

УДК 502.51:504.5

Vasyl Trysnyuk¹, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9920-4879> **e-mail:** trysnyuk@ukr.net

Lidiia Horoshkova², Doctor of Economical Sciences, Professor
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7142-4308> **e-mail:** goroshkova69@gmail.com

Vyacheslav Okhariev¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6270-6293> **e-mail:** okhariev.vo@gmail.com

Viktor Shumeiko¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0285-4566> **e-mail:** shym1983@ukr.net

¹Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

²National University of «Kyiv-Mohyla Academy», Kyiv, Ukraine

GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES FOR RESEARCH ECOSYSTEM OF KHORTYTSA ISLAND AT STATE OF WAR

Abstract. *The work is devoted to solving the scientific and practical task of studying the impact of war on nature conservation areas using the example of Khortytzia Island, which is part of the Khortytzia National Reserve. The study used multispectral imaging data from the LANDSAT 5 satellite (MSI scanner). It is shown that as a result of the destruction of the Kakhovka Reservoir, the water level in the Dnipro River decreases, which affects the water bodies of Khortytzia Island (lakes and straits). It is established that there is a critical impact on the state of biodiversity of the island due to the reduction in the area of the water mirror in some lakes of the island or the disappearance of lakes in general. Key critical impacts for the ecology of the island ecosystem were identified, such as lowering the water level, changes in the river flow, and reducing the oxygen potential of the hydroecosystem. Conclusions were drawn on the need for detailed monitoring, implementation of restoration programs, and improvement of water quality.*

Keywords: *information technologies, ecosystem, remote methods, contact methods, ecological monitoring, anthropogenic impact, hydroecosystem.*

В.М. Триснюк¹, Л.А. Горошкова², В.О. Охарєв¹, В.О. Шумейко¹

¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

²Національний університет «Києво-Могилянська академія», м. Київ, Україна

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОСИСТЕМ ОСТРОВА ХОРТИЦЯ В УМОВАХ ВІЙНИ

Анотація. *Роботу присвячено вирішенню науково-практичного завдання дослідження впливу війни на природоохоронні території на прикладі острова Хортиця, який входить до складу Національного заповідника «Хортиця». У дослідженні використовувалися дані мультиспектральної зйомки із супутника «LANDSAT 5» (сканер MSI). Показано, що внаслідок знищення Каховського водосховища відбувається зниження рівня води в річці Дніпро, що впливає на водні об'єкти острова Хортиця (озера і протоки). Встановлено*

наявність критичного впливу на стан біорізноманіття острова внаслідок зменшення площі водного дзеркала в деяких озерах острова або зникнення озер загалом. Визначено ключові критичні для екології екосистеми острова наслідки, такі як зниження рівня води, зміни в течії річки, зменшення кисневого потенціалу гідроекосистеми. Зроблено висновки про необхідність здійснення детального моніторингу, реалізації програм відновлення та покращення якості води.

Ключові слова: інформаційні технології, екосистема, дистанційні методи, контактні методи, екологічний моніторинг, антропогенний вплив, гідроекосистема.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.4.145-156>

Вступ

Сьогодні 900 природоохоронних територій, що становить 44% площ усіх заповідників та національних парків України, знаходяться на тимчасово окупованих територіях або у зоні бойових дій і їм завдано суттєвої шкоди. Але, на жаль, природоохоронні об'єкти і на іншій території України потерпають від війни. Глибокий аналіз наслідків військового вторгнення на заповідні природні території України буде можливий лише після закінчення війни та завершення робіт з розмінування. Але вже сьогодні існує необхідність в проведенні досліджень стану територій з використанням можливих джерел інформації. Однією з таких територій є Національний заповідник «Хортиця». Свій статус він отримав у 1993 році. До складу Національного заповідника «Хортиця» входять: власне острів Хортиця; прилеглі острови Байда, Три Стоги, Дубовий, Розстебин; скелі Середня, Близнюки; урочище Вирва на правому березі Дніпра; пам'ятка історії національного значення «Кам'янська Січ» на Херсонщині. Острів Хортиця, який входить до складу Національного заповідника «Хортиця», – найбільший острів на Дніпрі (довжина 12,5 км, найбільша ширина – до 2,5 км). Загалом Хортиця, найбільший річковий острів у Європі, є унікальним поєднанням природної краси та історико-культурної спадщини, де можна побачити степи, гори і скелі, лісостепи, листяні та хвойні ліси, плавні, озера, нагорні діброви та висячі болота.

Неповторність природи острова Хортиця полягає в тому, що на порівняно невеликій території (трохи менше 2,5 тисяч гектарів) наявні зразки усіх ландшафтних зон України: гори, ліс, лісостеп, плавневий ліс, степ, навіть осередки напівпустель. До війни на острові росли близько 1092 види рослин, 670 із яких – дикі (для порівняння – в Асканії Новій 451 вид диких рослин), 145 видів із них – рідкісні, 104 – ендеміки (більше ніде, окрім Хортиці, не зустрічаються). На острові мешкають 250 видів тварин, із яких 200 видів – птахи (усього в Україні 433 види пернатих).

Острів утворився завдяки декільком геологічним розломам, останній з яких стався приблизно 2,5 млн років тому. Вік його геологічної основи – масиву гранітоїдів – близько 3 млрд років.

Отже, острів є також місцем, де виходять на поверхню найдавніші у світі граніти, вік яких, за оцінками геологів, сягає трьох мільярдів років. На острові збереглися 63 історичні пам'ятки, що охоплюють період від кам'яного віку до скіфської, слов'янської та козацької епох.

До війни нераціональне будівництво та відсутність контролю за туристичною діяльністю призвели до знищення природних ландшафтів,

знищення місць проживання дикої природи та забруднення території. Для вирішення цих проблем вживались комплексні заходи, включаючи посилення екологічного контролю, впровадження програми з відновлення екосистем, підвищення екологічної свідомості населення та розвиток екологічного туризму, орієнтованого на збереження природних ресурсів заповідника.

З початком війни ця територія зазнає нищівного впливу внаслідок обстрілів, пожеж та ін. Руйнування Каховського водосховища, яке сталося внаслідок російської агресії, мало катастрофічні наслідки для навколишнього середовища заповідника. Це водосховище було важливим компонентом гідрологічної системи річки Дніпро, і його знищення значно вплинуло на екосистеми в нижній течії річки, зокрема, на заповідник Хортиця. Втрата водосховища порушила екологічний баланс, і його наслідки потребують детального аналізу та заходів з відновлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експериментальні дослідження техногенних чинників, пов'язаних із моделюванням балочних структур Національного заповідника Хортиця за матеріалами мультиспектральних космічних знімків, базуються на використанні методики експертної оцінки та сучасних інформаційних технологій. В Україні провідними науковцями в галузі космічних досліджень ґрунтів є: Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Греков Л.Д., які займаються космічним моніторингом забруднення земель [1-2], Лялько В.І., який досліджує спектральні характеристики рослинного покриву; Попов М.О., який спеціалізується на прогнозуванні врожайності зернових культур на основі багатоспектральних даних дистанційного зондування Землі. Результати власних досліджень природоохоронних територій, в тому числі впливу на них війни, наведені у статтях [3-7].

Мета роботи. Метою роботи є розробка та удосконалення інформаційно-технічного моделювання порушення екосистем острова Хортиця за матеріалами мультиспектральних космознімків.

Виклад основного матеріалу дослідження

За останні роки заповідник Хортиця (рис. 1) зіткнувся з низкою екологічних проблем, які загрожують його екосистемі та збереженню біорізноманіття.

Однією з основних проблем є забруднення річки Дніпро, яка є головним джерелом води для острова та його озер. Зростання індустріалізації та неконтрольовані скиди відходів у річку призвели до значного зниження якості води. Це, у свою чергу, негативно впливає на водну флору та фауну, зменшує кількість риб та інших водних організмів, які мешкають у заповіднику.

Друга серйозна проблема – вирубка лісів та знищення рослинного покриву. Незаконні вирубки дерев, а також пожежі внаслідок обстрілу російськими військами спричиняють деградацію лісових екосистем острова. Це зменшує площу природного середовища для багатьох видів тварин та рослин, деякі з яких є рідкісними або зникаючими.

Третя загроза – антропогенний вплив, зокрема неконтрольований туризм та забудова території острова.



Рис. 1. Карта острова Хортиця

З урахуванням важливості стану водних ресурсів для екосистеми острова Хортиця, заслуговує на особливу увагу проведення екологічного моніторингу басейну Дніпра та стану озер острова.

Основною методикою збору та систематизації інформації стало опрацювання картографічного матеріалу за допомогою векторизації. Під час створення бази даних враховувалися характерні риси природних об'єктів та їх взаємодія. Ще одним підходом для отримання інформації, який був використаний при моделюванні систем, було опрацювання бази даних дистанційного зондування Землі. З огляду на важливість даних дистанційного зондування для оцінки ступеня антропогенного впливу на довкілля, були використані знімки з різних періодів, отримані з таких космічних апаратів, як Sentinel-2, «LANDSAT-5».

Сучасні технічні засоби дистанційного зондування дозволяють отримувати різноманітну інформацію про властивості земної поверхні в різних діапазонах спектру: у видимому (0,3-0,8 мкм), ближньому (1,8-5,3 мкм) і дальньому (7-14 мкм) інфрачервоному діапазонах, а також у мікрохвильовому діапазоні (3-100 см). Спеціалізовані методи обробки цієї інформації дозволяють вивчати закономірності просторово-часових розподілів водних мас, які відрізняються за вмістом розчинених або зважених речовин як природного, так і антропогенного походження. Вся кадастрова інформація була опрацьована за допомогою геоінформаційних технологій у програмному середовищі ArcGIS.

Руйнування Каховського водосховища призвело до серйозних змін у гідрологічному режимі Дніпра. На рис. 2 наведений космічний знімок супутника «LANDSAT-5» острова Хортиця в жовтні 2014 року та 06 липня 2024 року. Їх порівняння свідчить про суттєве обміління Дніпра навколо острова Хортиця.

Акваторія заплави острова Хортиця поділена на 23 озера і протоки. Перш за все, це озера Домака (рис. 3), Прогній, Прогній 2 (рис. 4), Осокорове (рис. 5), Голоківське (рис. 6), Річище (рис. 7), Гниле, Підкручне, Безіменне, Гвардійське, Золоте, Рисове, Черепахове, Безіменне, Кам'яне, а також протоки між ними.



А)



Б)

Рис. 2. Космічні знімки супутника «LANDSAT-5» острова Хортиця 10.2014 (А) та 06.07.2024 (Б)

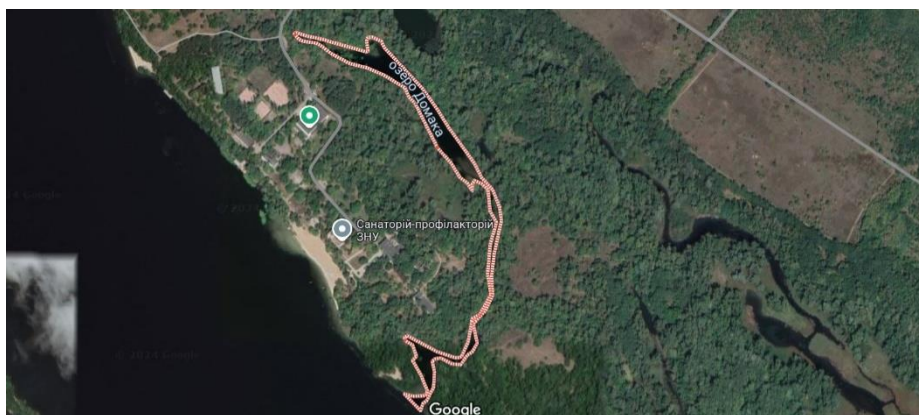


Рис. 3. Космічний знімок озера Домака



Рис. 4. Космічний знімок озера Прогній, Прогній 2

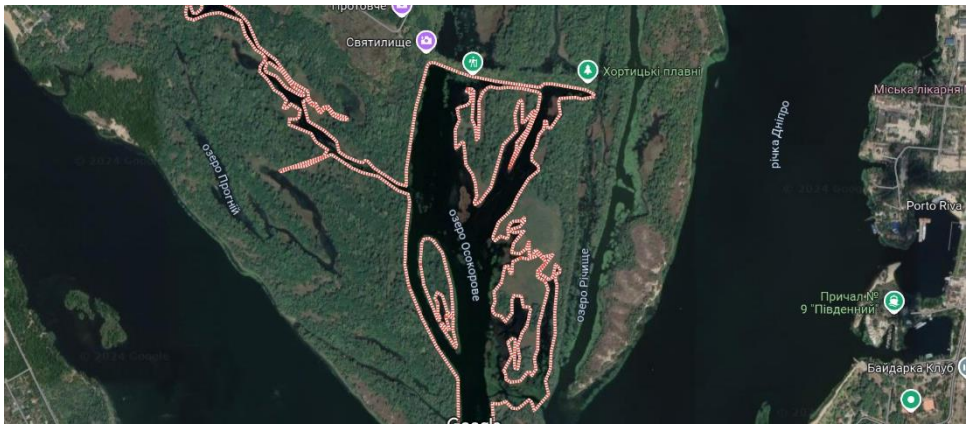


Рис. 5. Космічний знімок озера Осокорове

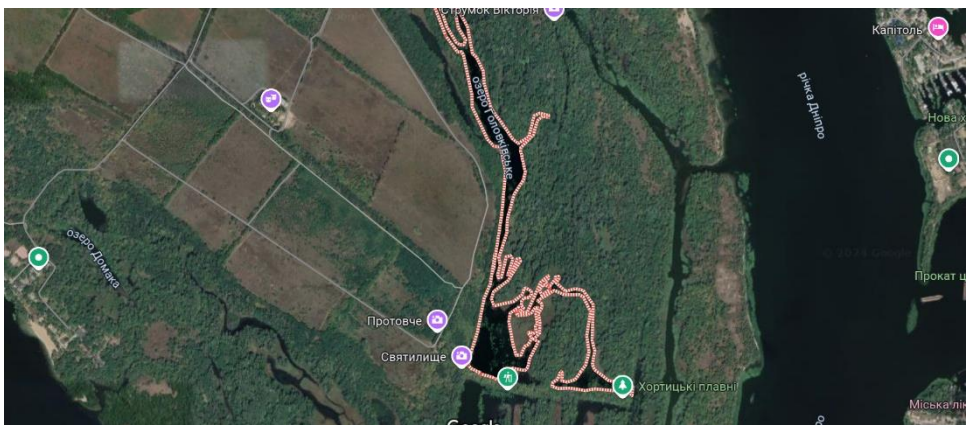


Рис. 6. Космічний знімок озера Голоківське

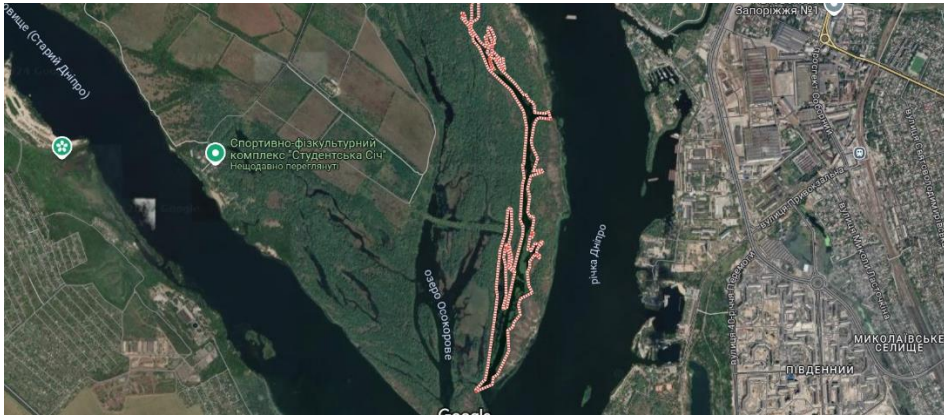


Рис. 7. Космічний знімок озера Річище

Руйнування Каховського водосховища призвело також до зневоднення або повної втрати водного дзеркала озер. Внутрішні водойми острова Хортиця (озера) були заживлені від Дніпра. Внаслідок відходу води річки Дніпро від берегів, з озер почала стікати вода, оскільки вони знаходяться вище Дніпра. В 2023 році не сталося екологічної катастрофи завдяки тому, що більшість риби вийшла в Дніпро разом з водою.

Але цілком зрозуміло, що від зневоднення водойм постраждали птахи, які прилітали на острів гніздитись. Ті, що вже загіздилися, загинули разом із пташенятами, але більшість відкочували на інші території.

Через обміління почали сохнути і водні рослини. На жаль, це цінні водноболотні комплекси, занесені до Зеленої книги України.

Як відомо, Хортицька заплава не завжди була такою, як ми її бачили до знищення Каховського водосховища. Наповнення чаші Каховського водосховища відбулось у 1958 році. Це призвело до поступового підвищення рівня води в околицях Хортиці близько на +1,5 метра. Тобто після зниження Каховського водосховища рівень води навколо Хортиці опинився на «історичному» рівні. Як відомо, Хортицькі плавні за часів козацтва періодично затоплювались весняним паводком (ділянки суходолу). Але це не дає підстав вважати ситуацію не загрозливою. Знищення водосховища спричинило різке, неконтрольоване зниження рівня води, що створило негативний вплив на екологію Дніпра і Хортиці не тільки сьогодні, а й в майбутньому.

Науковці очікували, що підняття рівня води у весняний період 2024 року призведе до того, що наслідки для природи заплавної частини острова будуть не надто критичними. Але дослідження, проведені у серпні 2024 року, показали, що ситуація з озерами (їх водним дзеркалом) є критичною.

Як було виявлено під час експедиції на острів Хортиця, найскладнішою вона є на озерах Домака, Прогній, Прогній 2 та Рисове.

Озеро Домака повністю висохло, його дно – це піскові відкладення (рис. 8). Це підтверджено як у ході проведеної експедиції, так і за даними космічних знімків.

Щодо озера Прогній, то на рис. 9 наведені космічні знімки озера у жовтні 2014 року та станом на 08.07.2024 р. На рис. 10 наведені фотографії того, як зазначене озеро виглядало 10 років тому (у серпні 2014 року) і станом на 30 серпня 2024 року. Як бачимо, озеро припинило своє існування. Якщо рік тому ще були залишки води, то сьогодні – вони повністю відсутні.



А)



Б)

Рис. 8. Космічний знімок озера Домака 1.10.2014 (А) та 8.07.2024 (Б)



А)



Б)

Рис. 9. Космічний знімок озера Прогній 1.10.2014 (А) та 8.07.2024 (Б)



а



б

Рис. 10. Знімки озера Прогній на острові Хортиця Запорізької обл.: а – фото дна висохлого озера 30 серпня 2024 року; б – фото озера 24 серпня 2014 року

Отже, вже сьогодні можна вважати наслідки знищення Каховського водосховища критичними для екології острова Хортиця. Основні наслідки включають:

1. Зниження рівня води. Рівень води в річці Дніпро, особливо в її нижній течії біля заповідника Хортиця, знизився через зменшення водних ресурсів, що надходять з водосховища. Це викликало зменшення площі водного дзеркала та зміну гідрологічного режиму.

2. Зміни в течії річки. Після зниження рівня води змінилися швидкість і напрямок течії річки. Це вплинуло на водний баланс і сприяло утворенню нових русел, що змінило існуючі гідрологічні умови в заповіднику.

3. Збільшення концентрації забруднюючих речовин. Зниження рівня води призвело до підвищення концентрації забруднюючих речовин, що потрапляють у воду з поверхневого стоку. Це негативно вплинуло на якість води і зменшило її кисневий потенціал.

Основними впливами на водний баланс і екосистему є такі:

1. Зміни в біорізноманітті. Втрата стабільності водного середовища призвела до загибелі водоростей, водних рослин і риб, що порушило харчові ланцюги. Нестача води і погіршення якості води негативно вплинули на види, що залежали від стабільних водних умов.

2. Проблеми з водоплавними птахами і амфібіями. Заповідник Хортиця є важливим середовищем для водоплавних птахів і амфібій. Зниження рівня води і погіршення якості води зменшили кількість місць для розмноження і проживання цих видів.

3. Порушення рослинного покриву. Втрата води вплинула на зростання водних рослин, що є важливими для стабільності екосистеми.

Зменшення площі водних рослин і їх загибель негативно вплинули на цілу екосистему, що спостерігається, на жаль, вже сьогодні.

З урахуванням важливості острова Хортиця, як складової Національного заповідника Хортиця, існує необхідність проведення подальших досліджень та заходів екологічного моніторингу.

Висновки

Руйнування Каховського водосховища мало глибокий вплив на гідроєкосистему острова Хортиця. Зміни в рівні поверхневих та підземних вод, якість води та екосистемні наслідки потребують термінових і скоординованих зусиль для відновлення природного балансу. Важливо здійснити детальний моніторинг, реалізувати програми відновлення і покращення якості води, а також враховувати соціальні аспекти впливу на місцеві громади. Відновлення острова Хортиця стане важливим кроком у забезпеченні стійкого природокористування і збереження екологічної цінності цього унікального природного комплексу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Красовський Г.Я., Трофимчук О.М., Крета Д.Л., Клименко В.І., Пономаренко І.Г., Суходубов О.О. (2005). Синтез картографічних моделей забруднення земель техногенним пилом з використанням космічних знімків. *Екологія і ресурси*, 12, 37–55.
2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebuchuk, H. [2013]. Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling*. Springer, Berlin, Heidelberg. 347–352.
3. Трофимчук О.М., Адаменко О.М., Триснюк В.М. (2021). Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; Івано-Франківський нац. тех. ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ: Супрун В.П., 343 с. ISBN 978-617-7468-53-9.
4. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare*, 1, 61–67.
5. Horoshkova L., Skrynchenko K., Menshov O., Maslova O., Korniiuchuk Y. Ecological risks of the impact of war on nature reserves in Ukraine (using the example of the Azovo-Sivash National Nature Park). XVII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». European Association of Geoscientists & Engineers. 7-10 November 2023, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520226>
6. Horoshkova L., Antoniuk D., Vasyl'yeva O., Markova S., Filipishyna L. Risk management and lost profits calculations of business entities. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580058>
7. Триснюк В.М. (2016). Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. *Системи обробки інформації*, 12, 185–188. Index Copernicus.

Стаття надійшла до редакції 17.05.2024 і прийнята до друку після рецензування 29.08.2024

REFERENCES

1. Krasovsky, G.Ya., Trofymchuk, O.M., Kreta, D.L., Klymenko, V.I., Ponomarenko, I.G., & Sukhodubov, O.O. (2005). Synthesis of cartographic models of land pollution by man-made dust using space images. *Ecology and resources*, 12, 37-55 [in Ukrainian].

2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebchuk, H. (2013). Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. In *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling* (pp. 347-352). Springer, Berlin, Heidelberg.
3. Trofymchuk, O.M., Adamenko, O.M., & Trysnyuk, V.M. (2021). Geoinformation technologies for environmental protection of the nature reserve fund. Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine; Ivano-Frankivsk national technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk: Suprun V.P. [in Ukrainian].
4. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare*, 1, 61-67.
5. Horoshkova, L., Skrynchenko, K., Menshov, O., Maslova, O., Korniiuchuk, Y. (2023). Ecological risks of the impact of war on nature reserves in Ukraine (using the example of the Azovo-Sivash National Nature Park). In XVII International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». European Association of Geoscientists & Engineers. 7-10 November 2023, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520226>
6. Horoshkova, L., Antoniuk, D., Vasylyeva, O., Markova, S., Filipishyna, L. (2022). Risk management and lost profits calculations of business entities. In 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers (pp. 1-5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580058>
7. Trysnyuk, V.M. (2016). Environmental safety management system of natural and anthropogenically modified geosystems. *Information processing systems*, 12, 185-188 [in Ukrainian].

The article was received 17.05.2024 and was accepted after revision 29.08.2024

Триснюк Василь Миколайович

доктор технічних наук, професор, завідувач відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

Адреса робоча: вул. Чоколівський бульвар, 13, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9920-4879> **e-mail:** trysnyuk@ukr.net

Горошкова Лідія Анатоліївна

доктор економічних наук, професор, професор кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія»

Адреса робоча: вул. Григорія Сковороди, 2, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7142-4308> **e-mail:** goroshkova69@gmail.com

Охарєв Вячеслав Олександрович

кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу природних ресурсів Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

Адреса робоча: вул. Чоколівський бульвар, 13, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6270-6293> **e-mail:** okhariev.vo@gmail.com

Шумейко Віктор Олександрович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

Адреса робоча: вул. Чоколівський бульвар, 13, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0285-4566> **e-mail:** shym1983@ukr.net