

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПЛОЩІ ВОДНОЇ ПОВЕРХНІ ДЛЯ ПОТРЕБ ВОДНОГО БАЛАНСУ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

На основі супутникових знімків Sentinel-2 та нормалізованого різницевого водного індексу (NDWI) виконано програмну реалізацію визначення площі водних об'єктів із використанням часосерійно-вагового підходу. Методика передбачає обробку серії знімків для різних дат із урахуванням їх якості шляхом застосування вагових коефіцієнтів. Проведено апробацію підходу для двох періодів 2025 року (перша половина літа та початок осені), що дозволило отримати зважені оцінки площі водної поверхні та виявити їх сезонні зміни. Результати підтверджують доцільність використання запропонованого підходу для підвищення точності оцінок площ водних об'єктів та подальшого застосування у розрахунках водного балансу басейну річки.

Ключові слова: площа водної поверхні, NDWI, часосерійно-ваговий метод, водогосподарський баланс.

Abstract

Based on Sentinel-2 satellite imagery and the Normalized Difference Water Index (NDWI), a software implementation for estimating water surface area using a time-series weighted approach is developed. The methodology relies on processing a series of images acquired at different dates, with image quality taken into account through weighting coefficients. The approach was tested for two periods of 2025 (first half of summer and early autumn), enabling weighted estimates of water surface area and identification of seasonal variations. The results confirm the feasibility of using the proposed approach to improve the accuracy of estimating the water surface area, which can be further used in river basin water balance studies.

Keywords: water surface area, NDWI, time-series weighted method, water balance.

Актуальність дослідження

Існує низка факторів, які впливають на точність розрахунку водогосподарського балансу: зміни землекористування, антропогенний вплив, сезонність, кліматичні зміни. Без правильних розрахунків об'єму притоку та відтоку і їх компонентів на водогосподарській ділянці (ВГД), включаючи актуальність даних про площу водних об'єктів та рівень випаровування, неможливо отримати достовірні результати. В результаті цих похибок ускладнюється планування водокористування, прогнозування дефіцитів і резервів.

На відміну від витрат, що вимірюються на гідрологічних постах (водозабір, перекидання стоку), випаровування є величиною, яка чутлива до вхідних параметрів. Одним із ключових таких параметрів є площа водойм. Розрахунок витрат на додаткове випаровування виконується за формулою [1, с. 48]:

$$W_{eva} = (W_{eva0} \cdot \frac{S}{k_{eva}}) - (X - (\frac{W}{F} \cdot 10^3))$$

де S – площа водойм в межах ВГД, а інші параметри визначаються за метеорологічними та гідрологічними даними.

Традиційними методами розрахунку площ водойм (польові заміри, ручна інтерпретація, інструментальна зйомка) мають суттєві обмеження: вони є трудомісткими, ресурсозатратними та забезпечують лише статичну оцінку, що ускладнює оперативний моніторинг, особливо з урахуванням сезонних і антропогенних змін площі водних об'єктів.

Альтернативою є методи дистанційного супутникового зондування, доступність яких значно зросла завдяки відкритим даним місій Sentinel-2 і Landsat та розвитку платформ їх обробки. Сучасні

дослідження, зокрема робота В. Гнатушенка та М. Міщенка [2], демонструють ефективність підходів на основі спектральних водних індексів, методів класифікації та машинного навчання. Це створює передумови для практичного впровадження супутникового моніторингу водних поверхонь у задачах водогосподарського балансу та екологічного управління.

Методика дослідження

Для даного дослідження було обрано нормалізований різницевий водний індекс NDWI завдяки простоті реалізації, стабільності результатів і доступності необхідних спектральних каналів у відкритих супутникових сервісах. Він обчислюється на основі зеленого та ближнього інфрачервоного каналів. Для підсилення контрасту між водною поверхнею та іншими типами покриття поряд з NDWI на практиці застосовуються також індекси MNDWI та AWEI, однак усі ці методи є чутливими до якості зображень, умов освітлення, сезонності та стану рослинності.

Порогове значення $NDWI = 0.05$ було обрано емпірично на основі аналізу супутникових знімків досліджуваної території та їх візуального зіставлення з реальними водними об'єктами. Для отримання знімків використано сервіс Planet Labs [3], який забезпечує доступ до даних місії Sentinel-2 у межах безкоштовної квоти. Визначення площі водних об'єктів виконувалося із застосуванням часосерійно-вагового підходу, що передбачає обробку серії знімків для різних дат із присвоєнням ваг відповідно до їх якості та подальшим обчисленням NDWI для кожного зображення.

Часосерійно-ваговий метод має наступні переваги:

- Враховує мінливість умов супутникової зйомки за рахунок аналізу декількох знімків, а не єдиного “вдалого”.
- Уникає суттєвого впливу аномалій чи низької якості окремих знімків завдяки використанню ваг.
- Бере до уваги зміну водних об'єктів з плином часу (на рівні тижневих або місячних змін чи сезонних коливань).

В загальному вигляді алгоритм обчислення площі водних об'єктів в межах ВГД наступний:

1. Сформувати перелік дат супутникових знімків і присвоїти їм ваги.
2. Для кожної дати отримати супутникові знімки та обчислити індекс NDWI.
3. Виконати накладання меж водогосподарської ділянки на знімки.
4. Виділити водні пікселі за допомогою порогового значення.
5. Для кожної дати обчислити площу водної поверхні.
6. Отримати зважену оцінку площі водної поверхні, застосувавши часосерійно-ваговий підхід.

Результати дослідження

Реалізацію часосерійно-вагового методу для автоматизованого розрахунку площі водойм на ВГД виконано на Python і розміщено на платформі Colab [4]. Досліджувалась ділянка M5.4.0.02 (р. Південний Буг від гирла р. Іква до г/п Селище), на території якої знаходиться місто Вінниця. Дані про водогосподарські баланси Південного Бугу можна знайти на сайті Державного агентства водних ресурсів України [5]. На рисунку 1 зображені індекс NDWI для території ВГД та поріг водних пікселів.

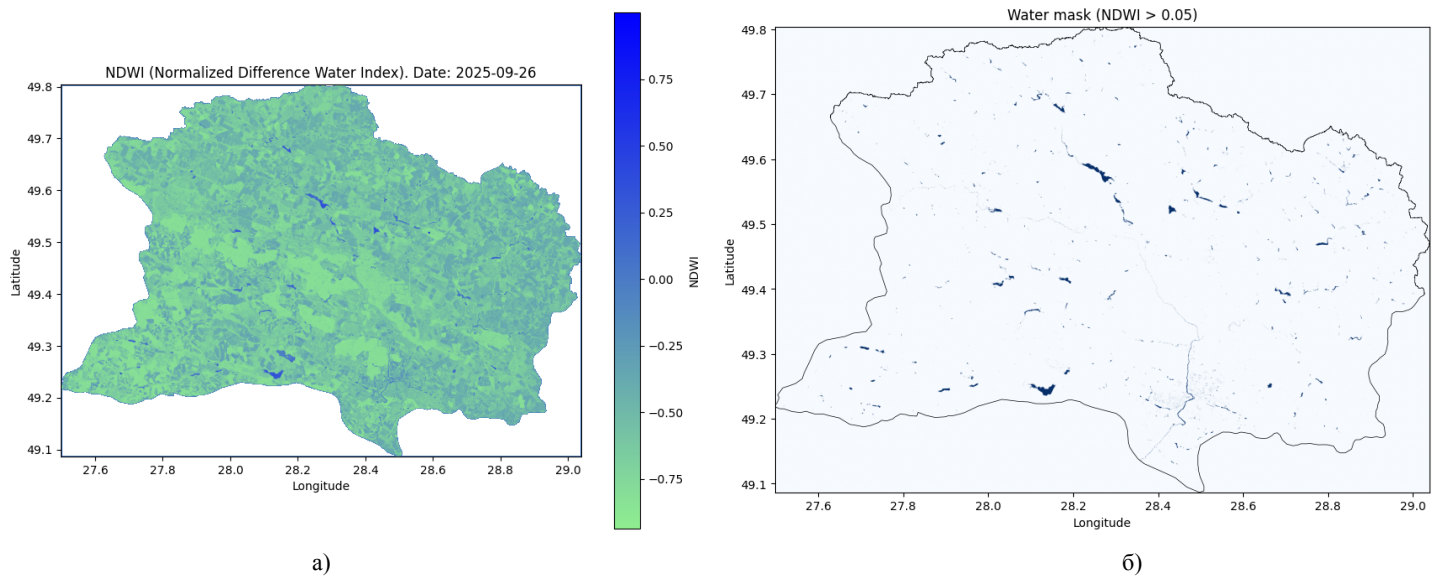


Рис. 1. Кроки визначення водних об'єктів: а) індекс NDWI та б) поріг водних пікселів для 26.09.2025

З метою дослідження впливу сезонності на площу водних об'єктів було проаналізовано знімки двох періодів 2025 року: першої половини літа та початку осені. В таблиці 1 представлені результати розрахунку площі водойм в першій половині літа, а в таблиці 2 – на початку осені.

Таб. 1. Площа водної поверхні в першій половині літа 2025

Дата	Хмарність, %	Вага цієї дати	Площа, км ²
05.06.2025	11	0.09	25.134
08.06.2025	4	0.4	36.794
03.07.2025	2	0.42	47.93
08.07.2025	13	0.09	47.938
Зважена площа, км ²			
41.425			

Таб. 2. Площа водної поверхні на початку осені 2025

Дата	Хмарність, %	Вага знімка	Площа, км ²
03.09.2025	1	0.3	26.722
06.09.2025	14	0.05	26.861
23.09.2025	1	0.3	30.867
26.09.2025	0	0.35	32.652
Зважена площа, км ²			
30.048			

Отримані результати демонструють суттєву варіабельність розрахованих площ водної поверхні як між окремими датами в межах одного періоду, так і між різними сезонними періодами. Однією з ключових причин таких відмінностей є чутливість алгоритму до вибраного порогового значення NDWI для класифікації водних пікселів. Зокрема, для дати 05.06.2025 (25.134 км²) при використанні порогу 0.05 частина пікселів, що відповідають окремим водоймам, не була ідентифікована як водна поверхня, тоді як для знімків 03.07.2025 (47.93 км²) за аналогічного порогу ці ж ділянки вже коректно класифікувалися.

Висновки

Для обчислення площі водойм в межах ВГД в роботі запропоновано часосерійно-ваговий метод. Розроблено програмну реалізацію цього методу за допомогою нормалізованого різницевого водного індексу (NDWI) та супутникових знімків місії Sentinel-2.

У ході дослідження опрацьовано серії супутникових знімків ділянки M5.4.0.02 для двох періодів 2025 року: першої половини літа та початку осені. Для кожної дати виконано обчислення площі водної поверхні, після чого з урахуванням якості знімків, відображених значенням ваг, отримано зважену середню площу для даного періоду. За результатами розрахунків зваженої оцінки площі водної поверхні для періоду першої половини літа отримано 41.425 км², тоді як для періоду початку осені – 30.048 км², що відображає чутливість алгоритму до вибраного порогового значення NDWI, а також фактор сезонної зміни площі водойм.

Отримані результати свідчать, що застосування часосерійно-вагового підходу є доцільним для зменшення впливу окремих знімків з підвищеною зашумленістю і для забезпечення більш стабільної оцінки площ водної поверхні. Запропонований підхід може бути використаний у розрахунках компоненту втрат на додаткове випаровування при формуванні водного балансу басейну річки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін В. Б. Методи оцінювання та засоби автоматизації розрахунку складових водогосподарського балансу районів річкових басейнів України : монографія / В. Б. Мокін, В. В. Гребінь, Є. М. Крижановський. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 168 с. – ISBN 978-966-641-948-7
2. Гнатушенко В. В., Міщенко М. С. Аналіз методів виділення водних об'єктів на супутникових зображеннях. Системні технології. 2025. Т. 4, № 159. С. 108–113. URL: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-159-2025-11>
3. Planet Documentation. Cloud-native platform for Earth observation with reliable data, scalable analytics, and accessible integrations and APIs [Електронний ресурс] // Planet Documentation. – Режим доступу: <https://docs.planet.com/> (дата звернення: 10.12.2025). – Назва з екрана
4. Алгоритм розрахунку площі водної поверхні на ВГД часосерійно-ваговим методом [Електронний ресурс] // Google Colab. – Режим доступу: <https://colab.research.google.com/drive/1zirCxbKA9yufda0E7oNh9yLOxxAf9Tqh?usp=sharing> (дата звернення: 10.12.2025). – Назва з екрана.
5. Водогосподарські баланси основних районів річкових басейнів [Електронний ресурс] // Державне агентство водних ресурсів України. – Режим доступу: <https://davr.gov.ua/vodogospodarski-balansi-osnovnih-rajoniv-richkovih-basejniv> (дата звернення: 10.12.2025). – Назва з екрана.

Наюк Андрій Олексійович – аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: anaiuk.stu@gmail.com

Євгеній Миколайович Крижановський – канд. техн. наук, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kruzhan@gmail.com

Naiuk, Andrii O. – PhD in System Analysis and Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: anaiuk.stu@gmail.com

Kryzhanovsky, Evgeniy M. – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of System Analysis and Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kruzhan@gmail.com