



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2026.13.2.306>

УДК 528.8:556.54:004.9

## Веборієнтований геоінформаційний інструмент картування частоти наявності водної поверхні – на прикладі Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро»

А. О. Козлова, <https://orcid.org/0000-0001-5336-237X>

А. А. Андреев,\* <https://orcid.org/0000-0002-6485-449X>

ДУ “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”, вул. Олесь Гончара, 55-Б, Київ, 01054, Україна

Водно-болотні угіддя (ВБУ) є важливими для забезпечення екологічної стабільності та збереження біорізноманіття, що безпосередньо впливає на добробут людини. Проте, останнім часом ці екосистеми зазнають деградації внаслідок кліматичних змін, а для України ще одним фактором також стали воєнні дії, зокрема підлив Каховської ГЕС. У таких умовах методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є оптимальним інструментом для оцінювання таких змін, оскільки дають змогу аналізувати великі території та отримувати актуальні дані навіть в тих випадках, коли наземні дослідження проводити неможливо через воєнні дії.

У роботі запропоновано підхід до оцінювання просторово-часової динаміки водної поверхні на основі показника частоти її наявності (Surface Water Occurrence, SWO), за яким формуються відповідні карти (SWOM). На основі цього підходу розроблено веборієнтований геоінформаційний інструмент, реалізований на платформі Google Earth Engine, що забезпечує швидке оброблення значних обсягів даних, не потребуючи потужних обчислювальних ресурсів з боку користувача. Як вхідні дані використовуються продукти класифікації типів земного покриття Dynamic World та шар Scene Classification Layer (SCL), що входить до складу кожного супутникового знімка Sentinel-2. Цей інструмент дає змогу виконувати розрахунок SWOM та його класифікацію на три класи – «Суходіл (No Water)», «Тимчасові водні поверхні (Temporary Water)» та «Постійні водні поверхні (Permanent Water)», а також отримувати статистичні показники площ цих класів. Розроблений інструмент є кросплатформним, тому може використовуватися на різних типах пристроїв, зокрема на комп'ютерах, планшетах та навіть мобільних пристроях.

Практична апробація інструменту була проведена на прикладі Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро» за період 2024–2025 років. Розраховані карти SWOM та відповідні статистичні показники дали змогу встановити, що постійні водні поверхні займають 136.14 км<sup>2</sup> (39.55%), тоді як тимчасові – 26.81 км<sup>2</sup> (7.79%) від загальної площі дослідження. Проведений експеримент демонструє можливості інструменту щодо аналізу просторового розподілу водної поверхні. Отже, запропонований інструмент можна використати для розв'язання прикладних задач екологічного моніторингу, а також застосувати для інших територій дослідження.

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, моніторинг довкілля, водно-болотні угіддя, дельта Дніпра, Рамсарські угіддя, геоінформаційний інструмент, динаміка поверхневих вод, Google Earth Engine, Sentinel-2, Dynamic World.

© А. О. Козлова, А. А. Андреев, 2026

### Вступ

Водно-болотні угіддя (ВБУ) відіграють ключову роль у забезпеченні екологічної стабільності, підтриманні біорізноманіття та, відповідно, добробуту людини (Mitsch et al., 2015; Dixon et al., 2016). Вони забезпечують широкий спектр важливих екосистемних послуг завдяки високій акумулювативній і продуктивній здатності, виконують сполучну функцію між суходільними та водними типами екосистем, а також є оселищами для двох третин видів рослин і тварин, ділянками продукування біомаси та кисню,

природними резервуарами та фільтрами очищення води (Марушевський & Жарук, 2006; Delle Grazie & Gill, 2022). Водночас упродовж останніх років ВБУ зазнають дедалі більшої деградації в усьому світі внаслідок змін клімату та нерациональної господарської діяльності людини (Davidson, 2014; Hu et al., 2017; Papor et al., 2021). Міжнародна увага до проблем їх збереження та відновлення відображена, зокрема, в досягненні завдання сталого розвитку 6.6, а також у положеннях Рамсарської конвенції та пов'язаних з нею директив.

\*Corresponding author / Автор для кореспонденції: A. Andreev / А. А. Андреев / [artem.a.andreev@gmail.com](mailto:artem.a.andreev@gmail.com)

This is an Open Access article under the CC BY licenses (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

В Україні більша частина водного фонду фактично є ВБУ (Марушевський & Жарук, 2006), з них 50 отримали сертифікат Рамсарських та є визнаними на міжнародному рівні як середовище існування унікальних водоплавних птахів (<https://rsis Ramsar.org/>). Повномасштабне військове вторгнення Росії суттєво вплинуло на стан низки українських ВБУ, поставивши під загрозу їхні ключові екосистемні функції (Ramsar Resolution XIV.20, 2022). Зокрема, територія дельти ріки Дніпро (Рамсарський об'єкт № 767), розташована в межах Нижньодніпровського національного природного парку в Херсонській області, зазнала значних змін. Починаючи з листопада 2022 року, ця територія знаходиться на лінії фронту, а в червні 2023 року зазнала масштабного затоплення внаслідок підриву Каховської ГЕС (Kozlova et al., 2024; Ліщенко та ін., 2025). У таких умовах методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) фактично залишаються єдиним безпечним і надійним інструментом для отримання актуальної інформації про стан і площу ВБУ (Pettorelli et al., 2014).

Методи ДЗЗ мають значний потенціал для забезпечення ефективного та масштабного моніторингу водно-болотних екосистем (Nakimdarav et al., 2020). Картування ВБУ на основі даних ДЗЗ стало предметом численних досліджень, результатом яких, зокрема, є створення глобальних карт (Ludwig et al., 2019). Одним із підходів до картування ВБУ є використання показника частоти наявності водної поверхні (Surface Water Occurrence, SWO). Під SWO розуміють показник, що відображає відрізок часу, протягом якого водна поверхня була присутня в межах кожного пікселя за визначений період спостережень. На основі цього показника формуються відповідні карти (Surface Water Occurrence Map, SWOM). На сьогодні існує низка підходів до оцінювання SWO на основі даних ДЗЗ (Donchyts et al., 2016), зокрема глобальні продукти, такі як Global Surface Water від European Commission Joint Research Centre (Pekel et al., 2016; Guo et al., 2020). Водночас такі рішення, як правило, мають узагальнений характер або не враховують специфіки окремих регіонів, зокрема території України, що зумовлює потребу у більш гнучких інструментах для локального аналізу.

Оскільки SWO є показником, який потребує побудови тривалих часових рядів, це зумовлює необхідність використання великої кількості супутникових знімків. Також в багатьох випадках територія дослідження має значну площу, що призводить до суттєвого збільшення обсягів даних та ускладнює їх оброблення. У зв'язку з цим доцільно використати хмарні обчислювальні платформи (Li et al., 2020; Yang et al., 2016), адже це дає змогу обробляти великі обсяги даних, не залучаючи значні обчислювальні ресурси з боку користувача. Серед таких вебплатформ для геопросторового аналізу найбільш поширеною є Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017; Amani et al., 2020). Ще однією перевагою створення веборієнтованого інструменту є наявність

зрозумілого графічного інтерфейсу користувача, який забезпечує зручний доступ до оброблення даних. Це, своєю чергою, розширює коло користувачів і дає змогу застосовувати інструмент для різних територій та умов.

Отже, метою роботи є розроблення веборієнтованого геоінформаційного інструменту для картування водної поверхні ВБУ на основі розрахунку частоти її наявності за даними ДЗЗ. Реалізацію розробленого інструменту показано на прикладі Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро».

## Підхід

Запропонований підхід базується на напрацюваннях, викладених у попередніх дослідженнях авторів, у яких розглядалося використання показника SWO для аналізу водно-болотних екосистем та оцінювання їх змін (Kozlova et al., 2025a; Kozlova et al., 2025b; Kozlova et al., 2024). Алгоритм підходу до розрахунку частоти наявності водної поверхні подано на Рис. 1. Він складається з таких етапів, як створення щоденних мозаїк з вхідного набору даних ДЗЗ, побудова бінарних масок водної поверхні, розрахунок SWOM та його подальша класифікація на 3 класи.

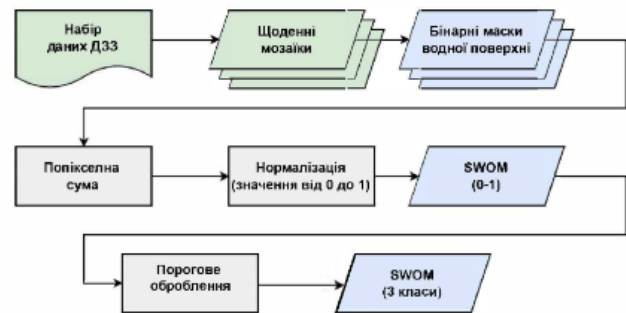


Рис. 1. Блок-схема алгоритму підходу до розрахунку карти частоти наявності водної поверхні (SWOM)

**Набір даних ДЗЗ.** Можуть бути використані дані як оптичні (Sentinel-2, Landsat, MODIS тощо), так і радарні (Sentinel-1, RADARSAT, ALOS PALSAR тощо). Найбільш поширеними є саме оптичні дані, на основі яких також доступні різноманітні продукти класифікації типів земного покриття, серед яких Dynamic World (Brown et al., 2022), Scene Classification Layer (SCL) (Drusch et al., 2012), MODIS Land Cover Type Yearly (Friedl et al., 2022), Copernicus CORINE Land Cover, Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 (Buchhorn et al., 2020), ESA WorldCover (Zanaga et al., 2021) тощо.

**Створення щоденних мозаїк.** З огляду на те, що розрахунок SWOM полягає в оцінюванні динаміки змін, необхідно побудувати часовий ряд даних ДЗЗ. Елементами такого ряду є щоденні мозаїки. Ще однією причиною створення щоденних мозаїк є те, що територія дослідження може перевищувати розмір сцени одного супутникового знімка, тому необхідно

об'єднати декілька знімків в єдину мозаїку для того, щоб повністю охопити територію дослідження.

**Бінарні маски водної поверхні.** На основі кожної одержаної щоденної мозаїки створюється бінарна маска водної поверхні, яка є геопросторовим шаром, коли значення 1 відповідають пікселам, де присутня водна поверхня, а значення 0 – пікселам, де водна поверхня відсутня. Такий шар може бути отриманий на основі порогового оброблення відповідних водних індексів (AWEI, NDWI, MNDWI тощо) (Feyisa et al., 2013; Du et al., 2016) або на основі готових продуктів класифікації типів земного покриття, які містять клас водної поверхні (SCL, Dynamic World тощо).

**Попікселна сума.** На цьому етапі проводиться попікселна сума всіх одержаних бінарних масок водної поверхні відповідно до формули:

$$S(x) = \sum_{i=1}^N M_i(x),$$

де  $S(x)$  – значення попікселної суми для піксела  $x$ ;  $M_i(x)$  – значення бінарної маски водної поверхні для  $i$ -го дня (1 – вода, 0 – відсутність води);  $N$  – кількість днів дослідження (кількість бінарних масок).

Таким чином, значення отриманого геопросторового шару  $S$  лежать від 0 до  $N$ , де  $N$  – кількість днів дослідження та, відповідно, кількість одержаних бінарних масок водної поверхні. Отже, значення кожного піксела цієї карти відображає кількість днів, протягом яких вода була присутня в межах розглянутого піксела.

**Нормалізація.** Цей етап передбачає нормалізацію отриманої попікселної суми відповідно до формули нижче:

$$SWOM(x) = \frac{S(x)}{N},$$

де  $SWOM(x)$  – нормалізоване значення частоти наявності водної поверхні для піксела  $x$ ;  $S(x)$  – попікселна сума;  $N$  – кількість днів дослідження.

**SWOM (0–1).** Після виконання вищеописаних процедур та нормалізації буде отримано SWOM у вигляді геопросторового шару, значення якого лежать у діапазоні від 0 до 1. Значення 0 відповідає повній відсутності водної поверхні протягом всього періоду дослідження, тоді як значення 1 – її постійній наявності протягом всього періоду дослідження. Проміжні значення відображають відрізок часу, протягом якого у відповідному пікселі була присутня вода.

**Порогове оброблення.** На цьому етапі проводиться розподіл одержаного шару SWOM на 3 класи шляхом порогового оброблення, тобто користувачем задаються діапазони кожного з 3 класів.

**SWOM (3 класи).** При виконанні описаних вище процедур буде отримано SWOM, розподілену на 3 класи, а саме: «Суходіл (No Water)», «Тимчасові водні поверхні (Temporary Water)» та «Постійні водні поверхні (Permanent Water)».

## Архітектура геоінформаційного інструменту

Запропонований підхід розрахунку частоти наявності водної поверхні реалізовано у вигляді геоінформаційного інструменту на основі платформи для геопросторового аналізу GEE. Цей інструмент подано у вигляді вебзастосунку, який доступний за посиланням

<https://artemaandreev.users.earthengine.app/view/swomdni-prodelta>. Слід зауважити, що розроблений інструмент є кросплатформним, тому може застосовуватися на різних типах пристроїв, зокрема на комп'ютерах, планшетах та навіть мобільних пристроях. Тобто, функціонування розробленого інструменту не залежить від типу пристрою чи операційної системи та потребує лише наявності доступу до мережі Інтернет. Графічний інтерфейс користувача (GUI) зображено на Рис. 2.

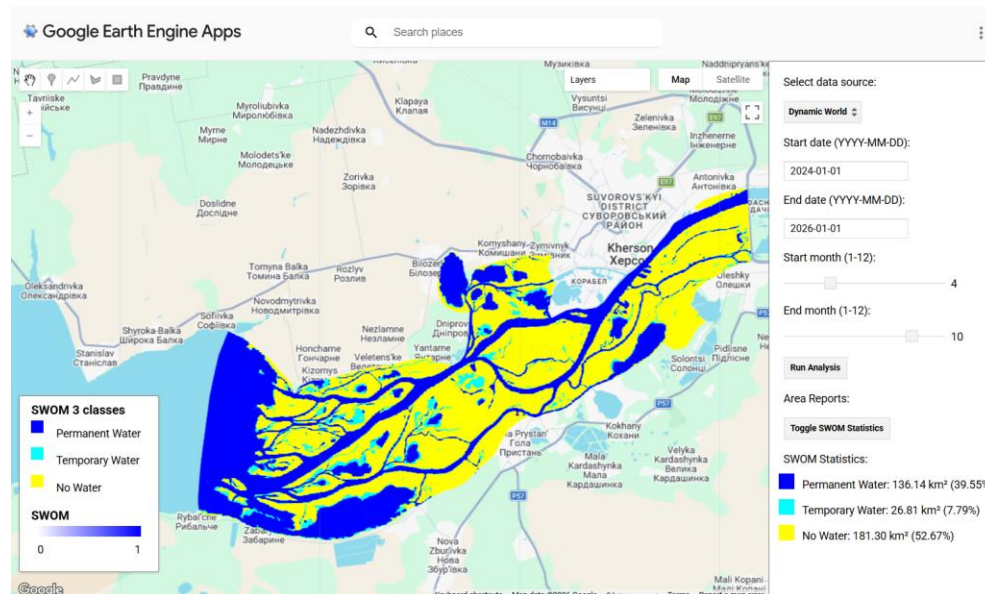


Рис. 2. Графічний інтерфейс користувача (GUI)

Вхідними даними є продукти класифікації типів земного покриву – Dynamic World або SCL (користувач обирає один із варіантів). Dynamic World – це глобальний продукт класифікації земного покриву з просторовою розрізненістю 10 м, який містить 9 класів, включно з водними поверхнями. Продукт функціонує в режимі майже реального часу (Near Real-Time), оскільки карти класифікації автоматично генеруються для кожного доступного знімка Sentinel-2. SCL (Scene Classification Layer) – це шар класифікації, який має просторову розрізненість 20 м та містить 12 класів, включно з водними поверхнями. Подібно до Dynamic World він функціонує в режимі майже реального часу (Near Real-Time), оскільки доступний для кожного знімка Sentinel-2 рівня оброблення L2A.

Також для функціонування цього інструменту, а саме для визначення території дослідження, використовується векторний файл (shapefile) у системі координат WGS84 (EPSG:4326). Зокрема, для цього інструменту використано shapefile, що описує межі території Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро». Серед вхідних параметрів – вибір джерела вхідних даних (Dynamic World або SCL) (задається в полі *Select data source*, яке показано на Рис. 2), початкова та кінцева дата дослідження (задаються в полях *Start date* (YYYY-MM-DD) та *End date* (YYYY-MM-DD), відповідно), початковий та кінцевий місяці дослідження (тобто, дослідження проводитимуться лише в рамках цих місяців протягом всіх років, заданих попереднім параметром) (задаються в полях *Start month* (1–12) та *End month* (1–12), відповідно). Запуск цієї програми із зазначеними експертними параметрами відбувається при натисканні кнопки *Run Analysis*.

Архітектура функціонування розробленого геоінформаційного інструменту для розрахунку частоти наявності водної поверхні наведена на Рис. 3. Основними блоками цієї архітектури є *попереднє оброблення знімків* та *застосування підходу до розрахунку SWOM*.

Блок “Попереднє оброблення знімків” складається з таких процедур:

1. *Фільтрація за датою дослідження* – обираються знімки за зазначеним експертним періодом дослідження.

2. *Фільтрація за територією дослідження* – обираються знімки, які охоплюють визначену територію дослідження, а саме – межі території Дельти ріки Дніпро, що визначені відповідним shapefile.

3. *Маскування хмар та їхніх тіней* – маскуються хмари та їхні тіні за допомогою відповідних функцій. При використанні SCL маскування хмар та їхніх тіней здійснюється на основі класів, що містяться в означеному шарі: 3 (Cloud shadows – тіні від хмар), 8 (Clouds medium probability – хмари з середньою ймовірністю), 9 (Clouds high probability – хмари з високою ймовірністю) та 10 (Cirrus – перисто-купчасті хмари). Натомість продукт Dynamic World надається вже з інтегрованим маскуванням хмар та їхніх тіней

Блок “Застосування підходу до розрахунку SWOM”:

1. *Створення бінарних масок водної поверхні* – на основі обраного продукту класифікації формуються бінарні маски, де значення 1 присвоюється пікселям з індексом класу «Water» (0 для Dynamic World або 6 для SCL), а значення 0 – усім іншим типам земного покриву.

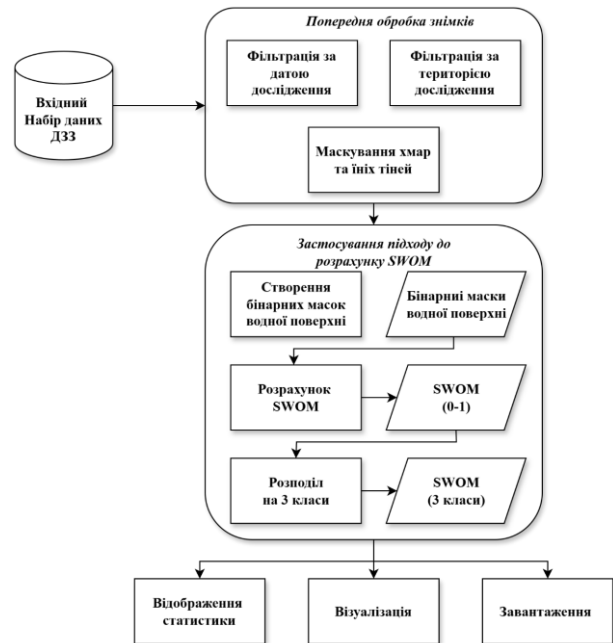


Рис. 3. Блок-схема архітектури функціонування розробленого геоінформаційного інструменту для розрахунку частоти наявності водної поверхні

2. *Розрахунок SWOM* – проводиться попіксельне підсумовування значень бінарних масок, які діляться на загальну кількість доступних безхмарних спостережень за обраний період. У результаті формується растровий шар SWOM із діапазоном значень від 0 до 1, що відображає частоту наявності водної поверхні.

3. *Розподіл на 3 класи* – отримана SWOM розподіляється на 3 класи з вказаними діапазонами значень пікселів: «Суходіл (No Water)», 0–0.1; «Тимчасові водні поверхні (Temporary Water)», 0.1–0.9; «Постійні водні поверхні (Permanent Water)», 0.9–1.

Після завершення вищевказаних процесів інструмент також дає змогу отримати статистичну інформацію щодо площ кожного з трьох класів SWOM. Відповідні значення обчислюються та відображаються в інтерфейсі користувача після натискання кнопки «Toggle SWOM Statistics» (рис. 2).

Також отримані SWOM (0-1) та SWOM 3 класи можна візуалізувати на інтерактивній карті GEE. За допомогою вбудованих інструментів користувач може регулювати прозорість кожного з цих шарів та вмикати чи вимикати відповідні шари.

Окрім того, можливим є експорт отриманих карт у вигляді геопросторових растрових шарів у форматі GeoTIFF на відповідний Google Drive користувача. Просторова розрізненість експортованої карти залежить від обраного джерела даних: 10 м для

Dynamic World або 20 м для SCL. Проте, зауважимо, що ця функція доступна лише при використанні відповідного скрипту (програмного коду) в середовищі GEE і не реалізована в опублікованій версії вебзастосування.

### Приклад застосування інструменту

Розроблений геоінформаційний інструмент було застосовано для розрахунку SWOM території Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро» протягом 2024–2025 рр. Зазначимо, що аналіз проводився виключно у квітні – жовтні, оскільки в цей період водна поверхня є відкритою та не покрита льодом, що забезпечує коректне визначення її наявності за даними ДЗЗ. Також

зазначимо, що вхідні параметри та приклад роботи інтерфейсу зображені на рис.2. В рамках цього експерименту було отримано 2 карти – SWOM зі значеннями від 0 до 1 та SWOM, розподілена на 3 класи.

Отриманий растровий шар SWOM (0-1) для території Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро» за період 2024–2025 рр. (квітень–жовтень) зображено на Рис. 4.

Одержана SWOM (0–1) була розподілена на 3 класи із заданими діапазонами значень пікселів: «Суходіл (No Water)», 0–0.1; «Тимчасові водні поверхні (Temporary Water)», 0.1–0.9; «Постійні водні поверхні (Permanent Water)», 0.9–1. Відповідний растровий шар зображено на Рис. 5.



Рис. 4. Карта частоти наявності водної поверхні (SWOM, значення 0–1) для Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро», 2024–2025 рр. (квітень–жовтень)

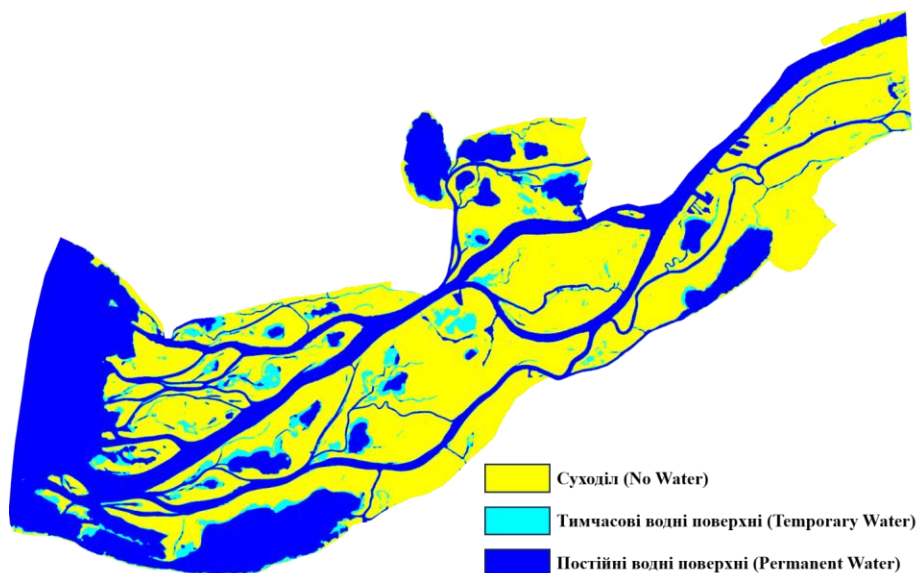


Рис. 5. Карта частоти наявності водної поверхні (SWOM, 3 класи) для Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро», 2024–2025 рр. (квітень–жовтень)

Також було отримано значення площі кожного з класів. Приклад відображення статистики в інтерфейсі інструменту зображено на Рис. 2. Відповідно до отриманих даних площа класу «Суходіл (No Water)» становить 181.30 км<sup>2</sup> (52.67% від загальної площі території дослідження), «Тимчасові водні поверхні (Temporary Water)» – 26.81 км<sup>2</sup> (7.79%), «Постійні водні поверхні (Permanent Water)» – 136.14 км<sup>2</sup> (39.55%).

## Висновки

У цій роботі викладено підхід до картування водної поверхні. Він базується на розрахунку частоти наявності водної поверхні (SWOM) за даними ДЗЗ. Запропонований підхід є універсальним, даючи змогу застосовувати як радарні, так і оптичні дані. Проте, в роботі подано розрахунок на основі готових продуктів класифікації типів земної поверхні.

Запропонований підхід реалізовано у вигляді веборієнтованого геоінформаційного інструменту, який подано як опублікований додаток на базі вебплатформи GEE. Цей інструмент дає змогу розрахунку SWOM території Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро» на основі двох джерел даних на вибір користувача – Dynamic World або SCL. Окрім того, графічний інтерфейс користувача дає змогу задавати період дослідження, обирати джерело вхідних даних, а також виконувати візуалізацію результатів у вигляді SWOM (0–1) та SWOM, розподілену на 3 класи. Також передбачено розрахунок статистичних показників, зокрема площ кожного з виділених класів.

Розроблений інструмент було застосовано для території Рамсарського угіддя «Дельта р. Дніпро» за 2024–2025 рр., що дало змогу отримати відповідні SWOM у вигляді геопросторових растрових шарів.

Подальші дослідження потрібно спрямувати на розширення функціоналу цього інструменту, а саме:

- 1) додавання можливості вибору довільної території дослідження;
- 2) деталізація класифікації (Andriev & Artiushyn, 2024);
- 3) розширення переліку вхідних даних.

**Внесок авторів:** Концептуалізація – А. О. Козлова та А. А. Андреев; методологія – А. А. Андреев та А. О. Козлова; формальний аналіз та оброблення даних – А. А. Андреев; дослідження – А. О. Козлова; підготовка тексту статті – А. А. Андреев та А. О. Козлова; рецензування та редагування – А. О. Козлова та А. А. Андреев. Всі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

**Фінансування:** Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

**Розкриття інформації про ШІ:** під час підготовки цього рукопису генеративні інструменти штучного інтелекту не використовувались.

**Доступність даних:** Розроблений веборієнтований геоінформаційний інструмент доступний за посиланням: <https://artemaandreev.users.earthengine.app/view/swomdniprodelta>.

**Подяки:** Автори вдячні Національній академії наук України за підтримку цього дослідження. Ми також вдячні

рецензентам і редакторам за їхні цінні коментарі, рекомендації та увагу до роботи

**Конфлікти інтересів:** Автори заявляють, що не мають конфлікту інтересів

**Author Contributions:** Conceptualization – A. O. Kozlova and A. A. Andriev; Methodology – A. A. Andriev and A. O. Kozlova; Formal Analysis and Data Processing – A. A. Andriev; Investigation – A. O. Kozlova; Writing – Original Draft Preparation – A. A. Andriev and A. O. Kozlova; Writing – Review & Editing – A. O. Kozlova and A. A. Andriev. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Disclosure of AI use:** We confirm that no generative artificial intelligence tools were used in the preparation of this manuscript.

**Data Availability Statement:** The developed web-based geoinformation tool is publicly available at: <https://artemaandreev.users.earthengine.app/view/swomdniprodelta>.

**Acknowledgments:** The authors are grateful to the National Academy of Sciences of Ukraine for supporting this research. We are also grateful to the reviewers and editors for their valuable comments, recommendations, and attention to the work.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest

## Література

- Ліщенко, Л. П., Козлова, А. О., Андреев, А. А. (2025). Картування просторово-часових трансформацій ложа колишнього Каховського водосховища після руйнування греблі за супутниковими знімками Sentinel-2. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 12(4), 29–37. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2025.12.4.296>.
- Марушевський, Г. Б., Жарук, І. С. (Ред.). (2006). *Водно-болотні угіддя України: Довідник*. Київ : Чорноморська програма Ветландс Інтернешнл.
- Amani, M., Ghorbanian, A., Asgarimehr, M., Patterson, S., Russo, A., & Bray, C. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>.
- Andriev, A., Artiushyn, L. (2024). Improvement of land cover classification accuracy by training sample clustering. *Radioelectronic And Computer Systems*, 2024(2), 66–72. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.2.06>.
- Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B. ... Tait, A. M. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>.
- Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N., Herold, M., Bertels, L., & Smets, B. (2020). Copernicus Global Land Cover Layers – Collection 2. *Remote Sensing*, 12(6), 1044. <https://doi.org/10.3390/rs12061044>.
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934–941. <https://doi.org/10.1071/mf14173>.
- Delle Grazie, F. M., Gill, L. W. (2022). Review of the Ecosystem Services of Temperate Wetlands and Their Valuation Tools. *Water*, 14(9), 1345. <https://doi.org/10.3390/w14091345>.
- Dixon, M., Loh, J., Davidson, N., Beltrame, C., Freeman, R. & Walpole, M. (2015). Tracking global change in ecosystem area: The Wetland Extent Trends index.

- Biological Conservation*, 193, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.10.023>.
- Donchyts, G., Baart, F., Winsemius, H., Gorelick, N., Kwadijk, J. & van de Giesen, N. (2016). Earth's surface water change over the past 30 years. *Nature Climate Change*, 6(9), 810–813. <https://doi.org/10.1038/nclimate3111>.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F. ... Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X. (2016). Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sensing*, 8(4), 354. <https://doi.org/10.3390/rs8040354>.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S. R. (2013). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>.
- Friedl, M., Sulla-Menashe, D. (2022). *MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061* [Data set]. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.061>.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Guo, Y., Hou, Y., Liu, Z., Du, M. (2020). Risk prediction of coastal hazards induced by typhoon: a case study in the coastal region of Shenzhen, China. *Remote Sensing*, 12(11), 1731. <https://doi.org/10.3390/rs12111731>.
- Hakimdavar, R., Hubbard, A., Policelli, F., Pickens, A., Hansen, M., Fatoyinbo, T. ... Uz, S. S. (2020). Monitoring Water-Related Ecosystems with Earth Observation Data in Support of Sustainable Development Goal (SDG) 6 Reporting. *Remote Sensing*, 12(10), 1634. <https://doi.org/10.3390/rs12101634>.
- Hu, S., Niu, Z., Chen, Y., Li, L. & Zhang, H. (2017). Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. *The Science of the Total Environment*, 586, 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.001>.
- Kozlova, A., Andreiev, A., Davydova, A. (2025a). Satellite-Based Assessment of War-Induced Changes in Ukrainian Wetlands of International Importance. *International conference of young professionals "GeoTerrace-2025"*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202552048>.
- Kozlova, A., Andreiev, A., Tymchyshyn, M., Lischenko, L. & Prokopuk, M. (2025b). EO-Based Classification of Water-Related Ecosystems using Surface Water Occurrence Analysis: A Case Study of the Dnipro River Delta. *18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510129>.
- Kozlova, A., Lischenko, L., Andreiev, A., Lubyskiy, M., Lysenko, A. (2024). Water occurrence mapping of Kakhovka reservoir after the dam destruction. *International conference of young professionals "GeoTerrace-2024"*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510066>.
- Li, H., Zhang, Z., Tang, P. (2020). A Web-Based remote sensing data processing and production system with the unified integration of Multi-Disciplinary data and models. *IEEE Access*, 8, 162961–162972. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3021791>.
- Ludwig, C., Walli, A., Schleicher, C., Weichselbaum, J. & Riffler, M. (2019). A highly automated algorithm for wetland detection using multi-temporal optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 333–351. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.017>.
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Hernandez, M. E. (2015). Ecosystem services of wetlands. *International Journal of Biodiversity Science Ecosystems Services & Management*, 11(1), 1–4. <https://doi.org/10.1080/21513732.2015.1006250>.
- Pekel, J., Cottam, A., Gorelick, N., Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>.
- Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H. & Turner, W. (2014). Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839–848. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261>.
- Popov, M., Stankevich, S., Kozlova, A., Piestova, I., Lubyskiy, M., Titarenko, O. ... Singh, S. K. (2021). Long-Term Satellite Data Time Series Analysis for Land Degradation Mapping to Support Sustainable Land Management in Ukraine. *Geo-Intelligence for Sustainable Development*, 165–189. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-4768-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4768-0_11).
- Ramsar Resolution XIV.20: The Ramsar Convention's response to environmental emergency in Ukraine relating to the damage of its Wetlands of International Importance (Ramsar Sites) stemming from the Russian Federation's aggression. - *14th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Ramsar Convention on Wetlands, "Wetlands Action for People and Nature"* Wuhan, China, and Geneva, Switzerland 5–13 November 2022. [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiv.20\\_ukraine\\_e.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiv.20_ukraine_e.pdf).
- Yang, C., Yu, M., Hu, F., Jiang, Y. & Li, Y. (2016). Utilizing Cloud Computing to address big geospatial data challenges. *Computers Environment and Urban Systems*, 61, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurb.2016.10.010>.
- Zanaga, D., De Kerchove Ruben, V., Wanda, D. K., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R. ... Arino, O. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100 [Dataset]. In *Socio-Environmental Systems Modeling*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>.

## References

- Amani, M., Ghorbanian, A., Asgarimehr, M., Patterson, S., Russo, A., & Bray, C. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>.
- Andreiev, A., Artiushyn, L. (2024). Improvement of land cover classification accuracy by training sample clustering. *Radioelectronic And Computer Systems*, 2024(2), 66–72. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.2.06>.
- Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B. ... Tait, A. M. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>.
- Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N., Herold, M., Bertels, L., & Smets, B. (2020). Copernicus Global Land Cover Layers – Collection 2. *Remote Sensing*, 12(6), 1044. <https://doi.org/10.3390/rs12061044>.
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine*

- and *Freshwater Research*, 65(10), 934–941. <https://doi.org/10.1071/mf14173>.
- Delle Grazie, F. M., Gill, L. W. (2022). Review of the Ecosystem Services of Temperate Wetlands and Their Valuation Tools. *Water*, 14(9), 1345. <https://doi.org/10.3390/w14091345>.
- Dixon, M., Loh, J., Davidson, N., Beltrame, C., Freeman, R. & Walpole, M. (2015). Tracking global change in ecosystem area: The Wetland Extent Trends index. *Biological Conservation*, 193, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.10.023>.
- Donchyts, G., Baart, F., Winsemius, H., Gorelick, N., Kwadijk, J. & van de Giesen, N. (2016). Earth's surface water change over the past 30 years. *Nature Climate Change*, 6(9), 810–813. <https://doi.org/10.1038/nclimate3111>.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F. ... Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X. (2016). Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sensing*, 8(4), 354. <https://doi.org/10.3390/rs8040354>.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S. R. (2013). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>.
- Friedl, M., Sulla-Menashe, D. (2022). *MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061* [Data set]. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.061>.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Guo, Y., Hou, Y., Liu, Z., Du, M. (2020). Risk prediction of coastal hazards induced by typhoon: a case study in the coastal region of Shenzhen, China. *Remote Sensing*, 12(11), 1731. <https://doi.org/10.3390/rs12111731>.
- Hakimdar, R., Hubbard, A., Policelli, F., Pickens, A., Hansen, M., Fatoyinbo, T. ... Uz, S. S. (2020). Monitoring Water-Related Ecosystems with Earth Observation Data in Support of Sustainable Development Goal (SDG) 6 Reporting. *Remote Sensing*, 12(10), 1634. <https://doi.org/10.3390/rs12101634>.
- Hu, S., Niu, Z., Chen, Y., Li, L. & Zhang, H. (2017). Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. *The Science of the Total Environment*, 586, 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.001>.
- Kozlova, A., Andreiev, A., Davydova, A. (2025a). Satellite-Based Assessment of War-Induced Changes in Ukrainian Wetlands of International Importance. *International conference of young professionals "GeoTerrace-2025"*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202552048>.
- Kozlova, A., Andreiev, A., Tymchyshyn, M., Lischenko, L. & Prokopuk, M. (2025b). EO-Based Classification of Water-Related Ecosystems using Surface Water Occurrence Analysis: A Case Study of the Dnipro River Delta. *18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510129>.
- Kozlova, A., Lischenko, L., Andreiev, A., Lubyskiy, M., Lysenko, A. (2024). Water occurrence mapping of Kakhovka reservoir after the dam destruction. *International conference of young professionals "GeoTerrace-2024"*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510066>.
- Li, H., Zhang, Z., Tang, P. (2020). A Web-Based remote sensing data processing and production system with the unified integration of Multi-Disciplinary data and models. *IEEE Access*, 8, 162961–162972. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3021791>.
- Lischenko, L., Kozlova, A., Andreiev, A. (2025). Mapping of the spatiotemporal transformations of the former Kakhovka reservoir bed after dam destruction using Sentinel-2 satellite imagery. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 12(4), 29–37. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2025.12.4.296> (in Ukrainian).
- Ludwig, C., Walli, A., Schleicher, C., Weichselbaum, J. & Riffler, M. (2019). A highly automated algorithm for wetland detection using multi-temporal optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 333–351. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.017>.
- Marushevsky, G. B., Zharuk, I. S. (Eds.). (2006). *Directory of Ukraine's wetlands*. Kyiv: Wetlands International Black Sea Programme. (in Ukrainian).
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Hernandez, M. E. (2015). Ecosystem services of wetlands. *International Journal of Biodiversity Science Ecosystems Services & Management*, 11(1), 1–4. <https://doi.org/10.1080/21513732.2015.1006250>.
- Pekel, J., Cottam, A., Gorelick, N., Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>.
- Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H. & Turner, W. (2014). Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839–848. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261>.
- Popov, M., Stankevich, S., Kozlova, A., Piestova, I., Lubyskiy, M., Titarenko, O. ... Singh, S. K. (2021). Long-Term Satellite Data Time Series Analysis for Land Degradation Mapping to Support Sustainable Land Management in Ukraine. *Geo-Intelligence for Sustainable Development*, 165–189. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-4768-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4768-0_11).
- Ramsar Resolution XIV.20: The Ramsar Convention's response to environmental emergency in Ukraine relating to the damage of its Wetlands of International Importance (Ramsar Sites) stemming from the Russian Federation's aggression. - *14th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Ramsar Convention on Wetlands, "Wetlands Action for People and Nature"* Wuhan, China, and Geneva, Switzerland 5–13 November 2022. [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiv.20\\_ukraine\\_e.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiv.20_ukraine_e.pdf).
- Yang, C., Yu, M., Hu, F., Jiang, Y. & Li, Y. (2016). Utilizing Cloud Computing to address big geospatial data challenges. *Computers Environment and Urban Systems*, 61, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurb.2016.10.010>.
- Zanaga, D., De Kerchove Ruben, V., Wanda, D. K., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R. ... Arino, O. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100 [Dataset]. In *Socio-Environmental Systems Modeling*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>.

WEB-BASED GEOINFORMATION TOOL FOR MAPPING SURFACE WATER OCCURRENCE: A CASE STUDY OF THE DNIPRO RIVER DELTA RAMSAR SITE

Kozlova A. O., <https://orcid.org/0000-0001-5336-237X>

Andreev A. A., <https://orcid.org/0000-0002-6485-449X>

*State Institution "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine", address: Olesia Honchara Str., 55-b, Kyiv, 01054, Ukraine*

Wetlands are important for ensuring ecological stability and preserving biodiversity, both of which directly affect human well-being. However, these ecosystems have recently been degraded due to climate change and, for Ukraine, by military actions, in particular the destruction of the Kakhovka hydroelectric power station. In such conditions, remote sensing methods are the optimal tool for assessing these changes, as they enable analysis of large areas and the acquisition of up-to-date data even when ground surveys are impossible due to military actions.

The paper proposes an approach to assessing the spatiotemporal dynamics of the water surface based on the indicator of its frequency of occurrence (Surface Water Occurrence, SWO), which is used to generate corresponding maps (SWOM). Based on this approach, a web-based geoinformation tool has been developed and implemented on the Google Earth Engine platform, which enables fast processing of large volumes of data without requiring powerful computing resources from the user. The input data are the Dynamic World land cover classification products and the Scene Classification Layer (SCL), which is part of each Sentinel-2 satellite image. This tool allows you to calculate SWOM and classify it into three classes – "No Water", "Temporary Water", and "Permanent Water", as well as obtain statistical indicators of the areas of these classes. The developed tool is cross-platform, so it can be used on different types of devices, including computers, tablets, and even mobile devices.

The practical testing of the tool was carried out on the example of the Ramsar site "Dnipro River Delta" for the period 2024–2025. The calculated SWOM maps and the corresponding statistical indicators showed that permanent water surfaces cover 136.14 km<sup>2</sup> (39.55%), while temporary ones cover 26.81 km<sup>2</sup> (7.79%) of the total study area. The conducted experiment demonstrates the tool's capability to analyze the spatial distribution of the water surface. Therefore, the proposed tool can be used to solve applied problems of environmental monitoring, and can also be applied to other study areas.

**Keywords:** remote sensing, environmental monitoring, wetlands, Dnipro River Delta, Ramsar sites, geoinformation tool, surface water dynamics, Google Earth Engine, Sentinel-2, Dynamic World.

*Рукопис статті отримано 27.04.2026*

*Надходження остаточної версії: 15.05.2026*

*Публікація статті: 29.05.2026*

*Received 27.04.2026*

*Revised 15.05.2026*

*Accepted 29.05.2026*