

УДК 502.51:504.5

Taras Volynets, postgraduate

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9152-4680> **e-mail:** alhimiktv@ukr.net

Dmytro Mosiichuk, postgraduate

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-3864-1019> **e-mail:** deusplus@gmail.com

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

INFORMATION SYSTEMS FOR OBSERVATION OF MARINE AQUATORIES AND ADJACENT AREAS USING AEROSPACE TECHNOLOGIES

Abstract. *The work is devoted to solving the scientific and practical problem of developing information systems for monitoring marine waters and adjacent areas using remotely piloted aircraft. The purpose of the study is to improve the level of the information system for monitoring the state of marine waters and coastal zones by improving the technological process and on-board equipment of remotely piloted aircraft. Basic studies show that more than 60% of pollutants entering the Black Sea come from river runoff, covering the territory of almost 20 countries, including the most industrialized regions of Europe. The main source of anthropogenic impact on the northwestern waters of the Black Sea within Ukraine is the runoff of the main European rivers – the Dnieper, Danube, Dniester and Southern Bug, which transport more than 296 km³ of water annually. In addition, the quality of coastal waters depends on pollution resulting from military actions of Russian aggression, local sources of pollution, in particular the activities of large coastal cities, industrial enterprises, municipal wastewater, stormwater flows, as well as the activity of port infrastructure. Despite the stabilization of the level of oil pollution in the waters of Ukrainian ports at the maximum permissible values (0.05 mg/l), bottom sediments continue to accumulate harmful elements, which requires constant monitoring and improvement of control methods.*

Information support for the management of environmental safety of the territorial waters of Ukraine in the Black Sea can be effectively provided through an integrated infrastructure of satellite geoinformation resources. The topographic basis of this system is vector maps of the Black Sea regions and the Black Sea water area at a scale of 1:200.

Within the framework of this GIS, methodological and software-algorithmic support has been created for the synthesis of thematic geomodels that reflect the man-made loads on the Azov-Black Sea basin, as well as the spatial distribution of indicators of the impact of marine water areas and their ecological state.

During the study, scientific and methodological approaches were developed that improve the procedure for environmental monitoring using UAV elements, ensuring the operational functioning of pollutants in a specific area.

The results of the study will contribute to increasing the efficiency of environmental monitoring of the Black Sea, ensuring prompt detection of pollution and developing measures to minimize it, which is important for preserving the ecosystem of the region.

Keywords: *information technologies, ecosystem, marine waters, geographic information systems, control system, military influence, spectral channels, remote methods.*

Т.В. Волинець, Д.І. Мосійчук

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

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ ТА ПРИЛЕГЛИХ ЗОН З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

***Анотація.** Роботу присвячено розв'язанню науково-практичного завдання, що полягає в розробці інформаційних систем спостереження морських акваторій та прилеглих зон з використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів. Метою дослідження є підвищення рівня інформаційної системи моніторингу стану морських акваторій та прибережних зон шляхом удосконалення технологічного процесу та бортового устаткування дистанційно пілотованих літальних апаратів. Основні дослідження свідчать, що понад 60% забруднюючих речовин, які потрапляють у Чорне море, надходять із річкових стоків, що охоплюють територію майже 20 країн, зокрема найбільш індустріалізованих регіонів Європи. Основним джерелом антропогенного впливу на північно-західні акваторії Чорного моря в межах України є стік основних європейських річок – Дніпра, Дунаю, Дністра та Південного Бугу, які транспортують понад 296 км³ води щороку. Крім того, якість прибережних вод залежить від забруднення внаслідок військових дій російської агресії, місцевих джерел забруднення, зокрема діяльності великих приморських міст, промислових підприємств, муніципальних стічних вод, зливових потоків, а також активності портової інфраструктури. Попри стабілізацію рівня нафтових забруднень в акваторіях українських портів на гранично допустимих значеннях (0,05 мг/л), донні осади продовжують накопичувати шкідливі елементи, що потребує постійного моніторингу та вдосконалення методів контролю.*

Результати дослідження сприятимуть підвищенню ефективності екологічного моніторингу Чорного моря, забезпеченню оперативного виявлення забруднень та розробці заходів для їхньої мінімізації, що є важливим для збереження екосистеми регіону.

***Ключові слова:** інформаційні технології, екосистема, морські акваторії, геоінформаційні системи, система керування, військовий вплив, спектральні канали, дистанційні методи.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.146-154>

Вступ

Чорне море залишається об'єктом стратегічних інтересів України, що набуває більшої важливості в умовах російської агресії, яка не тільки спричиняє збройне протистояння, але й створює додаткові екологічні та геополітичні виклики. Завдяки розвинутим внутрішнім і зовнішнім транспортним зв'язкам через порти Одеси, Іллічівська, Південного, Миколаєва та Херсона Україна зберігає своє ключове положення в регіоні, що набуває особливої актуальності.

Наукові дослідження проводяться на основі державної «Програми охорони та відтворення довкілля Чорного моря», прийнятої Верховною Радою України 22 березня 2001 року. Для ефективної реалізації цієї програми та виконання зобов'язань за Конвенцією необхідно створити сучасну систему фонового,

загального та кризового моніторингу територіального моря та окремої (морської) економічної зони України на Чорному морі, а також забезпечити специфічний антропогенний вплив, що посилюється в умовах військової агресії.

Ефективність цієї системи може бути суттєво підвищена за рахунок застосування результатів тематичного напрямку та сучасних інформаційних підходів.

Розробка та впровадження сучасних технологій моніторингу є необхідними кроками для досягнення ефективного контролю над екологічним станом моря, особливо в умовах, коли території України підлягають навантаженню через антропогенний вплив з боку Росії. Використання геоінформаційних систем (ГІС), супутникових знімків та інших інноваційних інструментів дозволяє оперативно проводити регулярний моніторинг та реагувати на загрози, що виникають. Це дає змогу ефективно проводити аналіз змін у морських акваторіях, визначати рівень забруднення води, оцінювати стан біорізноманіття та рекреаційних зон. Крім того, в контексті російської агресії окрема увага повинна приділятися захисту стратегічно важливих інфраструктурних об'єктів, які розташовані на узбережжі Чорного моря, таких як порти і транспортні шляхи. Заходи зі збереження екологічної безпеки також повинні включати охорону енергетичних ресурсів, результативну боротьбу із забрудненнями і несприятливими змінами природних умов, спричиненими військовими діями. На тлі міжнародної ситуації України, активне співробітництво з іншими країнами – учасниками Конвенції про захист Чорного моря від забруднення, а також з міжнародними екологічними та безпековими організаціями, є елементом у вирішенні проблеми збереження екології Чорного моря в умовах сучасних викликів. Розробка інтегрованих моделей моніторингу та управління природними ресурсами Чорного моря стане успішним інструментом у забезпеченні екологічної безпеки та стійкості всіх приморських регіонів України на фоні агресії сусідньої держави. На сьогодні накопичується досвід використання нових технологій, таких як моніторинг на базі Інтернет-речей (IoT) для збирання статистичних даних у реальному часі, що дозволяє не тільки відслідковувати стан морських екосистем, а й прогнозувати ймовірні екологічні катастрофи, спричинені антропогенними чи військовими впливами. Усі ці інструменти стають критично важливими для збереження природних ресурсів Чорного моря та забезпечення стратегічних інтересів України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження забруднення українського сектора Чорного моря свідчать про багатофакторний характер антропогенного впливу та підкреслюють нагальну потребу в комплексному моніторингу та управлінні природними ресурсами регіону. Основні висновки аналізу можна узагальнити наступним чином: джерела забруднення та їх вплив. Особливо важливими забрудненнями є нафтопродукти та аварії танкерів. Дослідження після аварій російських танкерів (наприклад, «Волгонефть-212» та «Волгонефть-239») вказують на витік тисяч тонн мазуту, що спричинив значне забруднення водної акваторії. Цей інцидент позначився не лише на хімічному складі води, а й на біологічних показниках – токсичні речовини, що містяться в мазуті, можуть впливати на морську фауну, порушуючи її життєдіяльність.

Важливою проблемою, що потребує дослідження, є розробка програмного забезпечення навігації ДПЛА, яке дозволяє цим апаратам виконувати польоти в складі групи, вибирати альтернативні маршрути та здійснювати взаємодію з пунктом управління. Надання спеціалізованих даних ДПЛА дозволяє виокремити найбільш важливі відомості про об'єкти морських акваторій та прибережних зон, що суттєво зменшує обсяг даних, що передаються на інші безпілотники або наземні пункти управління. В Україні одними з провідних науковців у галузі космічних досліджень є: Лялько В.І. [1, 2] – спектральні характеристики рослинного покриву; Попов М.О. – прогнозування врожайності зернових культур за багатоспектральними даними дистанційного зондування Землі; Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Греков Л.Д., Триснюк В.М. [3, 4] – космічний моніторинг забруднення землі; Шумейко В.О., Сметанін К.В., Панас Р.М. – космічний моніторинг деградації ґрунтів [5, 6].

Мета роботи. Метою дослідження є підвищення рівня інформаційної системи стану морських акваторій та прибережних зон за рахунок удосконалення технологічного процесу та устаткування бортового обладнання дистанційно пілотованого літального апарата.

Об'єктом дослідження є процес застосування геоінформаційних систем спостереження за станом морських акваторій та прилеглих зон з використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сучасні дослідження свідчать, що понад 60% забруднюючих речовин, які потрапляють у Чорне море, надходять із річкових стоків, які охоплюють територію майже 20 країн, зокрема найбільш індустріалізовані регіони Європи. Таким чином, основним джерелом антропогенного впливу на північно-західні акваторії Чорного моря в межах України є стік основних європейських річок, зокрема Дніпра, Дунаю, Дністра та Південного Бугу, які транспортують понад 296 км³.

На якість прибережних вод впливають і місцеві джерела впливу: великі приморські міста, скиди від промислових підприємств, муніципальні стічні води, дощові та зливові стоки з прилеглих територій, а також активність портової інфраструктури, включаючи судноплавство, судноремонтні та суднобудівні підприємства, якісні стоянки й заходи з днопоглиблення. Хоча в акваторіях українських портів за останні роки рівень нафтових забруднень стабілізувався на гранично допустимих значеннях (0,05 мг/л), донні осади продовжують нагромаджувати шкідливі елементи.

Сучасна інформаційна підтримка прийняття рішень для формування комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на забезпечення національних та міжнародних стандартів екологічної безпеки акваторій територіальних вод і морської економічної зони українського Чорного моря, ґрунтується на комплексному аналізі даних про геопросторові та технологічні параметри, що представляють стан морських екосистем (рис. 1). Сьогодні основою методології синтезу такої бази даних є високотехнологічні ПС-платформи та сучасні методи тематичного дешифрування.

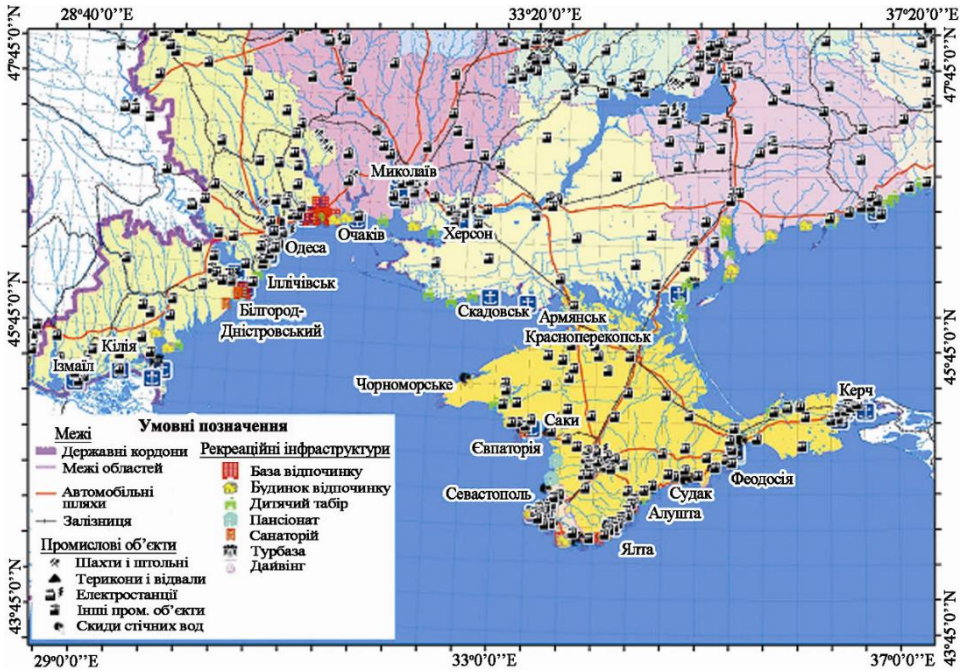


Рис. 1. Техногенне навантаження прибережних територій українського сектору Чорного моря

За допомогою цих ГІС-технологій можна створювати інтерактивні картографічні моделі, які детально відображають просторовий розподіл об'єктів і встановлені між ними зв'язки на базі даних, отриманих ефективними методами моніторингу, а також включають інформацію про техніко-економічні характеристики об'єктів.

Узагальнена математична модель синтезу системи мобільного екологічного моніторингу морських акваторій та прибережних зон із застосуванням аерокосмічних технологій враховує як збирання даних з різних сенсорних каналів (супутникові знімки, дані з безпілотників, стаціонарні вимірювання), так і їхні вдосконалення.

Система моніторингу морських акваторій та прибережних зон включає – підсистему збору даних, підсистему обробки даних та спостереження.

Прояви впливів цих чинників на екологічний стан морських вод можна реалізувати в режимі його моніторингу. Як уже зазначалося вище, сучасна концепція моніторингу екологічних показників стану морських вод базується на методах ДЗЗ.

У створеній спеціалізованій інтерактивній системі ці методи залучені до вирішення завдань синтезу картографічних моделей зон впливу на екологічні показники морських вод не тільки чинників їх техногенного навантаження в сталих і аварійних режимах їх функціонування, а й природних процесів [7, 8]:

- абразії берегів;
- виносу річкового і поверхневого стоку з урбанізованих територій;
- евтрофікації морських вод.

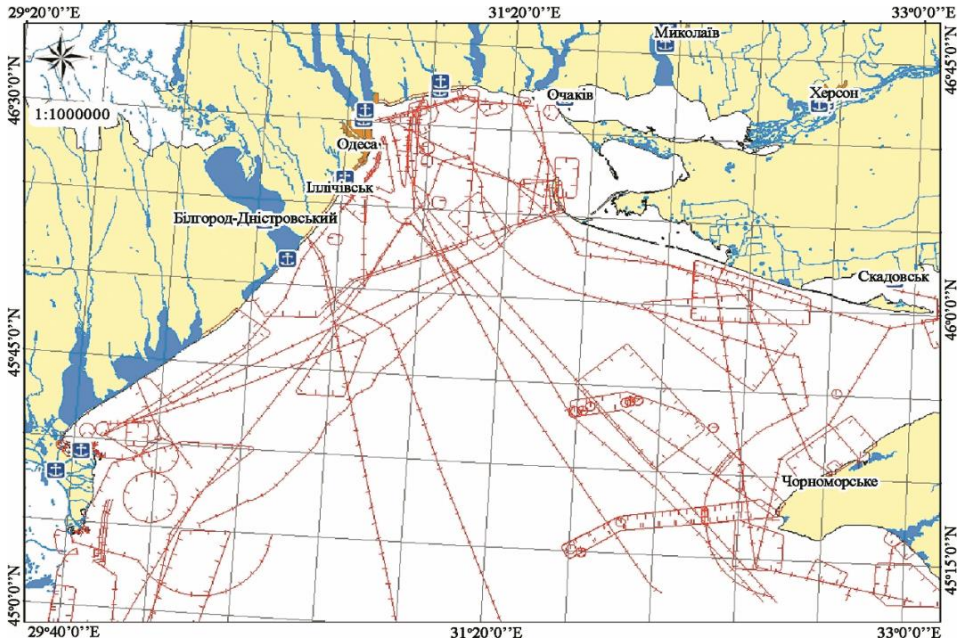


Рис. 2. Просторовий розподіл чинників техногенного навантаження північно-західної частини Чорного моря

Для цього залучалися космічні знімки повної лінійки роздільності з широким діапазоном оперативності, від декількох десятків хвилин (знімки NOAA, геопортал <http://www.saa.noaa.gov>) до декількох десятків діб (знімки надвисокого розрізнення QuickBird, Ikonos, Aster і деяких інших) (рис. 3).

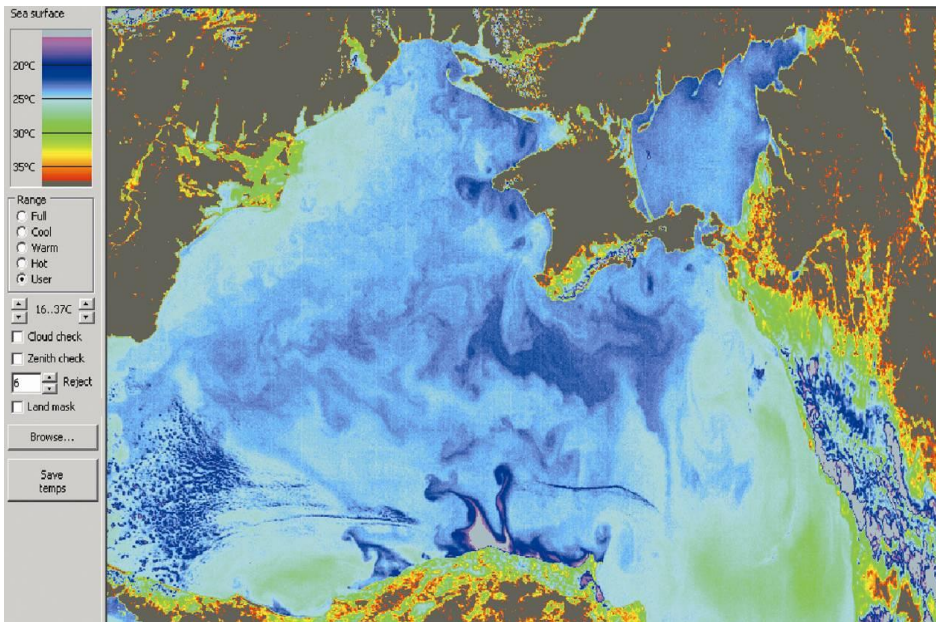


Рис. 3. Розподіл температур поверхні Чорного моря – знімок NOAA

Тематичним дешифруванням подібних знімків синтезуються картографічні моделі просторового розподілу забруднень морських акваторій під впливом техногенних або природних чинників. Теоретичне підґрунтя такого дешифрування базується на аналізі просторового розподілу зональних яскравостей водної поверхні, підлеглих впливу зважених речовин на глибину формування зворотного дифузного розсіювання, або поверхневими плівками, наприклад нафтою або нафтопродуктами [7, 8]. Наявність суттєвих розбіжностей у розподілі яскравостей водних поверхонь з аномальними концентраціями зважених речовин різного походження у визначених ділянках оптичного діапазону ілюструє рис. 4. Саме за рахунок цих розбіжностей можна синтезувати картографічні моделі забруднених морських акваторій під впливом техногенних і природних чинників (рис. 4).

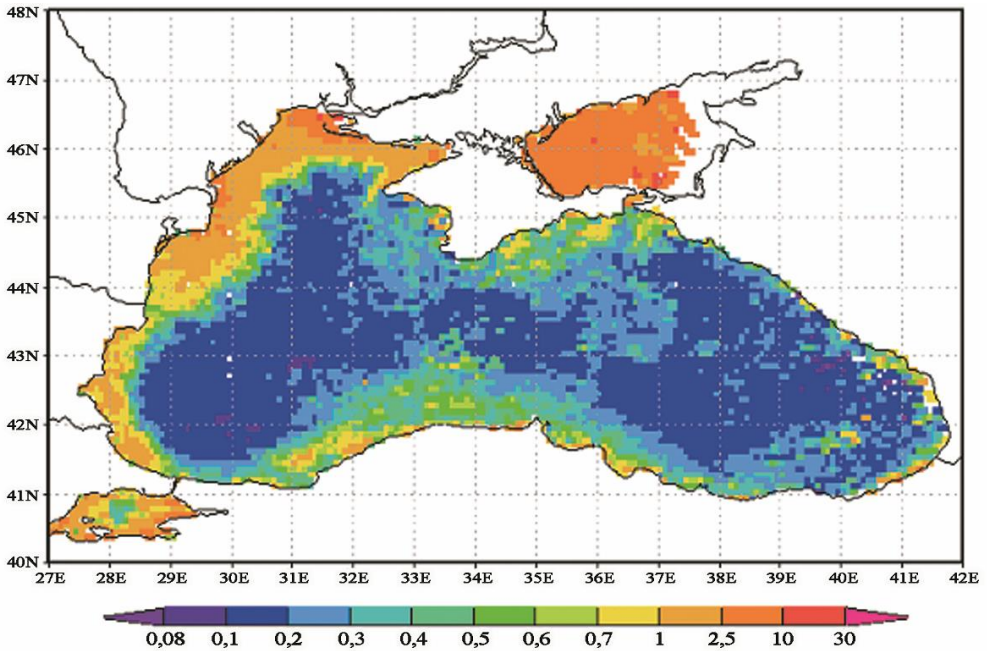


Рис. 4. Просторовий розподіл хлорофілу в Чорному морі 28.07.2024

Висновки

Інформаційна підтримка управління екологічною безпекою територіальних вод України в Чорному морі може бути ефективним забезпеченням через інтегровану інфраструктуру супутникових геоінформаційних ресурсів. Топографічною основою цієї системи є векторні карти причорноморських областей та акваторії Чорного моря масштабу 1:200.

В межах цієї ГІС створено методичне та програмно-алгоритмічне забезпечення для синтезу тематичних геомodelей, які відображають техногенні навантаження на Азово-Чорноморський басейн, а також просторовий розподіл показників впливу морських акваторій та їх екологічного стану.

У ході дослідження розроблено науково-методичні підходи, що вдосконалюють процедуру екологічного моніторингу з використанням елементів БПЛА, забезпечуючи оперативне функціонування забруднювачів на визначеній території. Для вирішення наукових завдань комплексно застосовано метод спостереження (польові дослідження), системний підхід, методи структурного та параметричного аналізу, теорію та методи оптимізації, теорію управління та методи статистичної обробки результатів. Під час експерименту, поряд з аналітичними розрахунками, використовувалося імітаційне моделювання на базі спеціалізованого програмного комплексу MatLab 8.1, що дозволило сформулювати та вважати реалістичним завдання оптимального польоту БПЛА за економічними показниками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Красовський Г.Я., Трофимчук О.М., Крета Д.Л., Клименко В.І., Пономаренко І.Г., Суходубов О.О. Синтез картографічних моделей забруднення земель техногенним пилом з використанням космічних знімків // Екологія і ресурси. – К.: ПНБ, 2005. – №12. – С. 37–55.
2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebochuk, 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. Івано-Франківськ: Супрун В.П., 343 с. ISBN 978-617-7468-53-9.
4. Машков О.А.; Триснюк В.М.; Мамчур Ю.В.; Жукаускас С.В.; Нігородова С.А.; Курило А.В. Новий підхід до синтезу відновлюючого керування для дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: наук.-техн. журн. – Івано-Франківськ : Симфонія форте. – 2019. № 1. (19) 2019. С. 69–77. <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/162108/03-Mashkov.pdf?sequence=1>
5. Андреев С.М. Розробка картографічних моделей морських акваторій та прибережних територій з застосуванням геоінформаційних технологій / Андреев С.М., Крета Д.Л., Радчук В.В. // "Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами з надзвичайних ситуацій": матеріали VII міжнар. наук.-практ. конф. – Київ – Харків – АР Крим, 2008. – С. 112–117.
6. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. [2019]. Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts.
7. V. Trysnyuk, T. Trysnyuk, V. Okhariev, V. Shumeiko, A. Nikitin. Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. Centrul Universitar Nord Din Bala Mare – UTPRESS ISSN 1582-0548, №1, 2018. P. 61–67.
8. Zaitsev S.V. Method of estimating reliability of information transmission in wireless networks channels increase in noise and interference / S.V. Zaitsev // International Journal «Information Models and Analyses». – Sofia : ITHEA, 2015. – Vol. 4 (1). – P. 87–99.

Стаття надійшла до редакції 25.11.2024 і прийнята до друку після рецензування 08.02.2025

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., & Hlebachuk, 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. Ivano-Frankivsk: Suprun V.P. ISBN 978-617-7468-53-9 [in Ukrainian].
4. Mashkov, O.A., Trysnyuk, V.M., Mamchur, Y.V., Zhukauskas, S.V., Nigorodova, S.A., & Kurylo, A.V. (2019). A new approach to the synthesis of restorative control for remotely piloted aerial vehicles for environmental monitoring. *Environmental safety and balanced resource use: science and technology journal*, 1(19), 69-77 [in Ukrainian].
5. Andreyev, S.M., Kreta, D.L., & Radchuk, V.V. (2008). Development of cartographic models of marine areas and coastal areas using geoinformation technologies. In *"Modern information technologies for managing environmental safety, nature use, and emergency measures": materials of the VII int. scientific-practical conf.* (pp. 112-117). Kyiv – Kharkiv – AR Crimea [in Ukrainian].
6. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., & Radlowska, K.O. (2019). Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. In *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Extended Abstracts.
7. 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 UTPRESS ISSN 1582-0548*, 1, 61–67.
8. Zaitsev S.V. (2015). Method of estimating reliability of information transmission in wireless networks channels increase in noise and interference. *International Journal «Information Models and Analyses»*, 4 (1), 87–99.

The article was received 25.11.2024 and was accepted after revision 08.02.2025

Волинець Тарас Васильович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України

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

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9152-4680> **e-mail:** alhimiktv@ukr.net

Мосійчук Дмитро Іванович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України

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

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-3864-1019> **e-mail:** deusplus@gmail.com