

О.О. Кавац, Ю.В. Кавац, К.Л. Сергєєва, Т.М. Фененко, Д.А. Дебрій
**СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ТА ОЦІНКА СТУПЕНЯ ЗАБРУДНЕНOSTІ
ВОДОЙМ ПІД ВПЛИВОМ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ**

Анотація. В статті розглянуті основні методи моніторингу водних ресурсів України, їх стану забруднення та вплив військових дій на них. Класичні методи моніторингу якості води у водоймах спираються на отримання зразків проб на місці, що вимагає значних ресурсів та є дорогавартісними. Через повномаштабне вторгнення та військові дії, окупацію територій цей метод втрачає свою актуальність. В роботі описано основні спектральні водні індекси та набори даних, які можна використовувати для застосування методів супутникового моніторингу та оцінки ступеню забрудненості водойм під впливом військових дій. На прикладі техногенного катастрофи Каховської ГЕС, проаналізовано адаптованість індексів для визначення ділянок із забрудненням поверхневого шару води в акваторії Чорного моря.

Ключові слова: водні ресурси, водойми, військові дії, супутниковий моніторинг, оцінка ступеню забруднення, методи ДЗЗ, спектральні індекси, NDWI, NDTI, Sentinel-2.

Постановка проблеми. Відповідно до «Звіту про глобальні ризики» (The Global Risks Report 2025), оприлюдненого на Давоській конференції, у найближчі два роки екстремальні погодні явища посідають друге, а збройні конфлікти на державному рівні - третє місце серед десяти найвагоміших. [1]. В прогнозі розподілу ризиків на наступні десять років перші п'ять місць займають екстремальні погодні явища, втрата біорізноманіття та колапс екосистем, критичні зміни систем Землі та дефіцит природних ресурсів. Дефіцит водних ресурсів, зневоднення річок, забруднення води та інші екологічні пов'язані з водою проблеми входять до топ-10 ризиків з точки зору їх впливу. У зв'язку з цим забруднення води стало серйозною проблемою, особливо в країнах, що розвиваються. З іншого боку, глобальне потепління та зміни клімату, зокрема підвищення середніх температур, спричиняють екстремальні погодні явища та посухи, що, своєю чергою, стали основною причиною зростання кількості стихійних лих — танення льодовиків, вулканічної активності, лісових пожеж, опустелювання, повеней і зсувів. Глобальне потепління разом із забрудненням навколишнього середовища загрожує існуванню водних ресурсів та спричиняє збільшення кількості екологічних катастроф. Періодичний моніторинг якості поверхневих вод має вирішальне значення для ефективного управління водними ресурсами та стійкості морських екосистем. Використання технологій дистанційного зондування надає значні переваги у виявленні, моніторингу та аналізі змін стану поверхневих водойм.

Україна входить до списку європейських країн, у яких фіксується дефіцит водних ресурсів, і посідає 32-е місце з 40. Основним джерелом поповнення запасів поверхневих вод є опади, кількість яких в Україні за останні десять років у літній період зменшилася на 15–27%, що призводить до зростання концентрації забруднювальних речовин у водоймах. Слід зазначити, що не лише зовнішні та природні фактори впливають на кількість і якість водних ресурсів в Україні. Великий відсоток у загальну картину стану поверхневих вод та їх забруднення вносить господарська діяльність, а військові дії, спричинені повномасштабним вторгненням, тільки погіршили ситуацію. Згідно з даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, від початку повномасштабного вторгнення РФ було зареєстровано понад 6500 злочинів проти довкілля України. В більшості випадків це навмисне руйнування інфраструктури, підриви плотин, очисних споруд і водопроводів, що спричиняє витіки у водойми токсичних речовин та стічних вод. Забруднюються основні водні артерії України, найбільші річки. Так, наприклад, у Запорізькій області через артилерійський обстріл з боку росіян були пошкоджені очисні споруди в селі Верхня Криниця, що спричинило витік стічних вод у річку Дніпро [2].

Ще однією проблемою, яка має відтермінований характер, є забруднення річок боеприпасами. Через ворожі обстріли з реактивних систем залпового вогню «Град» населених пунктів Малокатеринівка та Канівське у Запорізькій області, більша частина ракет потрапила в річку Дніпро, де вони потонули [2].

Найбільшим злочином країни-агресора за час повномасштабного вторгнення було знищення Каховської ГЕС. Через підриви росіянами внутрішніх приміщень Каховської ГЕС 6 червня 2023 року відбувся витік 18.2 кубічних кілометрів води, які затопили величезну територію. Внаслідок цього тонни бруду, отруйних речовин разом з уламками будинків та тисячами загинилих тварин винесли у акваторію Чорного моря. За даними Українського наукового центру екології моря, у період з 7 по 20 червня якість морської води біля українського узбережжя змінилася кардинально — від прозорої до повністю мутної.

За даними Українського наукового центру екології моря (УкрНЦЕМ): 7 червня вода, що йшла через зруйновану дамбу, дісталася до Дніпровсько-Бузького лиману; 8 червня було забруднено північну частину шельфу Чорного моря, від лиману до Одеської затоки; 10 червня забруднення досягло гирла річки Дністер, просуваючись далі до гирлової акваторії Дунаю; 14 червня зелені плями водоростей помітили у морській воді біля одеських пляжів [3]. В результаті надходження в море великої кількості біогенних речовин спостерігається цвітіння води, яке починається з 14 червня біля Одеського узбережжя. Саме потрапляння у море великої кількості річкової води призвело до опріснення та зниження солоності. Нормальним показником солоності в поверхневому шарі води у Чорному морі є 18 проміле, значення якого наприкінці червня знизилося до 4-5 проміле біля пляжів Одеси [3].

На рисунку 1 представлена карта розповсюдження забруднених вод після підриву греблі Каховської ГЕС у Чорному морі.

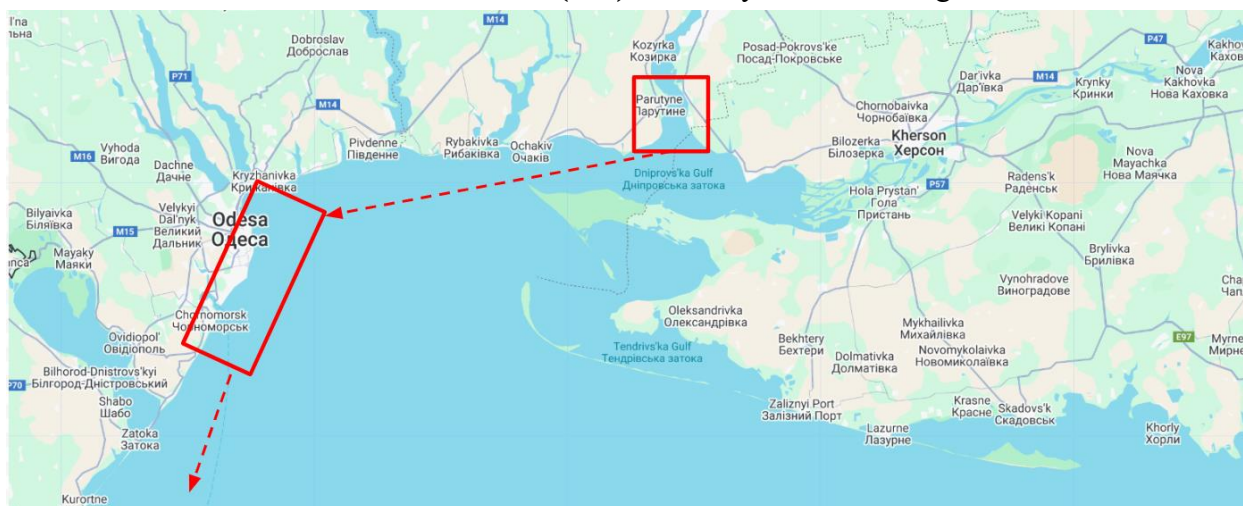


Рисунок 1 – Карта з напрямком поширення забрудненої води в Чорному морі

Всі ці екологічні злочини є певними викликами для України. На сьогодні не існує загальноприйнятого, єдиного й універсального методу для оцінювання якості води у водоймах і ступеня їх забруднення. Класичні методи моніторингу якості води спираються на отримання зразків проб на місці, що безумовно вимагає значних ресурсів, а через активні військові дії та окупацію територій цей метод втрачає свою актуальність [4]. Саме тому оцінка ступеня забрудненості водних об'єктів є актуальною проблемою, яка може знайти вирішення завдяки застосуванню сучасних інформаційних технологій та супутникового моніторингу.

Мета дослідження полягає у визначенні показників та характеристик процесів, які призводять до змін у поверхневих водах і оцінки ступеня забруднення водойм під впливом військових дій. Для цього необхідно провести порівняльний аналіз основних водних спектральних індексів і визначити коло доступних даних, на які можна спиратися.

Основна частина. Стрімкий розвиток програми Copernicus відкриває широкі можливості для науковців у сфері супутникового моніторингу. Доступність даних з відповідною частотою дозволяє проводити дослідження навколишнього середовища в різних часових і просторових масштабах. Використання оптичних зображень забезпечує можливість аналізу важкодоступних територій завдяки коефіцієнтам відбиття у різних діапазонах електромагнітного спектра, які можна комбінувати у різноманітні спектральні індекси. Широкий спектр використання спектральних індексів дозволяє отримувати інформацію не лише про процеси, що відбуваються на суходолі, а й про ті, що проходять у водних об'єктах. Фіксуючи спектральне відбиття з декількох різних супутникових платформ можна отримати інформацію про зміни, які відбулися на земній поверхні. У дистанційному зондуванні багато індексів, пов'язаних з водою. Наприклад, NDWI, ABDI, ANDWI, AWE, FAI, MNDWI, NDAVI, NDCI, NDTI, SWI, WI були запропоновані та застосовані дослідниками для визначення різних характеристик води [5]. Дослідники зробили спроби проаналізувати колір водойм у поверхневому шарі та отримати інформацію зміни, які відбулися під дією певних природних або техногенних

факторів [6-10]. Процеси у поверхневих шарах води можуть бути візуалізовані за допомогою спектральних характеристик супутникового зображення. Так, наприклад, опріснення вод акваторії Чорного моря через техногенну катастрофу привело до цвітіння, а підвищення температура повітря тільки прискорило процеси розмноження синьо-зелених водоростей [11, 12]. У дослідженні пропонується використання характеристик спектральних індексів для проведення супутникового моніторингу з визначенням впливу військових дій на навколишнє середовище [13-21].

Один із спектральних індексів, що широко використовується та дозволяє проводити моніторинг змін площі водного дзеркала у водоймах – Normalized Difference Water Index (NDWI). Оскільки водойми сильно поглинають світло у видимому та інфрачервоному діапазонах електромагнітного спектра, NDWI використовує зелені та ближні інфрачервоні смуги для виділення водойм. Він чутливий до присутності міської забудови та може призводити до переоцінки площ водних об'єктів. Значення індексу понад 0.5 зазвичай відповідають водоймам. Рослинність, як правило, має значно менші значення, а забудовані території — значення в діапазоні від 0 до 0.2.

Індекс NDWI розраховується за формулою:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR), \quad (1)$$

де NIR – коефіцієнти відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектра, Green – у зеленому.

З огляду на викладене, для оцінки стану забруднення водних об'єктів обрано спектральний водний індекс, що дає змогу визначити ступінь каламутності води – Normalized Difference Turbidity Index (NDTI). Каламутність характеризує оптичну прозорість води. Хоча індекс NDTI не пов'язаний строго із завислими речовинами, вмістом хлорофілу чи іншими домішками, він часто використовується в комбінації з іншими індексами для забезпечення більш цілісного аналізу якості води. NDTI визначається формулою:

$$NDTI = (Red - Green) / (Red + Green), \quad (2)$$

де Red – коефіцієнти відбиття у червоному діапазоні електромагнітного спектра.

У дослідженні проведено аналіз змін поверхневих вод Дніпровської затоки та акваторії Чорного моря. Для оцінки впливу техногенної катастрофи після підриву Каховської ГЕС обрано різночасові зображення з супутника Sentinel-2 за червень 2021, 2023 та 2024 років з хмарністю не більше 10% для мінімізації похибки.

На рисунках 2 та 3 представлені карти спектральних індексів NDTI та NDWI з гістограмами.

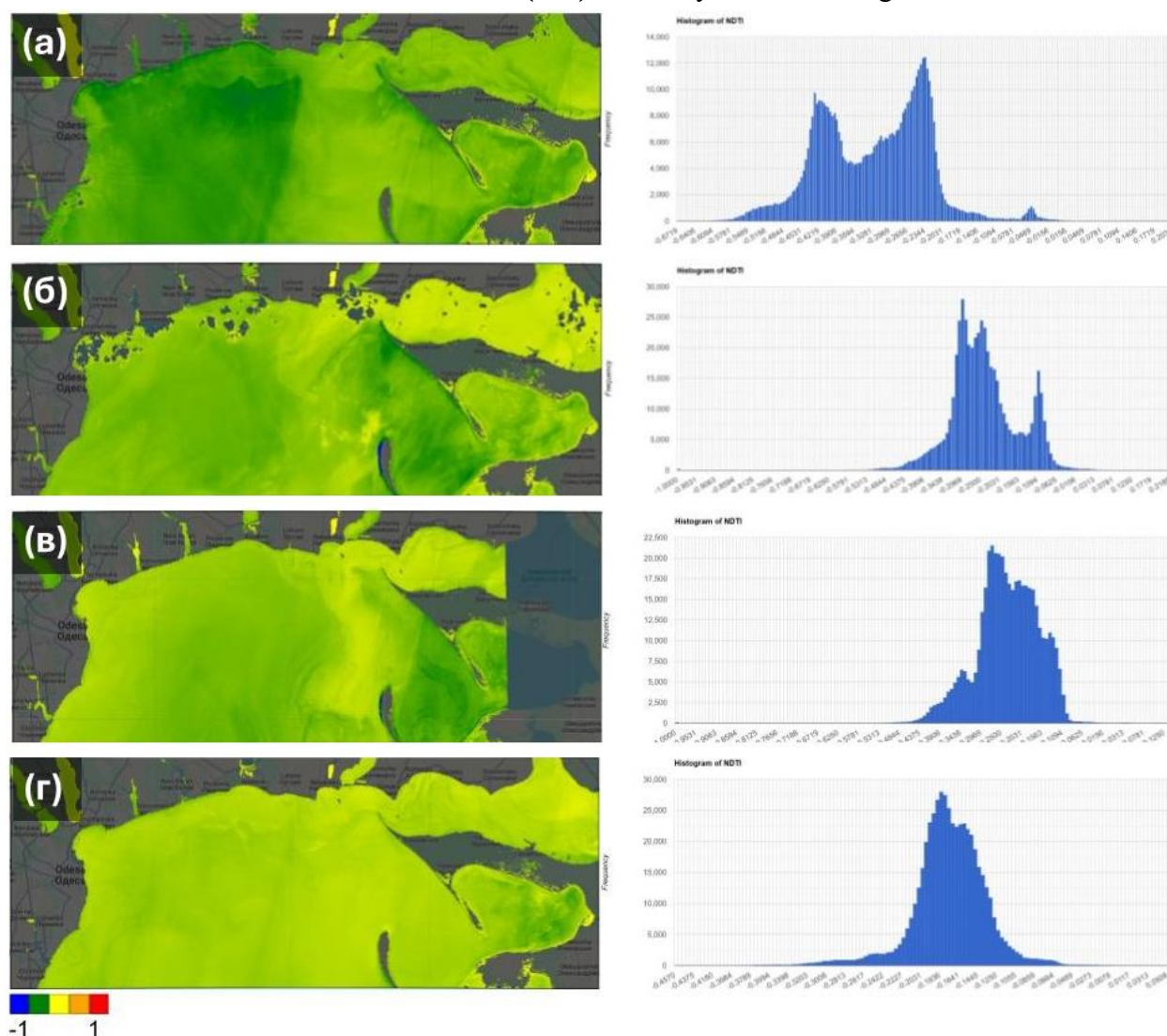


Рисунок 2 – Карти та гістограми розподілу значень спектрального індексу NDTI, отримані за зображеннями з супутника Sentinel-2 у наступні дати:
а) 08 червня 2021 р.; б) 18 червня 2023 р.; в) 23 червня 2023 р.;
г) 22 червня 2024 р.

Розрахунок проводився з використанням хмарної платформи Google Earth Engine (GEE). Методологія розрахунку спектральних індексів включає: фільтрацію каталога супутникових зображень Sentinel-2 за датою; фільтрацію зображення за пороговим значенням хмарності, який не має перевищувати 10%; побудову маски поверхневих вод; розрахунок спектральних індексів NDTI та NDWI; встановлення порогового значення NDTI за гістограмою для формування маски та визначення областей із високою каламутністю поверхневих вод [11].

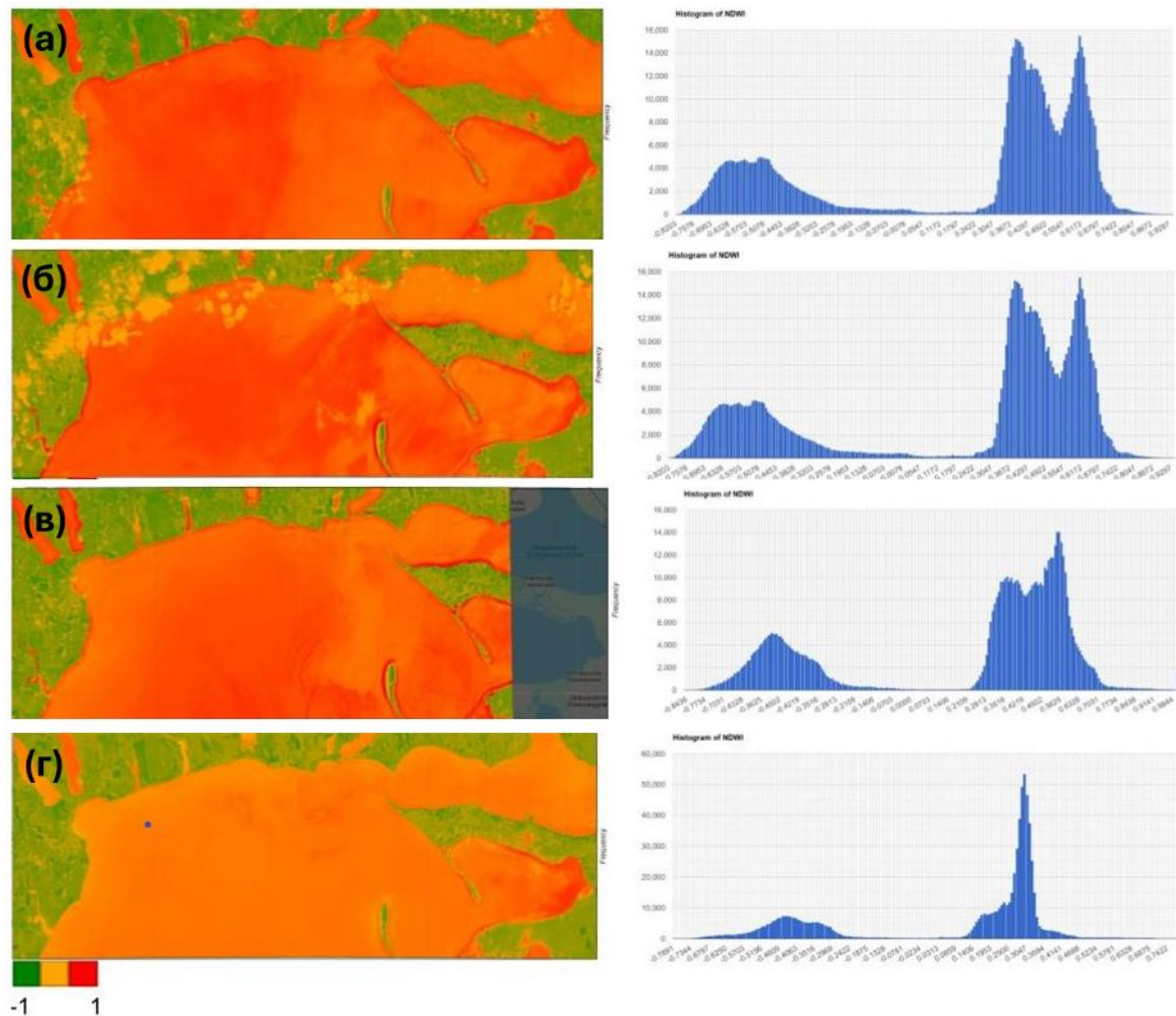


Рисунок 3 – Карти та гістограми розподілу значень спектрального індексу NDWI, отримані за зображеннями з супутника Sentinel-2 у наступні дати:
а) 08 червня 2021 р.; б) 18 червня 2023 р.; в) 23 червня 2023 р.;
г) 22 червня 2024 р.

Отримані результати свідчать про те, що для оцінки впливу військових дій та забрудненості поверхневих вод необхідно використовувати спектральний індекс NDTI. У порівнянні з NDWI, індекс каламутності поверхневих вод дозволяє визначити ділянки, які мають ознаки забруднення, спричинені природними або техногенними процесами. Спектральний індекс NDWI фіксує межі водойм, не деталізуючи домішки, які проявляються на поверхні води через зміну прозорості, кольору або інших характеристик.

Висновки. Розглянуто методи застосування дистанційного моніторингу для оцінки впливу військових дій на водні ресурси України. Визначено основні загрози та чинники, які спричиняють забруднення водойм.

Досліджено основні методи оцінки стану води у поверхневих шарах. Визначені спектральні характеристики водних індексів, і виявлено, що для оцінки зони забрудненості в поверхневих шарах водойм найбільш адаптованим є індекс NDTI. У порівнянні з NDWI, який використовується для картування водойм, NDTI чутливий до змін у по-

верхневих водах та дозволяє виявляти області з забрудненими ділянками. В роботі описано набори даних та платформи, які можна використовувати для супутникового моніторингу.

Подальші дослідження будуть поєднувати отримані результати та розробку комплексної методології картування та аналізу водойм із залученням машинного навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. The global risks report 2025 20th edition. – Cologny, Switzerland: World Economic Forum, 2025. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2025.pdf (дата звернення: 11.04.2025).
2. Що Росія робить з українськими річками під час війни: 6 мільйонів людей через війну не мають води. *Open Дністер*. 30.09.2022.
URL: <https://dnister.in.ua/articles/239825/scho-rosiya-robit-z-ukrainskimi-richkami-pid-chas-vijni-6-miljoniv-lyudej-cherez-vijnu-ne-mayut-vodi> (дата звернення: 11.04.2025).
3. Забруднення Чорного моря як наслідок аварійної ситуації, яка склалася після підриву греблі Каховської ГЕС. УкрНІЦЕМ.
URL: https://sea.gov.ua/index.php/2023/06/27/ges_explosion_conseq/ (дата звернення: 11.04.2025).
4. Бреус Д. С., Левченко М. В. Методи оцінювання та нормування якості природних водних ресурсів. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*. 2019. №. 110 (2). С. 126-131.
5. Kavzoglu T., Goral M. Google Earth engine for monitoring marine mucilage: Izmit Bay in Spring 2021. *Hydrology*. 2022. Vol. 9. №. 8. P. 135.
URL: <https://doi.org/10.3390/hydrology9080135> (дата звернення: 11.04.2025).
6. Das S., Nandi D., Thakur R. R., Bera D. K., Behera D., Durin B., Cetl V. A Novel Approach for Ex Situ Water Quality Monitoring Using the Google Earth Engine and Spectral Indices in Chilika Lake, Odisha, India. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2024. Vol. 13. №. 11. P. 381. URL: <https://doi.org/10.3390/ijgi13110381> (дата звернення: 11.04.2025).
7. Berka C. S. Relationship between agricultural land use and surface water quality using a GIS: Sumas River Watershed, Abbotsford, BC: Doctoral dissertation. University of British Columbia. 1996. 174 p.
8. Environmental Indicators of Water Quality in the United States. USEPA Rep. 841-R-96-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington. D.C. 1996.
9. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities. 22.12 2000. L 327/1. 118 p.
10. Sergieieva K., Kavats O., Vasyliiev V., Kavats Y., Kovrov O. Machine learning-based monitoring of war-damaged water bodies in Ukraine using satellite images. *CEUR Workshop Proceedings*. 2024. 3790. P. 422–434. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper37.pdf> (дата звернення: 11.04.2025).
11. Brooks B.W., Lazorchak J.M., Howard M.D., Johnson M.V.V., Morton S.L., Perkins D.A., Reavie E.D., Scott G.I., Smith S.A., Steevens J.A. Are harmful algal blooms becoming

- the greatest inland water quality threat to public health and aquatic ecosystems. *Environ. Toxicol. Chem.* 2016. Vol. 35. P. 6–13.
12. Arabi B., Salama M.S., Pitarch J., Verhoef W. Integration of in-situ and multi-sensor satellite observations for long-term water quality monitoring in coastal areas. *Remote Sens. Environ.* 2020 Vol. 239. P. 111632.
13. Ahmed A. N., Othman F. B., Afan H. A., Ibrahim R. K., Fai C. M., Hossain M. S., El-shafie A. Machine learning methods for better water quality prediction. *J. Hydrol.* 2019. Vol. 578. P. 124084.
14. Wang P., Yao J., Wang G., Hao F., Shrestha S., Xue B., Xie G., Peng Y. Exploring the application of artificial intelligence technology for identification of water pollution characteristics and tracing the source of water quality pollutants. *Sci. Total Environ.* 2019. Vol. 693. P. 133440.
15. Sagan V., Peterson, K.T., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Sloan, J., Greeling, B.A., Maalouf, S., Adams, C. Monitoring inland water quality using remote sensing: Potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. *Earth-Sci. Rev.* 2020. Vol. 205. P. 103187.
16. Peterson K.T., Sagan V., Sloan J.J. Deep learning-based water quality estimation and anomaly detection using Landsat-8/Sentinel-2 virtual constellation and cloud computing. *GIScience Remote Sens.* 2020. Vol. 57. P. 510–525.
17. Wang J.-H., Li C., Xu Y.-P., Li S.-Y., Du J.-S., Han Y.-P., Hu H.-Y. Identifying major contributors to algal blooms in Lake Dianchi by analyzing river-lake water quality correlations in the watershed. *J. Clean. Prod.* 2021. Vol. 315. P. 128144.
18. Niu C., Tan K., Jia X., Wang X. Deep learning based regression for optically inactive inland water quality parameter estimation using airborne hyperspectral imagery. *Environ. Pollut.* 2021. Vol. 286. P. 117534.
19. Sun C., Chen L., Zhu H., Xie H., Qi S., Shen Z. New framework for natural-artificial transport paths and hydrological connectivity analysis in an agriculture-intensive catchment. *Water Res.* 2021. Vol. 196. P. 117015.
20. Sun X., Zhang Y., Shi K., Zhang Y., Li N., Wang W., Huang X., Qin B. Monitoring water quality using proximal remote sensing technology. *Sci. Total Environ.* 2022. Vol. 803. P. 149805.
21. Becker R.H., Sultan M.I., Boyer G.L., Twiss M.R., Konopko E. Mapping cyanobacterial blooms in the Great Lakes using MODIS. *J. Great Lakes Res.* 2009. Vol. 35. P. 447–453.

REFERENCES

1. The global risks report 2025 20th edition. – Cologny, Switzerland: World Economic Forum, 2025. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2025.pdf (data zvernennia: 11.04.2025).
2. Shcho Rosiia robyt z ukrainskymy richkami pid chas viiny: 6 milioniv liudei cherez viinu ne maiut vody. Open Dnister. 30.09.2022. URL: <https://dnister.in.ua/articles/239825/scho-rosiya-robit-z-ukrainskimi-richkami-pid-chas-vijni-6-miljoniv-lyudej-cherez-vijnu-ne-mayut-vodi> (data zvernennia: 11.04.2025).

3. Zabrudnennia Chornoho moria yak naslidok avariinoi sytuatsii, yaka sklalasla pislia pidryvu hrebli Kakhovskoi HES. UkrNTsEM.
URL: https://sea.gov.ua/index.php/2023/06/27/ges_explosion_conseq/ (data zvernennia: 11.04.2025).
4. Breus D. S., Levchenko M. V. Metody otsiniuvannia ta normuvannia yakosti pryrodnykh vodnykh resursiv. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Silskohospodarski nauky. 2019. №. 110 (2). S. 126-131.
5. Kavzoglu T., Goral M. Google Earth engine for monitoring marine mucilage: Izmit Bay in Spring 2021. *Hydrology*. 2022. Vol. 9. №. 8. P. 135.
URL: <https://doi.org/10.3390/hydrology9080135> (дата звернення: 11.04.2025).
6. Das S., Nandi D., Thakur R. R., Bera D. K., Behera D., Durin B., Cetl V. A Novel Approach for Ex Situ Water Quality Monitoring Using the Google Earth Engine and Spectral Indices in Chilika Lake, Odisha, India. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2024. Vol. 13. №. 11. P. 381. URL: <https://doi.org/10.3390/ijgi13110381> (дата звернення: 11.04.2025).
7. Berka C. S. Relationship between agricultural land use and surface water quality using a GIS: Sumas River Watershed, Abbotsford, BC: Doctoral dissertation. University of British Columbia. 1996. 174 p.
8. Environmental Indicators of Water Quality in the United States. USEPA Rep. 841-R-96-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington. D.C. 1996.
9. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities. 22.12 2000. L 327/1. 118 p.
10. Sergieieva K., Kavats O., Vasyliiev V., Kavats Y., Kovrov O. Machine learning-based monitoring of war-damaged water bodies in Ukraine using satellite images. *CEUR Workshop Proceedings*. 2024. 3790. P. 422–434. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper37.pdf> (дата звернення: 11.04.2025).
11. Brooks B.W., Lazorchak J.M., Howard M.D., Johnson M.V.V., Morton S.L., Perkins D.A., Reavie E.D., Scott G.I., Smith S.A., Steevens J.A. Are harmful algal blooms becoming the greatest inland water quality threat to public health and aquatic ecosystems. *Environ. Toxicol. Chem.* 2016. Vol. 35. P. 6–13.
12. Arabi B., Salama M.S., Pitarch J., Verhoef W. Integration of in-situ and multi-sensor satellite observations for long-term water quality monitoring in coastal areas. *Remote Sens. Environ.* 2020 Vol. 239. P. 111632.
13. Ahmed A. N., Othman F. B., Afan H. A., Ibrahim R. K., Fai C. M., Hossain M. S., El-shafie A. Machine learning methods for better water quality prediction. *J. Hydrol.* 2019. Vol. 578. P. 124084.
14. Wang P., Yao J., Wang G., Hao F., Shrestha S., Xue B., Xie G., Peng Y. Exploring the application of artificial intelligence technology for identification of water pollution characteristics and tracing the source of water quality pollutants. *Sci. Total Environ.* 2019. Vol. 693. P. 133440.

15. Sagan V., Peterson, K.T., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Sloan, J., Greeling, B.A., Maalouf, S., Adams, C. Monitoring inland water quality using remote sensing: Potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. *Earth-Sci. Rev.* 2020. Vol. 205. P. 103187.
16. Peterson K.T., Sagan V., Sloan J.J. Deep learning-based water quality estimation and anomaly detection using Landsat-8/Sentinel-2 virtual constellation and cloud computing. *GIScience Remote Sens.* 2020. Vol. 57. P. 510–525.
17. Wang J.-H., Li C., Xu Y.-P., Li S.-Y., Du J.-S., Han Y.-P., Hu H.-Y. Identifying major contributors to algal blooms in Lake Dianchi by analyzing river-lake water quality correlations in the watershed. *J. Clean. Prod.* 2021. Vol. 315. P. 128144.
18. Niu C., Tan K., Jia X., Wang X. Deep learning based regression for optically inactive inland water quality parameter estimation using airborne hyperspectral imagery. *Environ. Pollut.* 2021. Vol. 286. P. 117534.
19. Sun C., Chen L., Zhu H., Xie H., Qi S., Shen Z. New framework for natural-artificial transport paths and hydrological connectivity analysis in an agriculture-intensive catchment. *Water Res.* 2021. Vol. 196. P. 117015.
20. Sun X., Zhang Y., Shi K., Zhang Y., Li N., Wang W., Huang X., Qin B. Monitoring water quality using proximal remote sensing technology. *Sci. Total Environ.* 2022. Vol. 803. P. 149805.
21. Becker R.H., Sultan M.I., Boyer G.L., Twiss M.R., Konopko E. Mapping cyanobacterial blooms in the Great Lakes using MODIS. *J. Great Lakes Res.* 2009. Vol. 35. P. 447–453.

Received 09.05.2025.

Accepted 12.05.2025.

Satellite monitoring and assessment of the degree of pollution of water bodies under the influence of military operations

The primary modern methods of monitoring water bodies, their pollution status, and the impact of military operations on them are investigated. Generally accepted, standardised methods for assessing water quality in water bodies include ground-based sampling, which is inefficient and expensive under certain conditions. Due to the full-scale invasion and active military operations, as well as the occupation of territories, this method loses its relevance. The study aims to determine the indicators and characteristics of the processes leading to changes in surface waters and to assess the degree of pollution of water bodies under the influence of military operations. The most suitable approach for practical use over large areas is the remote approach, which combines ground and satellite measurements to detect pollution in water bodies. The paper describes the main spectral water indices and data sets that can be used to apply satellite monitoring methods. The availability of archival data opens up the possibility of comparing the results obtained and analysing the factors influencing the state of the water bodies. Using the example of the man-made disaster at the Kakhovka HPP, the adaptability of indices for identifying areas with surface water pollution in the Black Sea basin is analysed. The results show that the NDTI spectral index should be used to assess the impact of military operations and evaluate surface water contamination. Compared to the NDWI, the surface water turbidity index allows the identification of areas with contamination due to signs caused by natural or man-made processes. The NDWI spectral index fixes the

boundaries of water bodies without detailing the pollution on the water surface due to changes in transparency, color, or other characteristics. The work describes data sets and demonstrates the potential of using satellite monitoring to analyse large areas.

Keywords: water resources, water bodies, military operations, satellite monitoring, assessment of the degree of pollution, remote sensing methods, spectral indices, NDWI, NDTI, Sentinel-2.

Кавац Олена Олександрівна - к.т.н., доц., доцент кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Кавац Юрій Віталійович - к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Сергєєва Катерина Леонідівна -к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Фененко Тетяна Михайлівна -старший викладач кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Дібрій Данило Андрійович - аспірант кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Kavats Olena Oleksandrivna - Ph.D., Associate Professor of the Department of Information Technology and Systems of Ukrainian State University of Science and Technology.

Kavats Yurii Vitaliiiovych - Ph.D., Associate Professor of the Department of Information Technology and Systems of Ukrainian State University of Science and Technology.

Sergieieva Kateryna - Ph.D., Associate Professor of the Department of Information Technology and Computer Engineering of Dnipro University of Technology.

Fenenko Tatjana - senior lecturer of the Department of Information Technology and Systems of Ukrainian State University of Science and Technology.

Dibrii Danylo Andriyovych - graduate student of the Department of Information Technology and Systems of Ukrainian State University of Science and Technology.