

## АНОТАЦІЯ

*Свиридов Ю.В.* Комплексна оцінка та прогнозування якості води української частини річки Дунай з використанням геоінформаційної технології – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 101 «Екологія». – Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України

Одним з перспективних напрямів вдосконалення систем екологічного моніторингу якості поверхневих вод Дунаю є широке застосування сучасних можливостей геоінформаційних технологій. В останні роки в Україні були розроблені декілька регіональних геоінформаційних систем (ГІС) екологічного моніторингу, а також загальнодержавних ГІС моніторингу якості поверхневих вод.

Розроблені ГІС мають ряд нововведень, але в цілому спрямовані на унаочнення відображення існуючих результатів досліджень якості води. Але аналітичні можливості сучасних ГІС використані не в повній мірі. Екологічні дослідження Українські Дельти Дунаю особливо потребують комплексної екологічної оцінки у часі та у просторі.

Геоінформаційна модель, яка пропонується у роботі, спрямована на вирішення таких задач екологічного моніторингу як комплексна оцінка та прогнозування якості річкової води, виявлення тенденцій динаміки гідрохімічних та альгологічних показників, оцінка впливу джерел забруднення на стан річкової води.

При розробленні нової геоінформаційної моделі враховувалася необхідність вирішення за допомогою ГІС наступних екологічних завдань:

- 1) накопичення результатів моніторингу екологічного стану річкових вод;

- 2) формулювання структури запиту для пошуку необхідних даних згідно із запропонованого списку;
- 3) оцінки стану річкових вод за окремими показниками і комплексної оцінки їх якості;
- 4) виявлення тенденцій змін у часі і прогнозування зміни стану річкових вод;
- 5) оцінки впливу точкових джерел забруднення на якість річкових вод;
- 6) виявлення кореляційних зв'язків між гідробіологічними та гідрохімічними показниками;
- 7) наочного відображення даних моніторингу екологічного стану річкових вод.

Виходячи із сформульованих завдань була запропонована структура геоінформаційної моделі масиву поверхневих вод, в якій підсистема обробки та аналізу даних має нові блоки, що реалізують виконання таких додаткових функцій ГІС екологічного моніторингу:

- класифікації якості річкових вод в пунктах спостережень за окремими показниками якості та за комплексними показниками;
- виявлення тенденцій зміни у часі окремих та комплексних показників якості річкових вод у часі та розрахунку прогнозних значень цих показників;
- кореляційного аналізу зв'язків між гідробіологічними та гідрохімічними показниками;
- ранжування точкових джерел забруднення за ступенем їх впливу на якість річкових вод.

У блоці підсистеми обробки та аналізу даних, що реалізує функцію класифікації якості річкових вод в пунктах спостережень за окремими показниками якості та за комплексними показниками, передбачена можливість комплексної оцінки якості річкової води за допомогою однієї з 3-х методик, які чинні в Україні на теперішній час:

- 1) методики, що базується на використанні індексу забруднення води (ІЗВ);
- 2) методики, що базується на використанні коефіцієнта забрудненості (КЗ);
- 3) методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями якості.

У блоці підсистеми обробки та аналізу даних, що реалізує функцію прогнозування значень окремих та комплексних показників якості річкових вод, передбачається використання методів експоненціального згладжування. Вибір конкретного метода прогнозування залежить від наявності або відсутності тенденції зміни у часі показника, що прогнозується. Тому на першому етапі прогнозування розраховується тенденція показника і визначається її значущість. Якщо значуща часова тенденція відсутня, для прогнозування значень показника застосовується метод простого експоненціального згладжування. В іншому випадку для прогнозування середньорічних значень показників застосовується метод Хольта; для прогнозування сезонних значень (середньомісячних або середньоквартальних) – метод Вінтерса-Хольта (Winters-Holt).

Для оцінки впливу точкових джерел забруднення на якість річкових вод у відповідному блоці підсистеми обробки та аналізу даних було запропоновано використання системи з двох критеріїв, яка дозволяє оцінювати навантаження від точкових джерел забруднення в локальному та великомасштабному аспектах. Ця система критеріїв є вдосконаленням аналогічної системи, розробленої раніше в УКРНДІЕП для ранжування точкових джерел забруднення морів за ступенем їх впливу на якість морських вод. Для оцінки локального впливу точкових джерел забруднення в запропонованій системі критеріїв застосовується критерій, який становить середню кратність перевищення у завданому контрольному створі гранично допустимих концентрацій (ГДК) речовин, що скидаються із зворотними водами від точкового джерела забруднення. На відміну від критерію, який

використовувався раніше, запропонований критерій враховує нелінійний характер відгуку екосистеми на навантаження. Кратність перевищення ГДК розраховується за формулою  $K_i^{ГДК} = \frac{C_i}{ГДК_i}$ , при  $C_i > ГДК_i$  і

$K_i^{ГДК} = 1$  при  $C_i \leq ГДК_i$ . Для оцінки великомасштабного впливу точкових джерел забруднення застосовується критерій, який становить середню частку асимілюючої здатності водотоку, що витрачається на асиміляцію забруднюючих речовин від даного джерела забруднення.

Реалізація запропонованої геоінформаційної моделі була здійснена, базуючись на платформі ArcGIS (версія 10.7), у вигляді ГІС моніторингу якості води української частини дельти Дунаю. Пробне тестування розробленої ГІС було виконане на прикладі даних спостережень Дунайської ГМО і експедиційних досліджень УКРНДІЕП за період 2004-2019рр.

За допомогою розробленої ГІС були визначені значущі тенденції зміни за період 2004-2019рр. наступних гідрохімічних показників якості річкової води: БСК-5, азот амонійний, азот нітритний, фосфор фосфатів, хромб+ і марганець. У середньому за вказаний період спостережень за усіма показниками спостерігалася тенденція до поліпшення якості води, крім, показників марганець, БСК-5 і ХСК. За показником марганець у 201р. спостерігалася значне погіршення якості води (більш ніж у 4 рази), після 2013р. спостерігалася тенденція до поліпшення якості води, однак концентрація марганцю залишилася вище ГДК. За показниками БСК-5 і ХСК до 2014р. спостерігалися тенденції до поліпшення якості води, а після 2014р. – до погіршення. Перевищення нормативів за показником марганець спостерігалася вже у вхідному створі (вище м. Рені), тобто погіршення якості води відбуло ще за межами української частини дельти р. Дунай та зберігалася і у наступних створах за течією.

Серед альгологічних показників значущі тенденції були встановлені для індексу сапробності та індексів Шеннона (за чисельністю і за біомасою фітопланктону). В середньому за період спостережень для індексу сапробності

та індексу Шеннона за чисельністю фітопланктону спостерігалися тенденції до зменшення:  $(-0,022)$  од./рік для індексу сапробності та  $(-0,093)$  біт/екз./рік для індексу Шеннона за чисельністю фітопланктону. Для індексу Шеннона за біомасою фітопланктону спостерігалася тенденція до збільшення  $(0,059)$  біт/мг/рік). Аналіз результатів щодо зміни значень індексу Шеннона фітопланктону за чисельністю і біомасою, співпадає із зростанням концентрації марганцю в поверхневих водах. При концентраціях марганцю менше  $20 \text{ мкг/дм}^3$  був встановлений тісний зворотний кореляційний зв'язок між індексом Шеннона за чисельністю фітопланктону і концентрацією марганцю. Коефіцієнт кореляції складає  $(-0,95)$ , (рівень значущості  $0,3 \%$ ). Вплив концентрації марганцю на різноманітність фітопланктону для української частини дельти ріки Дунай-був виявлений вперше.

Запропонована комплексна оцінка якості річкових вод в українській частині дельти Дунаю за допомогою розробленої ГІС дозволила виявити, що за критерієм КЗ у середньому річкові води належали до категорії «слабко забруднені». Середньорічна величина цього критерію в середньому по дельті за період досліджень (2005-2019 рр.) змінювалася в межах від 1,22 до 1,89. За критерієм середнього екологічного індексу річкові води належали до категорій «чисті» або «досить чисті». Величина цього критерію в середньому по дельті змінювалася в межах від 2,35 (у 2017р.) до 2,72 (у 2011р.). За період досліджень спостерігалася значуща тенденція до зменшення усередненого по пунктах моніторингу критерію КЗ і середнього екологічного індексу.

Оцінка впливу точкових джерел забруднення на якість річкових вод за допомогою розробленої ГІС виявила, що як за локальним, так і за великомасштабним критеріями впливу основним джерелом забруднення води р. Дунай з боку України є скидання стічних вод Целюлозно-картонного комбінату, м. Ізмаїл.

Представляється доцільним застосування запропонованої геоінформаційної моделі масиву поверхневих вод під час розробки регіональних ГІС моніторингу якості поверхневих вод, а також для

покращення аналітичних можливостей міжнародної спеціалізованої ГІС екологічного моніторингу басейну Дунаю - DanubeGIS.

**Ключові слова:** геоінформаційна модель масиву поверхневих вод, екологічний моніторинг, гідрохімічні показники, альгологічні показники, точкові джерела забруднення поверхневих вод.

#### **Список публікацій здобувача.**

1. Васенко А. Г., Брук В. В., Свиридов Ю. В. Геоинформационная система для анализа данных экологического мониторинга украинской части дельты Дуная // *Science Review* 4(21), May 2019 – с.20-24 doi: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_sr](https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr). Особистий внесок здобувача: Запропонована та програмно реалізована геоінформаційна система для екологічного моніторингу з новими функціями аналізу даних.
2. Васенко О.Г., Брук В.В., Карлюк А.А., Свиридов Ю.В. Прогнозування якості води в річках Дунай та Сіверський Донець за допомогою геоінформаційних технологій // *World science*. 11(51), Vol.1. November 2019. – С. 45-49. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/30112019/6766. Особистий внесок здобувача: перевірено створену систему геоінформаційних технологій на іншому водному об'єкті, а саме річці Сіверський Донець і здійснено прогноз якості води.
3. А. Г. Васенко, Е. А. Цитлишвили, Ю. В. Свиридов, В. В. Брук. Оценка влияния точечных источников загрязнения на качество воды украинской части дельты Дуная / *Вісник Хмельницького Національного університету* , 2020, № 1 (281) –с 57-62. Особистий внесок здобувача: запропоновано удосконалені критерії локального і великомасштабного впливу точкових джерел забруднення на якість річкових вод; виконано оцінку впливу скидів зворотних вод в р. Дунай з боку України на якість річкової води.
4. Васенко О.Г., Міланіч Г.Ю., Свиридов Ю.В. Формування бази даних для використання при попередженні та ліквідації надзвичайних екологічних

- ситуацій // Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика: збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції. / редкол.: О.В. Метельов та ін. – Х.: ФОП Бровін О.В., 2016. – С. 135-137. Особистий внесок здобувача: Сформовано та систематизовано базу даних.
5. Васенко О. Г., Брук В.В., Свиридов Ю.В. Геоінформаційна модель якості води в системі екологічного моніторингу дельти Дунаю // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 11—15 вересня 2020 р.) / УКРНДІЕП. – Х.: Райдер, 2020. С.36-40. Особистий внесок здобувача: Розроблено алгоритми виконання функцій підсистеми аналізу даних геоінформаційної системи.
6. Васенко А.Г., Брук В.В., Свиридов Ю.В., Миланич А.Ю. Прогнозирование изменения альгологических показателей украинской части дельты Дуная // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 14-18 вересня 2020р.) / УКРНДІЕП. – ПП «Стиль-Іздат», 2020. – С. 69-75. Особистий внесок здобувача: за допомогою геоінформаційної системи екологічного моніторингу, виконано короткостроковий прогноз зміни альгологічних показників української частини дельти Дунаю.
7. A.Vasenko, V. Brook, Yu. Svyrydov, H. Milanich. GIS-assisted revealing of spatio-temporal dynamics in phycological indices of the Dunable river delta //Eastern – European journal of enterprise technologies 6/10(108) 2020 p. С. 6-13. Doi:10.15587/1729-4061.2020.219556. Особистий внесок здобувача: Визначені часові тенденції зміни альгологічних показників українській частині дельти Дунаю та виявлені кореляційні зв'язки між альгологічними і гідрохімічними показниками.

## ABSTRACT

*Svyrydov Yu.V.* Integrated assessment and water quality prediction in the Ukrainian part of the Danube River using geoinformational technologies – A qualifying scientific work presented as a manuscript.

This dissertation is a qualifying research work on the degree of Philosophy Doctor in domain 10 «Natural sciences» on specialty 101 «Ecology». – Research Institution «Ukrainian Research Institute for Environmental Problems», the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine.

The dissertation is devoted to an integrated assessment and prediction of river water quality in the Ukrainian part of the Danube river delta based on monitoring data using geoinformational technologies. This work presents the results of scientific substantiation and practical application of a new geoinformational model of river water quality in the scope of the environmental monitoring system.

Currently, geoinformational models employed in the geographic information systems (GIS) of environmental monitoring imply the use of geoinformational technologies only for visual display of monitoring results. The functions of data analysis subsystems in such GIS are usually limited to comparing the results of observations over indices characterising the state of environment with their standard values. All this necessitates the improvement of geoinformational models used in the environmental monitoring systems, particularly, the geoinformational model of environmental monitoring of the Ukrainian part of the Danube delta.

A geoinformational model, proposed in this work, is aimed at solving such problems of environmental monitoring as an integrated assessment and prediction of river water quality, identifying trends in the dynamics of aquatic chemistry and phycological indices, and assessing the influence of pollution sources on the state of river water.

When developing the new geoinformational model, the need to accomplish the following objectives using GIS was taken into account:

- 1) accumulation of the results of monitoring the river waters;



- 2) search for the necessary data according to the formulated requests;
- 3) assessment of the state of river waters in terms of separate indices and an integrated assessment of water quality;
- 4) identification of trends across time and predicting shifts in the state of river waters;
- 5) assessment of the impact of point sources of pollution on river water quality;
- 6) identification of correlations between aquatic biology and aquatic chemistry indices;
- 7) visual display of the monitoring data of the state of river waters.

Proceeding from the stated objectives, the structure of the geoinformational model was proposed, in which the data processing and analysis subsystem has new blocks that implement the performance of such additional functions of the GIS for environmental monitoring:

- classification of river water quality at observation points by individual quality indices and by complex indices;
- identification of trends across time of the separate and aggregate indices of river water quality in time and the calculation of predicted values of these indices;
- correlation analysis of relationships between aquatic biology and aquatic chemistry indices;
- ranking of point sources of pollution according to the degree of their impact on river water quality.

In the subsystem for processing and analyzing data, the block implementing the function of classifying river waters by their quality at observation stations according to separate and aggregate quality indices makes it possible to comprehensively assess river water quality employing one of 3 operating methods currently accepted in the water resource legislation in Ukraine:

- 1) the method based on the use of the water pollution index (WPI)
- 2) the method based on the use of the contamination factor (CF)
- 3) the method of environmental assessment of the surface water quality according to the relevant quality categories.

In the subsystem for processing and analyzing data, the block implementing the function of predicting values of the separate and aggregate indices of river water quality, it is supposed to use the methods of exponential smoothing. The choice of a particular predicting method depends on the presence or absence of a time trend of the predicted index. Therefore, at the first stage of predicting, the trend of the index is calculated and its significance is determined. If there is no significant time trend, Brown's simple exponential smoothing is used to predict the index values. Otherwise, Holt's model is used to predict the average annual values of indices; and the Holt-Winters seasonal method is employed for predicting seasonal values (monthly averages or quarterly averages).

To assess the impact of point sources of pollution on river water quality in the corresponding block of the subsystem for processing and analyzing data, it was proposed to incorporate a system of two criteria, which allows assessing the load from point sources of pollution in local and large-scale aspects. This system of criteria is grounded on a similar system developed earlier at the UkrNDIEP for ranking point sources of sea pollution according to the degree of their impact on the sea water quality. With the aim to assess the local impact of point sources of pollution in the proposed system of criteria, a criterion, which is the average frequency of excess of the maximum permissible concentrations (MPCs) of given substances discharged with return water from a point source of pollution in a given monitoring section, is applied. Unlike the criterion that was utilised earlier, the proposed criterion takes into account the nonlinear nature of the ecosystem response to the pollution load.

The amount of MPC exceedance is calculated by the following formula:

$$K_i^{\Gamma ДК} = \frac{C_i}{\Gamma ДК_i}, \text{ при } C_i > \Gamma ДК$$

for the case  $C_i > MPC$  and  $K^{MPC} = 1$  when  $C_i \leq MPC_i$ .

To assess the large-scale impact of point sources of pollution, a criterion, which is the average share of the stream assimilation spent on assimilation of pollutants from a given source of pollution, is applied.

The implementation of the proposed geoinformational model was carried out based on the ArcGIS platform (version 10.7), in the form of a GIS monitoring of water quality in the Ukrainian part of the Danube Delta. Trial testing of the developed GIS was run on the example of observation data of the Danube Hydrometeorological Observatory and expeditionary studies of the UkrNDIEP during the period 2004-2019.

With the aid of the developed GIS, significant trends of shifts over the period 2004-2019 in the aquatic chemistry indices of river water quality, like BOD<sub>5</sub>, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, phosphate phosphorus, chromium Cr<sup>6+</sup> and manganese were determined. Over the indicated observation period, on average, for all indices, except for manganese, BOD<sub>5</sub> and COD, a tendency to improve the water quality was observed. In terms of manganese in 2013, there was a significant deterioration in water quality (more than 4 times), after 2013 a tendency to improve water quality was recorded, but manganese concentration remained above the MPC. As to BOD<sub>5</sub> and COD, up to 2014, tendencies towards an improvement in water quality were observed, and after 2014 a tendency to its deterioration. Exceeding the MPC for manganese was observed already in the inlet section of the Ukrainian part of the Danube river delta (above Reni), that is, due to the deterioration of water quality outside the Ukrainian part of the delta.

Among the phycological indices, significant trends were revealed for the saprobity index and Shannon's diversity index calculated from the abundance and biomass of phytoplankton. On average, over the observation period, the saprobity index and Shannon's diversity index calculated from phytoplankton abundance,

tendencies to derating were observed: (-0.022) units/year for the saprobity index and (-0.093) bits/specimen/year for Shannon's diversity index calculated from phytoplankton abundance). For Shannon's diversity index calculated from phytoplankton biomass, there was a tendency to uprating (0.059 bit/mg/year). The tendency towards the shift in phytoplankton diversity is due to an increase in manganese concentration. The correlation coefficient between Shannon's diversity index calculated from phytoplankton abundance and manganese concentration at manganese concentrations less than 20  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$  is -0.95 (significance level is 0.3%).

The integrated assessment of river waters quality in the Ukrainian part of the Danube delta using the developed GIS revealed that, according to the test of significance, on average, river waters belonged to the category of "slightly polluted". The value of this criterion on average of the delta varied from 1.22 to 1.89. According to the criterion of the average environmental index, river waters of the delta are categorized as "clean" or "sufficiently clean". The value of this criterion on average of the delta varied from 2.35 (in 2017) to 2.72 (in 2011). During the period of studies, there was a significant tendency towards derating in the test of significance averaged over the monitoring stations and the average environmental index.

Assessment of the impact of point sources of pollution on river water quality of the delta using the developed GIS revealed that, both according to local and large-scale criteria for the impact, the main source of water pollution in the Danube river from the Ukrainian side is the discharge of sewage from the Pulp and Cardboard Mill, Izmail.

It seems expedient to use the proposed geoinformational model when developing regional GIS for monitoring of surface water quality, as well as in improving DanubeGIS, the international specialized GIS platform for environmental monitoring of the Danube river basin.

**Key words:** geoinformational system, environmental monitoring, aquatic chemistry indices, phycological indices, Shannon's diversity index, saprobity index, trend, significance level, point sources.

**The PhD candidate's List of Publications:**

1. Vasenko, A.G., Brook, V.V., Svyrydov, Yu.V. A geographic information system for the analysis of environmental monitoring data of the Ukrainian part of the Danube Delta // *Science Review* 4(21), May 2019 – P.20-24. doi: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_sr](https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr)
2. Vasenko, A.G., Brook, V.V., Karliuk A.A., Svyrydov, Yu.V. Predicting water quality in the Danube and Siverskyi Donets rivers employing geoinformational technologies. // *World Science*. 11(51), Vol.1. November 2019. – C. 45-49. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/30112019/6766
3. Vasenko, A.G., Tsitlishvili E.A., Svyrydov, Yu.V., Brook, V.V. Assessment of the impact of point sources of pollution on water quality in the Ukrainian part of the Danube Delta. // *The Herald of Khmelnytskyi National University*, No. 1 (281), 2020. – P. 57-62.
4. Vasenko, A.G., Milanich, H.Yu., Svyrydov, Yu.V. Database building for use in the prevention and elimination of environmental emergencies. // *Problems of technogenic security and environmental safety: education, science, practice: Collection of papers of the All-Ukrainian Research-to-Practice Conference*. / Edited by: O.V. Mietieliiov et al. – Kharkiv: FOP Brovin O.V., 2016. – P. 135-137.
5. Vasenko, A.G., Yevlieva O.Yu., Karliuk A.A., Bozhko T.V., Svyrydov, Yu.V. Environmental impact of the construction of the diverging dam of the maritime shipping channel of the Deep-water Navigation Course "Danube-Black Sea". // *Environmental Safety: Problems and Solutions: Collection of research papers of the XV International Research-to-Practice Conference held in Kharkiv on September 9-13, 2019 / UkrNDIEP*. – PP «Styl-Izdat», 2019. –

P. 68-71.

6. Vasenko, A.G., Brook, V.V., Svyrydov, Yu.V., Milanich, H.Yu. Predicting shifts in phycological indices of the Ukrainian part of the Danube Delta. // Environmental Safety: Problems and Solutions: Collection of research papers of the XVI International Research-to-Practice Conference held in Kharkiv on September 14-18, 2020 / UkrNDIEP. – PP «Styl-Izdat», 2020. – P. 69-75.
7. Vasenko, A., Brook, V., Svyrydov, Yu., Milanich, H. GIS-assisted revealing of spatio-temporal dynamics in phycological indices of the Danube river delta. //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 6/10 (108), 2020. – P. 6-13. doi:10.15587/1729-4061.2020.219556