

ОЦІНКА СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ СПЕКТРАЛЬНИХ ІНДЕКСІВ

Кавац Ю.В.¹, Сергеева К.Л.², Фененко Т.М.³, Дібрій Д.А.⁴

¹ Український державний університет науки і технологій, к.т.н., доцент, Україна

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н., доцент,
Україна

³ Український державний університет науки і технологій, старший викладач,
Україна

⁴ Український державний університет науки і технологій, аспірант, Україна

Анотація. У дослідженні описано основні забруднювачі водних ресурсів України та методи оцінки ступеня забруднення за допомогою супутникового моніторингу. Супутникові дані дозволяють швидко отримувати дані з високою просторовою роздільною здатністю і великим просторовим покриттям для важкодоступних ділянок земної поверхні. Суттєвим аспектом супутникового моніторингу є можливість отримання інформації про зміни поверхневих вод на основі аналізу їх забруднення. Різномасштабні дані, в тому числі архівні, дають змогу оцінити стан водойм за кілька років. В якості основного масиву даних запропоновано мультиспектральні зображення супутника Sentinel-2, спектральні характеристики яких дозволяють отримати широкий спектр інформації. Проаналізовано приклади застосування дистанційного підходу для оцінки ступеня забруднення водойм на великих територіях. Вказано перспективні методи подальших досліджень для вирішення прикладних задач.

Ключові слова: Водні ресурси, водойми, водний дефіцит, супутниковий моніторинг, оцінка стану забруднення, екологічне навантаження, методи ДЗЗ, спектральні індекси, валідація, Sentinel-2.

Вступ. Україна посідає тридцять друге місце із сорока країн Європи, в яких фіксується нестача водних ресурсів. Запаси води поповнюються переважно через опади, а аномальні температури, які спостерігаються останніми роками в Україні, лише посилює водний дефіцит. За останні десять років кількість опадів в Україні влітку зменшилася на 15–27%, що напряму означає підвищення концентрації забруднення поверхневих вод у водоймах. Слід зазначити, що не лише зовнішні та природні фактори впливають на кількість і якість водних ресурсів в Україні. Господарська діяльність робить

значний внесок у загальну картину стану поверхневих вод і змін водних ресурсів. За даними державної статистики, серед основних забруднювачів водних ресурсів можна відокремити житлово-комунальне господарство (77%), промисловість (22%) та сільське господарство (0.5%). Ці цифри не відображають реального впливу аграрного сектору на водне середовище. Специфіка використання води у сільському господарстві ускладнює підрахунок реального обсягу забруднення. Частина агрохімікатів змивається з полів у водойми з поверхневим чи підземним стоком води. Поверхневі води за своєю природою є динамічним об'єктом, зміни якого впливають на інші природні ресурси та навколишнє середовище. Це обумовлює важливість ефективного визначення обсягу поверхневих вод і відстеження їх динаміки і ступеню забруднення.

Відповідно до Водної рамкової директиви Європейського Союзу (ВРД ЄС) [1], екологічний стан водойм оцінюється на основі трьох основних груп параметрів: гідробіологічних, гідрохімічних і гідроморфологічних [2]. У рамках державної системи моніторингу довкілля України оцінювання якості поверхневих вод ведеться окремо за гідрохімічними й гідробіологічними показниками. Основний принцип аналізу якості водного середовища, що використовується вже тривалий час у водоохоронній практиці, полягає у визначенні в окремих точках водного об'єкта хімічного складу, фізичних властивостей і бактеріологічних показників води та зіставлення результатів з нормативними величинами відповідних показників [1-4]. Враховуючи дороговартість та складність отримання показників, постає актуальна задача по розробці методології оцінки ступеню забруднення водних ресурсів на основі спектральних характеристик супутникових даних.

Основна частина. Останніми роками все більшої популярності набуває використання супутникового моніторингу для вирішення широкого спектру задач оцінки стану навколишнього середовища. Аналіз змін водних ресурсів не став виключенням, оскільки він надає можливість оперативно отримувати інформацію з певною періодичністю. Супутники, обладнані різними оптичними та тепловими датчиками, є перспективними в порівнянні з

вимірюванням на місці, оскільки забезпечують постійно зростаючий потік геопросторових даних з високою роздільною здатністю, що охоплюють великі території, а їх використання є більш економічно доцільним [5]. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) дозволяє проводити аналіз масштабних територій за допомогою спектрального відбиття, яке комбінується у різного роду спектральні індекси. Широкий спектр використання спектральних індексів дозволяє отримувати інформацію про процеси, які проходять у водах поверхневих водойм. Фіксуючи спектральне відбиття за набором різночасових супутникових зображень, можна отримати інформацію про зміни, які відбулися в певний проміжок часу. Один із спектральних індексів, що широко використовується та дозволяє проводити моніторинг змін, пов'язаних із вмістом води у водоймах – Normalized Difference Water Index (NDWI). Оскільки водойми сильно поглинають світло у видимому та інфрачервоному електромагнітному спектрі, NDWI використовує зелені та ближні інфрачервоні смуги для виділення водойм. Він чутливий до присутності забруднюючих домішок та може призвести до не завжди коректного картування водойм. Додатні значення індексу зазвичай відповідають водним об'єктам. Рослинність і забудовані території зазвичай відповідають від'ємним значенням NDWI. Виходячи з вищесказаного для оцінки стану забрудненості водних об'єктів обрано використання спектрального водного індексу, який дозволяє оцінити ступінь каламутності води – Normalized Difference Turbidity Index (NDTI). Каламутність означає ступінь оптичної прозорості води. Хоча індекс не пов'язаний строго із зависями, вмістом хлорофілу чи іншими показниками, він часто використовується в поєднанні для забезпечення більш цілісного аналізу якості води. Розрахунок NDTI базується на використанні зеленого та ближнього інфрачервоного діапазонів електромагнітного спектру. На відміну від інших спектральних водних індексів, NDTI базується на значенні електромагнітного відображення, яке для чистої води в зеленому діапазоні спектру є вищим, ніж у червоному. Отже, зі збільшенням каламутності збільшуються коефіцієнти відбиття у червоному діапазоні спектру. Слід зазначити, що більшість хімічних сполук, які через різні аспекти людської діяльності потрапляють в водойми, не

є оптично активними (азот, аміак, фосфор та інші). Визначення їх вмісту за допомогою спектральних індексів залишаються складною задачею для комплексної оцінки якості води.

Висновки. В роботі запропоновано використання даних супутникового моніторингу водних ресурсів для оцінки стану поверхневих вод, зокрема їхнього забруднення, на базі розрахунку спектральних індексів NDWI та NDTI. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методології оцінки якості води в закритих водоймах з урахуванням сезонності та лабораторних показників для подальшої валідації. А використання часових рядів в поєднанні із моделями глибинного машинного навчання дозволяє оцінювати зміни в водних об'єктах

ЛІТЕРАТУРА

1. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities, 22.12 2000. L 327/1. 118 p.
2. Бреус Д.С., Левченко М.В. Методи оцінювання та нормування якості природних водних ресурсів Таврійський науковий вісник Випуск № 110. Том 2 , 2019 р. Стр.126-131.
3. Berka C. Relationships between agricultural land use and surface water quality using a GIS. Sumas River watershed, Abbotsford, B.C.MSc thesis, Resource Management and Environmental Studies, University of British Columbia, Vancouver, B.C., 1996. 174 p.
4. EPA: 1996, 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.
5. 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, 803, 149805.
6. Subhasmita Das, Debabrata Nandi, Rakesh Ranjan Thakur, Dillip Kumar Bera, Duryadhan Behera, Bojan Đurin and Vlado Cetl, Novel Approach for Ex Situ Water Quality Monitoring Using the Google Earth Engine and Spectral Indices in Chilika Lake, Odisha, India, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2024, 13(11), 381; <https://doi.org/10.3390/ijgi13110381>.

ASSESSING WATER POLLUTION BASED ON SPECTRAL INDEXES

Yurii Kavats, Kateryna Sergieieva, Tatjana Fenenko, Danilo Dibrii

Abstract. *The study describes the primary pollutants of water resources in Ukraine and methods for assessing the degree of pollution using satellite monitoring. Satellite data allows to quickly obtain data with high spatial resolution and large spatial coverage for hard-to-reach areas of the Earth's surface. An essential aspect of satellite monitoring is*

the ability to obtain information on changes in surface waters based on the analysis of their pollution. Multi-temporal data, including archival data, makes it possible to assess the state of water bodies over several years. Multispectral images from the Sentinel-2 satellite are proposed as the primary data set, whose spectral characteristics allow for obtaining a wide range of information. Examples of the application of a remote sensing approach to assess the degree of pollution of water bodies over large areas are analyzed. Promising methods for further research to solve applied problems are pointed out.

Keywords: *Water resources, water bodies, water scarcity, satellite monitoring, pollution assessment, environmental stress, remote sensing methods, spectral indices, validation, Sentinel-2.*

REFERENCE

1. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities, 22.12 2000. L 327/1. 118 p.
2. Breus D.S., Levchenko M.V. Metody otsinyuvannya ta normuvannya yakosti pryrodnykh vodnykh resursiv Tavriys'kyy naukovyy visnyk Vypusk № 110. Tom 2 , 2019 r. Str.126-131.
3. Berka C. Relationships between agricultural land use and surface water quality using a GIS. Sumas River watershed, Abbotsford, B.C.MSc thesis, Resource Management and Environmental Studies, University of British Columbia, Vancouver, B.C., 1996. 174 p.
4. EPA: 1996, 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.
5. 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, 803, 149805.
6. Subhasmita Das, Debabrata Nandi, Rakesh Ranjan Thakur, Dillip Kumar Bera, Duryadhan Behera, Bojan Đurin and Vlado Cetl, Novel Approach for Ex Situ Water Quality Monitoring Using the Google Earth Engine and Spectral Indices in Chilika Lake, Odisha, India, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2024, 13(11), 381; <https://doi.org/10.3390/ijgi13110381>.