical condition. This approach does not ensure stable water purification and does not allow for timely responses to changes in environmental conditions, which is particularly important in the context of climate change and ongoing pollution.

An alternative – a combined – monitoring approach is proposed, integrating geographic information systems (GIS), unmanned aerial vehicles (UAVs), and stationary automated sensor stations capable of real-time detection of changes in water quality. The system enables the assessment of key hydrochemical parameters, spatial analysis and modeling, and the formulation of management decisions based on current data. This approach increases the responsiveness to ecological threats and minimizes the consumption of water resources, as discharges from the reservoir are carried out only when necessary.

The study also proposes a conceptual model of a local information system for flushing management, which provides data archiving, visualization of monitoring results, automatic alerts for critical deviations, and the generation of daily reports. It is proposed to adapt this model for other polluted water bodies in Ukraine with similar anthropogenic pressures. The analysis confirms that the implementation of such a system would not only improve the ecological condition of the Inhulets River basin but also promote the rational and sustainable use of water resources. Practical application of the proposed methodology would allow for the revision of current regulations and the development of an efficient environmental monitoring system focused on prevention rather than the mere recording of consequences.

Key words: Inhulets River, water quality, monitoring, impulse flushing method, GIS, UAVs, automated stations, water resource management.

Коваленко Р. Ю. Сучасні підходи до моніторингу якості води для підвищення ефективності імпульсного методу промивки річки Інгулець

У статті розглянуто сучасні підходи до моніторингу якості води з метою підвищення ефективності імпульсного методу промивки річки Інгулець, яка є стратегічно важливою водною артерією для потреб зрошення та господарсько-питного водопостачання. Річка зазнає значного техногенного навантаження внаслідок скидів шахтних вод підприємств Криворізького промислового району, що призводить до хімічного забруднення, зокрема перевищення концентрацій хлоридів, сульфатів та важких металів. Стан річки погіршився також унаслідок воєнних дій, що вплинули на цілісність гідроспоруд, а також через зниження здатності до самоочищення водного середовища. У дослідженні проаналізовано обмеження чинний регламент промивки, який базується на періодичному відкритті шлюзів Карачунівського водосховища без урахування актуального гідрохімічного стану річки. Такий метод не забезпечує стабільного очищення води та не дозволяє оперативно

реагувати на зміну екологічної ситуації, що особливо важливо в умовах змін клімату та інтенсивного забруднення.

Запропоновано альтернативний – комбінований підхід до моніторингу, який поєднує геоінформаційні системи (ГІС), безпілотні літальні апарати (БПЛА) та стаціонарні автоматизовані сенсорні станції, здатні фіксувати зміни у якості води в реальному часі. Система дозволяє оцінювати основні гідрохімічні показники, здійснювати просторовий аналіз та моделювання, а також приймати управлінські рішення на основі актуальних даних. Такий підхід підвищує швидкість реагування на екологічні виклики та мінімізує витрати водних ресурсів, оскільки скиди з водосховища здійснюються лише за необхідності.

У роботі запропоновано концептуальну модель локальної інформаційної системи управління промивками, яка передбачає архівацію даних, візуалізацію результатів моніторингу, автоматичне сповіщення про критичні відхилення та формування щоденної звітності. Запропоновано адаптувати цю модель для інших водозабруднених об'єктів України зі схожим техногенним навантаженням. Проведений аналіз підтверджує, що впровадження подібної системи сприятиме не лише покращенню екологічного стану басейну річки Інгулець, а й забезпечить умови для раціонального та сталого використання водних ресурсів. Практична реалізація методики дозволить оновити чинні регламенти та створити ефективну систему екологічного моніторингу, орієнтовану на попередження, а не лише констатацію наслідків.

Ключові слова: річка Інгулець, якість води, моніторинг, імпульсний метод промивки, ГІС, БПЛА, автоматизовані станції, управління водними ресурсами.

Introduction. The Inhulets River is one of the most important water arteries of Ukraine, providing water for irrigation and domestic supply. Its ecological state has significantly deteriorated due to intensive industrial activity, the agricultural sector, and especially now as a result of military actions. According to the State Agency of Water Resources of Ukraine, 88 % of rivers in the country are classified as having poor, very poor, or catastrophic ecological status, while only 3 % are considered to be in satisfactory condition [1].

Relevance of the study. The relevance of the study is driven by the deterioration of water quality in the Inhulets River, caused by intensive economic activity, discharge of return waters from mining enterprises, military actions, and climate change [2]. Exceedances of regulatory limits for total dissolved solids, sulfates, and chlorides have been recorded at three monitoring points [3].

The main environmental problems of the river include: water pollution (including discharges from the Kryvbas industrial region) [4], damage to hydraulic structures during missile strikes in 2022 [2], reduced self-purification capacity due to agricultural and industrial impacts [5], and loss of biodiversity.

Problem of water quality and the need to improve monitoring. Existing methods of water quality monitoring in the Inhulets River are insufficient for timely detection of environmental threats and control of anthropogenic impacts. According to the State Agency of Water Resources, the main pollutants remain chlorides, sulfates, ammonium, nitrates, and heavy metals originating from the discharge of mine waters in the Kryvbas region [1]. The previous monitoring system was limited to basic indicators and did not register specific contaminants such as pesticides and pharmaceutical residues [3]. Regulated discharges cause periodic increases in mineralization, as confirmed by data from Kharkiv National Technical University [4], which highlights the need to implement automated continuous monitoring systems.

Research objective. The aim of this study is to enhance the efficiency of the proposed impulse flushing method for the Inhulets River by implementing modern water quality monitoring systems. This will enable timely detection and response to environmental threats, improve the overall condition of the river, and ensure its sustainable use.

Review of previous studies. The traditional flushing method currently applied in the Inhulets River involves the opening of sluice gates at the Karachunivske Reservoir

The conventional monitoring system includes periodic sampling at control points followed by laboratory analysis of physico-chemical parameters. However, this method has significant limitations – irregular sampling, low frequency of observations, and a limited set of indicators, which prevents timely response to changes in water quality [3].

Presentation of the main material. The object of the study is the Inhulets River along the stretch from the Karachunivske Reservoir to its mouth. This section is subject to intensive anthropogenic pressure due to the discharge of mine waters from industrial enterprises in the Kryvyi Rih industrial region, posing risks to irrigation, water supply, and ecological balance [4].

This format enables not only the detection of pollution events but also the prediction of the spread dynamics of chemical compounds, significantly enhancing the effectiveness of water regime management. Figure 1 shows a schematic structure of the combined monitoring system, illustrating the interaction of its components and data transmission pathways.

The study focused on key hydrochemical parameters: concentrations of chlorides, sulfates, dissolved oxygen, BOD (biochemical oxygen demand), and total hardness. The

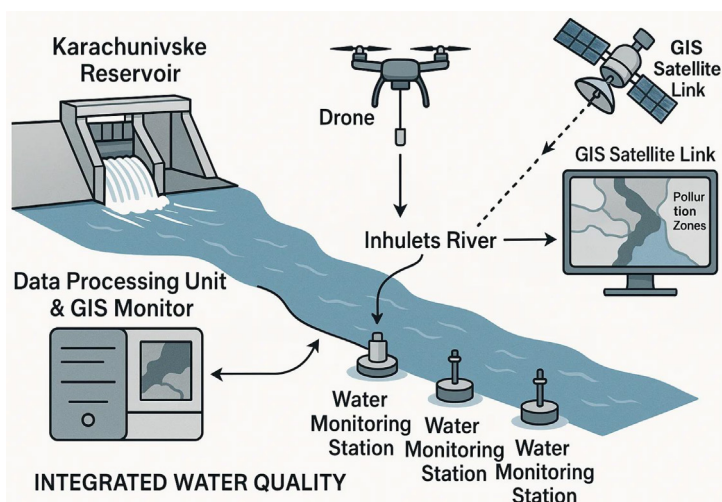


Fig. 1. Diagram of the combined water quality monitoring system in the Inhulets River

selection of indicators is based on the requirements of DSTU 2730:2015 and SanPiN 2.2.4-171-10 [7, 8].

The current flushing practice is carried out according to the regulations of the Interagency Commission through periodic opening of reservoir sluice gates, but without considering the actual water quality status. Monitoring is limited to several control points and mainly focuses on chloride contamination, without automation or sufficient measurement frequency [3–5].

Insufficient responsiveness and a narrow range of parameters do not allow for real-time assessment of water pollution levels, which complicates the decision-making process in water management.

The proposed system includes:

- the use of GIS for spatial analysis and pollution modeling based on satellite data [9];
- the application of UAVs for rapid data collection in hard-to-reach areas [10];
- the deployment of autonomous stations at critical control points with automatic data transmission via GSM or LoRaWAN [3].

The integration of these elements enables timely detection of excessive concentrations of pollutants and adaptive regulation of water discharges. The system reduces reliance on periodic laboratory analyses and optimizes discharge volumes, contributing to more efficient use of water resources.

Based on international experience, the key advantages of the combined monitoring system have been identified: operational responsiveness, spatial coverage, integration of data from various sources, and the ability to perform preliminary modeling of potential contamination zones [9, 10].

The analysis confirms the feasibility of implementing the proposed water quality management system for the Inhulets River. The developed approach is based on successful monitoring practices already applied in the European Union and Canada [3, 9, 10]. Given the similarity of anthropogenic pressures, these methods can be adapted to the conditions of the Inhulets basin.

One of the key benefits of the combined monitoring method is the integration of observation results into digital decision-support tools in the field of water resource management. This enables the formation of adaptive flushing scenarios for the river, depending on hydrometeorological conditions, seasonal pollution dynamics, and the projected impact on water intake facilities. As a result, the system enables a shift from reactive detection of violations to their prevention through predictive modeling.

As a result of the study, a general understanding of the functional requirements for a local water quality monitoring information system has been developed. Such a system should combine data visualization, parameter archiving, automatic notification of critical concentration levels, and the generation of daily reports. Due to its universal structure, the system can be adapted for use on other water bodies in Ukraine with similar anthropogenic pressure and hydrological characteristics.

Conclusions. The conducted research substantiates the effectiveness of a combined approach to water quality monitoring in the Inhulets River, which involves the integration of geographic information systems (GIS), unmanned aerial vehicles (UAVs), and stationary automated monitoring stations. This approach enables the collection of hydrochemical data in real time, allowing for the operational regulation of water discharge volumes from the Karachunivske Reservoir.

It has been established that the implementation of a modern monitoring system contributes to the reduction of key pollutants, decreases anthropogenic pressure on

the ecosystem, and increases the efficiency of the impulse flushing method. Practical steps for system implementation within the existing infrastructure have been proposed, including the creation of a local GIS-based digital platform and modernization of technical equipment.

The need to revise the current flushing regulation for the Inhulets River has been substantiated, taking into account modern monitoring technologies that enable adaptive water resource management based on the actual condition of the aquatic environment.

Further research should focus on adapting the combined monitoring system to the conditions of other polluted water bodies in Ukraine, expanding the range of controlled parameters, and developing algorithms for optimizing flushing regimes depending on pollution levels.

BIBLIOGRAPHY:

1. Державне агентство водних ресурсів України. Огляд стану водних ресурсів України за 2021 рік. Київ, 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.davr.gov.ua>
2. Коваленко Р. Ю. Інноваційний підхід до моніторингу якості води в річці Інгулець для ефективного управління її екологічним станом // Матеріали наукової конференції. Херсон : ХДАЕУ, 2024. С. 52–54.
3. Коваленко Р. Ю., Семідетна О. В. Інноваційний підхід до моніторингу якості води в річці Інгулець для ефективного управління її екологічним станом // Матеріали наукової конференції. Херсон : ХДАЕУ, 2024. С. 57.
4. Аніщенко Л. Я., Полозенцева В. О., Свердлов Б. С., Винокуров М. О. Оцінка впливу регульованого скидання високомінералізованих шахтних вод Кривбасу на господарське використання р. Інгулець // Інженерія природокористування. 2019. № 4(14). С. 91–102.
5. Kovalchuk V., Kovalchuk P., Yatsyuk M., Kovalenko R., Demchuk O., Balykhina H. Системна модель інтегрованого управління водними ресурсами р. Інгулець за басейновим принципом // Меліорація і водне господарство. 2020. № 1. С. 37–48. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-219>
6. Коваленко Р. Ю. Покращення моніторингу якості води за допомогою супутникових знімків при імпульсному методі промивки // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні підходи до управління агробізнесом: оптимізація бізнес-процесів за допомогою сучасних технологій». Херсон : ХДАЕУ, 2024. С. 585.
7. ДСТУ 2730:2015. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. К. : УкрНДНЦ, 2016. 9 с.
8. Державні санітарні правила і норми ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ : МОЗ України, 2010. 34 с.
9. Copernicus EMS. Water and environment monitoring [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/water-monitoring> (дата звернення: 01.04.2025).
10. Altomaxx Technologies. Drone Bathymetry Services: Survey and Water Quality Monitoring [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://altomaxx.com/service/bathymetry/> (дата звернення: 02.04.2025).

REFERENCES:

1. Derzhavne ahentstvo vodnykh resursiv Ukrainy. (2022). *Ohliaid stanu vodnykh resursiv Ukrainy za 2021 rik* [Review of the state of Ukraine's water resources for 2021]. Kyiv, Ukraine. Retrieved from <https://www.davr.gov.ua>
2. Kovalenko, R. Yu. (2024). *Innovatsiyni pidkhid do monitorynhu yakosti vody v ritsi Inhulets dlia efektyvnoho upravlinnia yii ekolohichnym stanom* [An innovative

approach to water quality monitoring in the Inhulets River for effective management of its ecological state]. In *Proceedings of the Scientific Conference* (pp. 52–54). Kherson, Ukraine : KhDAEU.

3. Kovalenko, R. Yu., & Semidetna, O. V. (2024). *Innovatsiyni pidkhid do monitorynhu yakosti vody v ritsi Inhulets dlia efektyvnoho upravlinnia yii ekolohichnym stanom* [An innovative approach to water quality monitoring in the Inhulets River for effective management of its ecological state]. In *Proceedings of the Scientific Conference* (p. 57). Kherson, Ukraine : KhDAEU.

4. Anishchenko, L. Ya., Polozentseva, V. O., Sverdlov, B. S., & Vynokurov, M. O. (2019). *Otsinka vplyvu rehuliovanoho skydannya vysokominalizovanykh shakhtnykh vod Kryvbasu na hospodarske vykorystannia r. Inhulets* [Assessment of the impact of regulated discharge of highly mineralized mine waters of Kryvbas on the economic use of the Inhulets River]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*, 4(14), 91–102.

5. Kovalchuk, V., Kovalchuk, P., Yatsyuk, M., Kovalenko, R., Demchuk, O., & Balykhina, H. (2020). System model of integrated water resources management of the Inhulets River based on the basin principle. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, (1), 37–48. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-219>

6. Kovalenko, R. Yu. (2024). *Pokrashchennia monitorynhu yakosti vody za dopomohoiu suputnykovykh znimkiv pry impul'snomu metode promyvky* [Improving water quality monitoring using satellite imagery under the impulse flushing method]. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Innovative Approaches to Agribusiness Management: Optimizing Business Processes Using Modern Technologies"* (p. 585). Kherson, Ukraine : KhDAEU.

7. DSTU 2730:2015. (2016). *Yakist pryrodnoi vody dlia zroshennia. Ahronomichni kryterii* [Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria]. Kyiv, Ukraine : UkrNDNTs.

8. DSANPIN 2.2.4-171-10. (2010). *Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoi dlia spozhyvannia liudynoiu* [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. Kyiv, Ukraine : Ministry of Health of Ukraine.

9. Copernicus Emergency Management Service. (2025). *Water and environment monitoring*. Retrieved April 1, 2025, from <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/water-monitoring>

10. Altomaxx Technologies. (2025). *Drone bathymetry services: Survey and water quality monitoring*. Retrieved April 2, 2025, from <https://altomaxx.com/service/bathymetry/>