

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА**

Факультет геології, географії, рекреації і туризму

Кафедра фізичної географії та картографії

До захисту допустити
Зав. кафедри _____ доцент **Анатолій БАЙНАЗАРОВ**
« _____ » _____ 2025 р.

**МОНІТОРИНГ ДИНАМІКИ ПЛОЩІ ДЗЕРКАЛА ОСКІЛЬСЬКОГО
ВОДОСХОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНДЕКСУ NDWI
(ЗА ПЕРІОД 2021-2024 РР.)
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

Виконав: студентка 4-го курсу д.ф.н,
групи ГК- 41
спеціальність: 106 Географія
освітня програма: Картографія, геоінформатика
і кадастр
Ілона Сергіївна КОСТИРЕНКО
Науковий керівник:
ст.викл. Попов В.С.

Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою

Голова ЕК Валентина РЕДІНА

Секретар ЕК Тетяна БУЛГАКОВА
« _____ » _____ 2025 р.

Харків – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА.....	5
1.1. Опис основних характеристик Оскільського водосховища.....	5
1.2. Зміна параметрів Оскільського водосховища через пошкодження гідротехнічної споруди внаслідок військових дій.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ	10
2.1. Оптичні методи дослідження водної поверхні.....	10
2.2. Радарні методи дослідження водної поверхні.....	12
2.3. Лідарні методи дослідження водної поверхні.....	14
РОЗДІЛ 3. ДИНАМІКА ПЛОЩІ ВОДНОГО ДЗЕРКАЛА ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНДЕКСУ NDWI ЗА ПЕРІОД 2021-2024 РОКІВ.....	16
3.1. Використана методика визначення площі водного дзеркала Оскільського водосховища.....	16
3.2. Аналіз зміни площі водного дзеркала Оскільського водосховища за 2021 рік з використанням індексу NDWI.....	21
3.3. Аналіз зміни площі водного дзеркала Оскільського водосховища за 2022 рік з використанням індексу NDWI.....	34
3.4. Аналіз зміни площі водного дзеркала Оскільського водосховища за період 2023-2024 років з використанням індексу NDWI.....	44
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

ВСТУП

Сучасний стан водних ресурсів України супроводжується численними екологічними та гідрологічними викликами, зокрема через зміну клімату, активне господарське освоєння територій та, особливо, наслідки воєнних дій. Порушення гідрологічного режиму багатьох водойм, втрата водозабезпечення, деградація екосистем і забруднення поверхневих вод – це лише частина викликів, які постали перед державою у сфері управління водними ресурсами. Оскільське водосховище, як один із важливих гідрологічних об'єктів, зазнало значних змін у 2022 році, насамперед 2 квітня через пошкодження гідротехнічної споруди внаслідок військових дій. Це призвело до різкої зміни рівня води та площі водного дзеркала, що створює необхідність у терміновому моніторингу та аналізі для оцінки наслідків та актуалізації інформації.

В умовах обмеженого доступу до території, що перебуває в зоні бойових дій та може містити вибухонебезпечні предмети, заміновані ділянки чи зруйновану інфраструктуру, найбільш ефективним інструментом моніторингу є дистанційні методи дослідження, зокрема аналіз супутникових знімків із використанням індексу NDWI (Normalized Difference Water Index). Цей індекс дає змогу виділити водні поверхні на основі спектральних характеристик, а також кількісно оцінити просторово-часові зміни їхньої площі.

Актуальність дослідження полягає в необхідності простежити динаміку змін площі дзеркала Оскільського водосховища у період з 2021 по 2024 рік, як до, так і після руйнування гідроспоруди, що дозволить не лише виявити наслідки конкретного гідротехнічного порушення, а й зрозуміти загальні тенденції трансформації водного об'єкта під впливом природних і антропогенних чинників. Також важливо зафіксувати наслідки терористичних дій країни агресора щодо водних об'єктів України.

Об'єктом дослідження є водне дзеркало Оскільського водосховища, а **предметом** – просторово-часова динаміка його змін від 2021 по 2024 рік.

Мета дослідження – проаналізувати динаміку площі водного дзеркала Оскільського водосховища в період з 2021 по 2024 рік з використанням індексу NDWI, зокрема у зв'язку із пошкодженням гідротехнічної споруди.

Для досягнення мети окреслено наступні завдання:

1. Вивчити основні характеристики Оскільського водосховища і здійснити аналіз зміни режиму водосховища, спричинені пошкодженням гідротехнічної споруди у 2022 році.
2. Ознайомитися з методами дослідження водної поверхні за допомогою даних ДЗЗ.
3. Обчислити площу водного дзеркала за період 2021-2024 із використанням індексу NDWI.
4. Виконати порівняльний аналіз динаміки змін площі водного дзеркала та зробити висновки щодо характеру змін, їхньої інтенсивності та просторового прояву за період з 2021 по 2024 рік.

Новизна цієї роботи полягає в тому, що вперше було здійснено спробу кількісної оцінки змін площі водного дзеркала Оскільського водосховища до та після руйнування гідротехнічної споруди, із застосуванням єдиної методики на основі NDWI за період 2021-2024 років. Це дозволяє простежити часткову динаміку трансформацій, а також зафіксувати просторові зміни на території водойми як основу для майбутніх розширених досліджень.

Попередньо було здійснено апробацію проміжних результатів дослідження у вигляді тез на науковій конференції студентів і аспірантів «Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи», присвячених пам'яті професора Г. П. Дубинського (2025, Харків) [2].

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів і висновків. Вона викладена на 71 сторінках, і включає в себе 51 ілюстрацію. Список використаних джерел має 47 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

1.1. Опис основних характеристик Оскільського водосховища

Оскільське водосховище розташоване в басейні річки Оскіл, яка є лівою притокою річки Сіверський Донець. Знаходиться в межах Ізюмського та Куп'янського районів Харківської області, із невеликою частиною, близько 10% площі, у Донецькій області (рис. 1.1).

Будівництво водосховища розпочалося на початку 1957 року, воно стало однією з найбільших гідротехнічних споруд Харківської області. В грудні того ж року завершили зведення греблі довжиною 1025 метрів у селі Червоний Оскіл, за 10 км від гирла річки Оскіл. Наповнення водосховища розпочалося в березні 1958 року і тривало до весняної повені 1959 року [8].

Створення водосховища спричинило затоплення великої частини територій, що змусило переселити мешканців кількох сіл, зокрема Комарівки та Горохуватки, зі збереженням їхніх історичних назв. Основною функцією водосховища було забезпечення водою каналу Сіверський Донець - Донбас, який було збудовано для постачання прісної води в Донбас. У літній період канал споживав більше води, ніж міг надати Сіверський Донець у посушливі роки, тому водосховище акумулювало весняні паводкові води для стабільного живлення каналу. Спуск води з водосховища синхронізувався з роботою каналу. Але у 1982 році завершили будівництво каналу Дніпро - Донбас, який став поповнювати Сіверський Донець водою з Дніпра. Це зменшило роль Червонооскільського водосховища, проте воно залишалося важливою частиною гідравлічної системи.

У 2016 році згідно із законом України «Про декомунізацію» [7] назва водосховища, як і населеного пункту Червоний Оскіл, була змінена і водосховище стало називатися Оскільським.



Рис. 1.1. Космознімок території Оскільського водосховища станом на серпень 2021 року [10]

В перші роки створення Оскільське водосховище мало вражаючі параметри: площа водного дзеркала становила 122,6 км², довжина – 84,6 км, середня ширина – 1,6 км, а максимальна ширина сягала 4 км. Загальний об'єм води становив 474,3 млн м³. Ці параметри робили його одним із найбільших штучних водойм Харківської області. Глибина водосховища варіювалася залежно від пори року та кліматичних умов.

Клімат регіону, де розташоване водосховище, є помірно-континентальними, з виразними сезонними коливаннями температури, опадів і випаровування. Зима в цьому регіоні холодна, із середньою температурою повітря -8 °С, а в окремі роки – до -15 °С. Водосховище в цей час замерзало,

зазвичай наприкінці грудня. Товщина льоду могла варіюватися від 30 до 40 см залежно від суворості зими. Замерзання водосховища означало припинення активного використання його водних ресурсів, що забезпечувало стабільний рівень води на цей період. У той час зберігалися резерви для весняного періоду, коли відбувався основний цикл накопичення води.

Весна розпочиналася підвищенням температури, яка у березні поступово переходила від 0 °С до +10...+15 °С у квітні-травні. У цей період спостерігалось танення снігу в басейні річки Оскіл, що викликало весняні паводки. Рівень води у водосховищі суттєво підвищувався, інколи на 1–2 метри, і це забезпечувало наповнення водойми для подальшого використання влітку. Цей період був критичним для формування запасів води, адже влітку її витрати значно зростали.

Літній період у регіоні був теплим, із середньою температурою +20...+25 °С, а в окремі спекотні дні – до +35 °С. Це створювало умови для інтенсивного випаровування, яке впливало на об'єм води у водосховищі. У цей час рівень води міг знижуватися на 0,5–1 метр через підвищений попит на воду та природні втрати. Температура води в літні місяці могла сягати +24...+26 °С у верхніх шарах, що впливало на розвиток екосистеми водойми.

Осінь була перехідним сезоном із поступовим зниженням температури до +5...+10 °С у жовтні-листопаді. У цей період часті дощі поповнювали запаси води у водосховищі, а випаровування зменшувалося. Осінь вважалася періодом стабілізації водного рівня, оскільки використання води зменшувалося, а природне поповнення за рахунок опадів забезпечувало гідрологічний баланс. Наприкінці осені водосховище готували до зимового періоду, коли накопичені запаси мали забезпечити стабільність системи в умовах зменшення притоку води.

Оскільське водосховище стало важливим гідротехнічним об'єктом, який відігравав ключову роль у забезпеченні водою промислових районів. Також його ресурси використовували аграрії, для вирощування сільськогосподарських культур. Сезонні кліматичні особливості регіону та коливання параметрів

водойми вимагали постійного моніторингу та управління, що було свого часу критичним для підтримання стабільного функціонування каналу Сіверський Донець - Донбас та інших потреб, які залежали від цього гідроресурсу.

1.2. Зміна параметрів Оскільського водосховища через пошкодження гідротехнічної споруди внаслідок військових дій

З моменту початку повномасштабного вторгнення, окупанти майже щодня здійснюють атаки по території України. Пошкодження гідротехнічної споруди Оскільського водосховища, внаслідок бойових дій сталося 2 квітня 2022 року, спричинило непоправні наслідки для екосистеми, водопостачання та загальної функціональності цього стратегічного об'єкта (рис. 1.2).

Вибух викликав стрімке скидання води, що призвело до втрати близько 80% загального об'єму водосховища. Залишилося приблизно 79 млн м³, а площа водного дзеркала скоротилася більше ніж у п'ять разів. Внаслідок цього оголилися значні ділянки дна, які раніше були під водою. Колишній масштабний резервуар перетворився на каскад дрібних, ізольованих водойм, що втратили гідрологічну цілісність. Це стало причиною суттєвого зниження здатності водосховища виконувати свої основні функції, включаючи акумуляцію води для регіональних потреб [36].

Екологічні наслідки цієї події були катастрофічними. Масове обміління водойми спричинило загибель мільйонів риб, земноводних та інших водних організмів, що негативно вплинуло на біорізноманіття регіону. Водосховище було середовищем існування багатьох видів флори та фауни, які втратили свої природні умови. Оголення дна створило умови для ерозії ґрунту та посилення пилових бурь у посушливі періоди. Втрата водойми також вплинула на мікроклімат, знижуючи вологість і підвищуючи середню температуру повітря в літній період [11; 13].

Соціально-економічні наслідки були не менш відчутними. Значне зниження рівня води позначилося на забезпеченні водою прилеглих територій, зокрема Донбасу, що залежав від води каналу Сіверський Дінець -Донбас [1]. Це створило проблеми із забезпеченням питної води для населення, а також води для промислових і сільськогосподарських потреб. Значно скоротилися зрошувані площі, що поставило під загрозу врожайність і стабільність аграрного сектору в регіоні. Підприємства, які використовували ресурси водосховища, також зазнали труднощів у забезпеченні своїх потреб.



Рис. 1.2. Зруйнована гідротехнічна споруда Оскільського водосховища [1]

Попри ці негативні наслідки, розробляються проекти відновлення гідротехнічної споруди та водосховища. Відновлення планується як важливий крок для повернення екологічного балансу, забезпечення водними ресурсами постраждалих регіонів і відновлення соціально-економічної стабільності. Однак такі роботи можливі тільки після закінчення бойових дій. Вони вимагають значних фінансових вкладень, технічних зусиль і часу, і точні терміни реалізації поки що залишаються невизначеними.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

2.1. Оптичні методи дослідження водної поверхні

Оптичні методи – це підходи, які базуються на реєстрації сонячного світла, відбитого об'єктами земної поверхні. За допомогою оптичних сенсорів, встановлених на супутниках або літальних апаратах, можна отримувати зображення, що відображають спектральні характеристики різних типів покриття – води, рослинності, ґрунтів, штучних поверхонь тощо [4; 10; 12]. Мультиспектральні знімки є основою для оптичних методів і забезпечують дані у кількох спектральних діапазонах. Кожен із цих діапазонів дає змогу виділяти об'єкти навіть у складних умовах, наприклад, у деяких випадках коли вода оточена густою рослинністю. Особливу увагу приділяють комбінуванню даних із різних спектральних каналів для підвищення точності аналізу.

Спектральні індекси є ключовим інструментом для цього методу. Вони дозволяють автоматично ідентифікувати різні об'єкти на поверхні планети, аналізуючи, як ці об'єкти відбивають світло в різних ділянках електромагнітного спектра. Такий підхід значно спрощує обробку супутникових знімків і дає змогу виділяти воду, рослинність, ґрунти чи антропогенні об'єкти без необхідності візуального аналізу кожного пікселя [15; 26].

Вода має унікальні спектральні характеристики: вона значно поглинає випромінювання в ближньому інфрачервоному та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах, що робить її темною на знімках. У видимому спектрі, особливо у синьо-зеленому діапазоні, вода частково відбиває світло, що дозволяє ідентифікувати її межі [3; 6].

Одним з найефективніших та найчастіше застосовуваних індексів для виявлення водних об'єктів є NDWI (Normalized Difference Water Index) – нормалізований різницевий водний індекс [9; 22; 23; 25]. Його основна перевага полягає в здатності чітко розмежовувати воду та інші типи земного покриття,

особливо рослинність. Принцип дії NDWI базується на тому, що вода має характерні оптичні властивості при, яких вона набуває високих значень індексу, тоді як рослинність, ґрунти та урбанізовані території мають значно нижчі або навіть від'ємні значення [30; 32; 37].

Іншим важливим індексом є MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) – модифікований нормалізований різницевий водний індекс. Його особливість полягає в тому, що для обчислення замість ближнього інфрачервоного діапазону використовується короткохвильовий інфрачервоний діапазон [31; 35]. Це дозволяє ще ефективніше приглушувати сигнал від забудованих територій, ґрунтів та рослинності, роблячи водні об'єкти ще більш контрастними на зображеннях. Завдяки цьому MNDWI особливо добре працює в умовах міського середовища або при значній присутності штучних об'єктів, де класичний NDWI може давати менш точні результати [46; 47]. Він широко використовується для уточнення меж водних тіл, моніторингу паводків, виявлення каналів і ставків, а також для аналізу змін у водному покриві з часом.

Ще одним корисним інструментом для виокремлення водних об'єктів є AWEI (Automated Water Extraction Index) – автоматизований індекс виокремлення води. Він був розроблений спеціально для підвищення точності ідентифікації води на супутникових знімках, особливо в умовах складного рельєфу, густої забудови або тіней від хмар, будівель і гірських масивів [16; 17]. На відміну від простіших індексів, AWEI враховує вплив тіней і спектрального шуму, що часто призводять до помилкової класифікації темних об'єктів, наприклад, асфальту або тіней, як води [41]. Індекс комбінує значення з кількох спектральних діапазонів, зокрема видимого, ближнього та короткохвильового інфрачервоного, з використанням вагових коефіцієнтів для посилення водного сигналу й приглушення перешкод.

Попри високу точність, оптичні методи мають певні обмеження. Вони залежать від погодних умов і часу доби. Наприклад, за хмарності або вночі отримання якісних даних є неможливим. Крім того, відбиття світла може

змінюватися залежно від вмісту домішок у воді, що іноді ускладнює розмежування водних об'єктів [27; 29].

Загалом, оптичні методи дослідження водної поверхні є потужним інструментом для моніторингу водних ресурсів, завдяки здатності точно визначати межі водних об'єктів і контролювати їхній стан. Вони підходять для великих відкритих водойм і широко застосовуються для екологічного моніторингу, управління водними ресурсами та прогнозування змін у водному балансі.

2.2. Радарні методи дослідження водної поверхні

Радарні методи дослідження водної поверхні базуються на використанні активного дистанційного зондування за допомогою мікрохвильового випромінювання, що дозволяє отримувати дані незалежно від погодних умов і часу доби. Ці методи особливо корисні для виявлення водних об'єктів у хмарних регіонах, під густою рослинністю або в нічний час. Одним із найефективніших інструментів радарного зондування є синтетична апертурна радіолокація (SAR), яка забезпечує високу просторову роздільну здатність і можливість аналізувати водну поверхню у складних умовах [20; 38; 39].

Основним принципом радарних методів є оцінка зворотного розсіювання сигналу від поверхні Землі. Водні об'єкти, через свою гладкість і властивості дзеркального відбивання, мають низький рівень зворотного розсіювання, що робить їх темними на радарних зображеннях. Навпаки, наземні об'єкти, такі як будівлі, дерева або оголений ґрунт, мають вищий рівень розсіювання, що дозволяє легко відокремити воду від суші (рис. 2.1).

Радарні дані, зокрема зроблені за допомогою SAR, використовують різні типи поляризації сигналу (VV, VH, HH, HV), що значно підвищує точність визначення меж водних об'єктів. Поляризація VV (вертикальне випромінювання та прийом) часто застосовується для виявлення великих відкритих водойм, тоді

як комбінації, такі як VH (вертикальне випромінювання, горизонтальний прийом), використовуються для аналізу заболочених або частково покритих водою ділянок [33; 42].

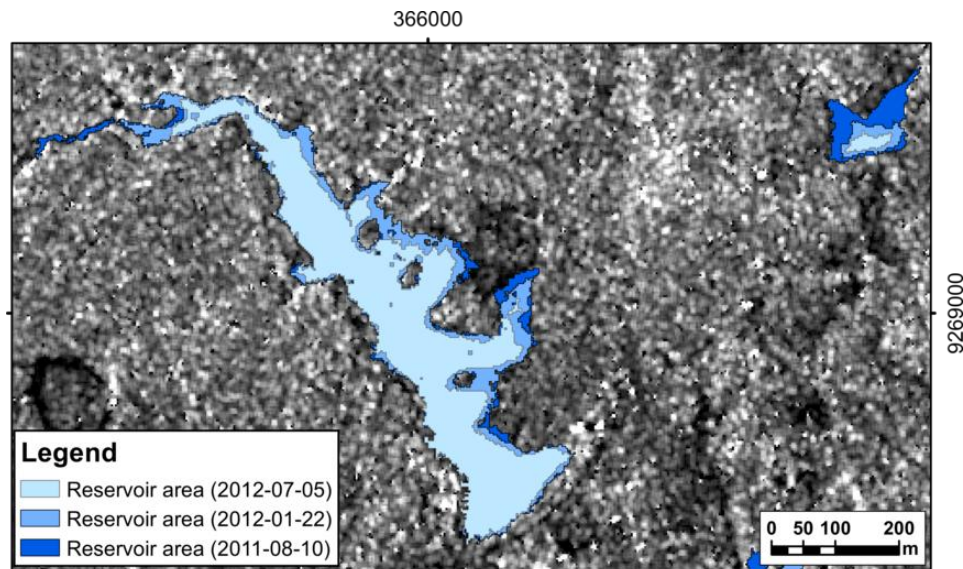


Рис. 2.1. Зменшення площ водної поверхні водойм [42]

Алгоритми класифікації з використанням радарних даних дозволяють автоматично визначати водні об'єкти. Наприклад, адаптивні порогові алгоритми базуються на аналізі розподілу рівнів яскравості пікселів, щоб визначити межу між водою і сушею. Інші підходи, такі як методи машинного навчання, поєднують радарні дані з додатковими джерелами інформації (наприклад, оптичними даними) для підвищення точності класифікації.

Попри високу ефективність, радарні методи мають свої обмеження. Одним із викликів є чутливість до хвиль на водній поверхні, які можуть спричинити підвищення рівня зворотного розсіювання і зробити воду схожою на сушу. Також дуже густі рослинні покриви над водою можуть створювати перешкоди для точного визначення меж водойми [34; 44].

Таким чином, радарні методи дистанційного зондування водної поверхні є незамінним інструментом для моніторингу водних ресурсів, особливо у складних погодних умовах або на територіях з важкодоступною топографією. Їх використання сприяє ефективному управлінню водними ресурсами, моніторингу затоплень і прогнозуванню змін у водному середовищі.

2.3. Лідарні методи дослідження водної поверхні

Лідарні методи дослідження водної поверхні базуються на використанні лазерного випромінювання для створення високоточних тривимірних моделей рельєфу дна та берегової лінії. Ці методи є незамінними для аналізу водних об'єктів, оскільки дозволяють одержувати детальні відомості про структуру берегової зони, мілководні ділянки та підводний рельєф. Лідарні системи випромінюють короткі імпульси лазерного світла, які відбиваються від поверхні досліджуваних об'єктів і повертаються до сенсорів, встановлених на літаках, безпілотниках або кораблях. Вимірюючи час повернення імпульсу, система точно визначає відстань до об'єкта, що дозволяє розробляти тривимірні моделі місцевості [5; 21; 43].

Батиметричні лідарні системи, спеціально розроблені для вивчення водних об'єктів, використовують два типи лазерних випромінювань. Інфрачервоні лазери зупиняються на поверхні води, відбиваючись назад, тоді як зелені лазери здатні проникати через водну товщу до дна. Порівнюючи час повернення імпульсів від поверхні води та дна, система обчислює глибину водойми. Цей метод є надзвичайно ефективним для створення детальних карт дна річок, озер і прибережних зон морів (рис. 2.2). Батиметричні лідари дозволяють проводити дослідження навіть у важкодоступних або мілководних районах, де використання традиційних методів, таких як ехолокація, є складним [14; 40].

Однією з ключових переваг батиметричних лідарів є їх висока точність і роздільна здатність, що дозволяє визначати дрібні особливості рельєфу дна з точністю до сантиметрів. Це робить їх незамінними для моніторингу змін берегової лінії, оцінки ерозійних процесів і вивчення впливу кліматичних змін на водні екосистеми. Висока швидкість збору даних є ще однією перевагою – лідарні системи здатні охоплювати великі площі за короткий час, що особливо важливо для оперативного реагування на природні катастрофи.

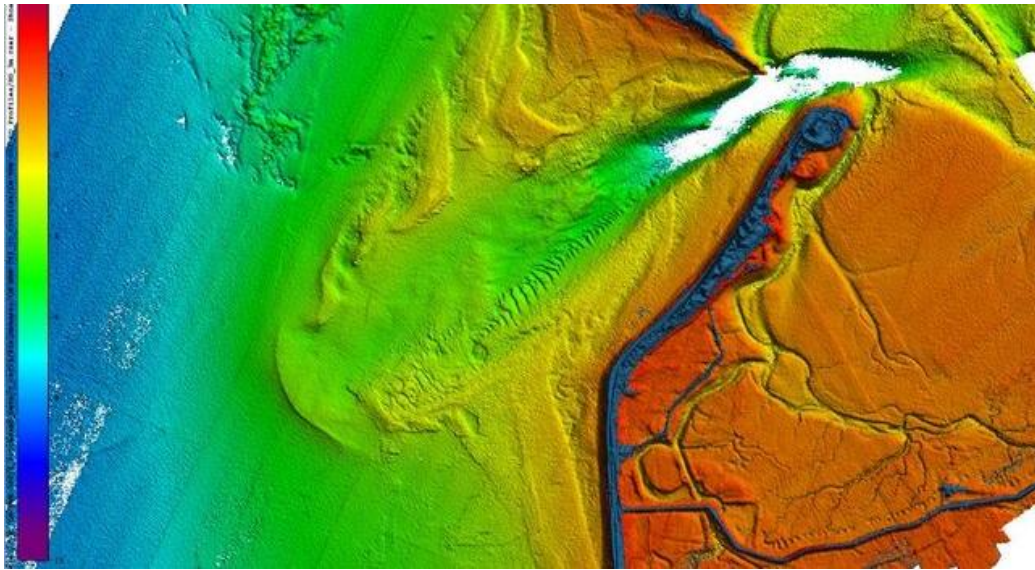


Рис. 2.2. Батиметрична зйомка LiDAR гирла лиману Модах [19]

Нажаль їх ефективність залежить від прозорості води, адже у мутних або забруднених водоймах глибина проникнення лазерного променя значно знижується. Крім того, вартість обладнання та виконання лідарних зйомок є досить високою, що може обмежувати їх використання у деяких регіонах або для бюджетних проєктів [19; 28; 45].

У застосуванні батиметричних лідарних методів важливим є інтеграція отриманих даних із іншими джерелами. Це дозволяє створювати комплексні моделі водних об'єктів, які використовуються для планування управління водними ресурсами, моніторингу змін у водних екосистемах і розробки заходів із захисту прибережних територій. Лідарні методи також ефективно застосовуються у підводній археології, пошуку затонулих об'єктів, а також у вивченні наслідків стихійних лих, таких як урагани чи цунамі [24].

Загалом, батиметричні лідарні системи є унікальним і високоефективним інструментом для вивчення водних об'єктів. Їх застосування забезпечує точність і швидкість одержуваних даних, що сприяє більшому розумінню водних екосистем, їхньому збереженню та сталому використанню. Незважаючи на певні технічні й економічні обмеження, батиметричні лідарні методи залишаються одним із найсучасніших і найперспективніших підходів у сфері дослідження водної поверхні.

РОЗДІЛ 3. ДИНАМІКА ПЛОЩІ ВОДНОГО ДЗЕРКАЛА ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНДЕКСУ NDWI ЗА ПЕРІОД 2021-2024 РОКІВ

3.1. Використана методика визначення площі водного дзеркала Оскільського водосховища

Для обчислення площі водного дзеркала за допомогою NDWI була використана відповідна методика, для якої потрібно виконати низку послідовних кроків у ArcGIS Pro [32]. Спершу отримати супутникові знімки Sentinel-2 на платформі Copernicus Open Access HUB [18]. Для цього слід виконати пошук знімків за місцем розташування досліджуваної території та за часовими рамками. У параметрах пошуку обрати лише знімки Sentinel-2 Level-2A з мінімальною хмарністю, щоб забезпечити якість результатів (рис. 3.1).

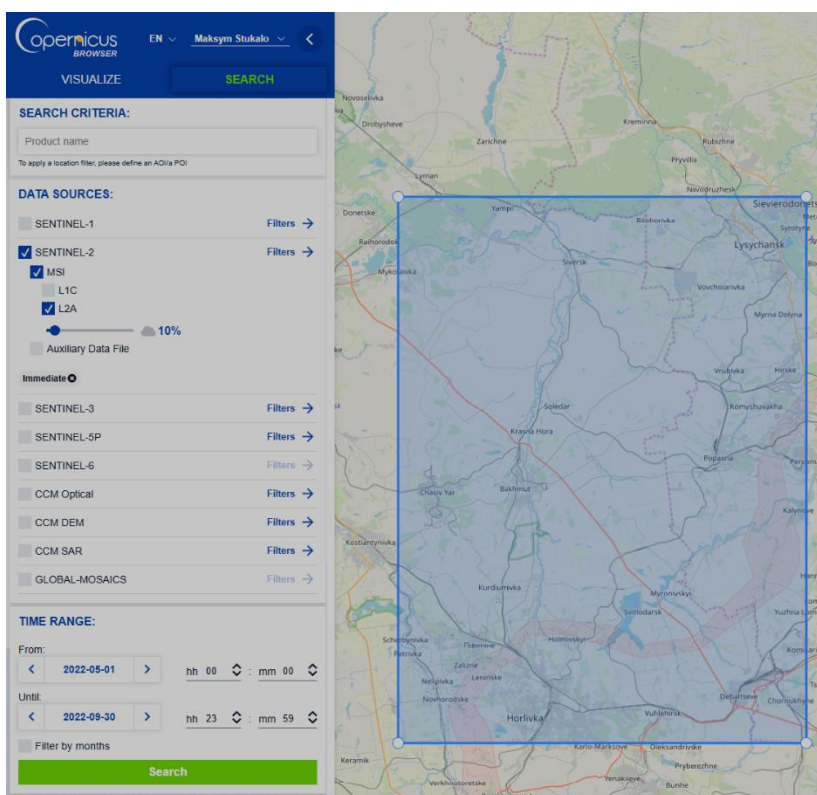


Рис. 3.1. Обрані параметри пошуку знімків [18]

Після знаходження відповідних знімків потрібно завантажити архів типу SAFE. Далі потрібно розархівувати дані та імпортувати до проєкту ArcGIS Pro. У вкладці Map натиснули Add Data та додали канали, необхідні для розрахунку індексу NDWI: B03 (Green) та B08 (NIR) (рис. 3.2).

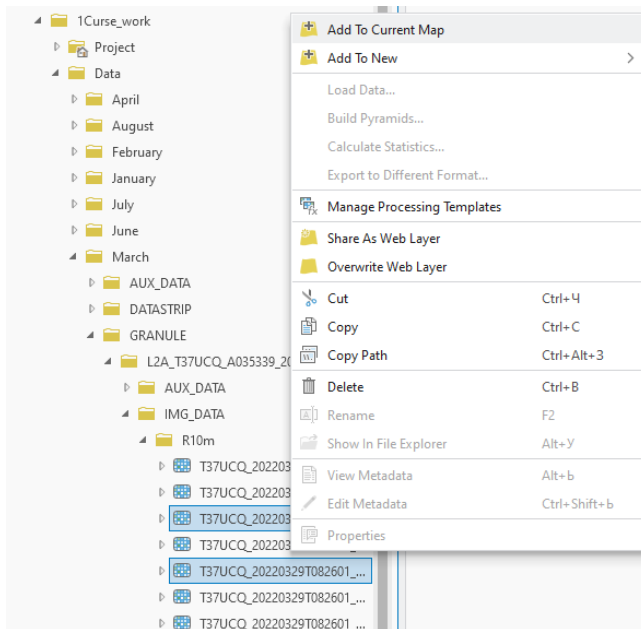


Рис. 3.2. Імпортування даних до проєкту

Наступним кроком є розрахунок NDWI для виокремлення водних об'єктів. Для цього потрібно використати інструмент Raster Calculator у вкладці Analysis, де ввести формулу для розрахунку індексу NDWI. У полі Output Raster задати ім'я вихідного файлу, наприклад, NDWI_March_Clip (рис. 3.3).

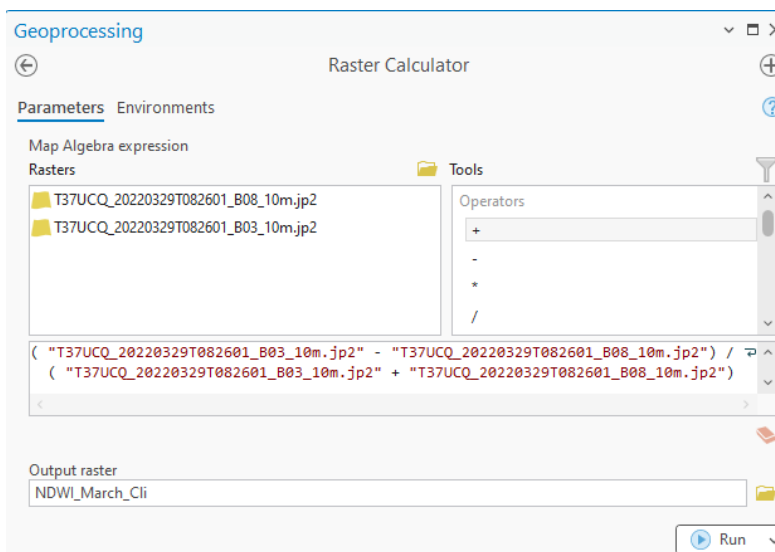


Рис. 3.3. Введення формули для розрахунку індексу

Після обчислення створиться новий растровий шар з розрахованими значеннями NDWI. Для коректного відображення потрібно налаштувати візуалізацію з використанням градієнта кольорів. Для цього у вкладці Contents натиснути правою кнопкою на шарі NDWI та обрати Symbology. У вікні налаштувань вибрати тип відображення Stretch, а для градієнта задати палітру від темно-синього (для низьких значень NDWI) до темно-зеленого (для високих значень NDWI). Ця палітра дозволила чітко виділити водні об'єкти, які відповідають позитивним значенням (рис. 3.4).

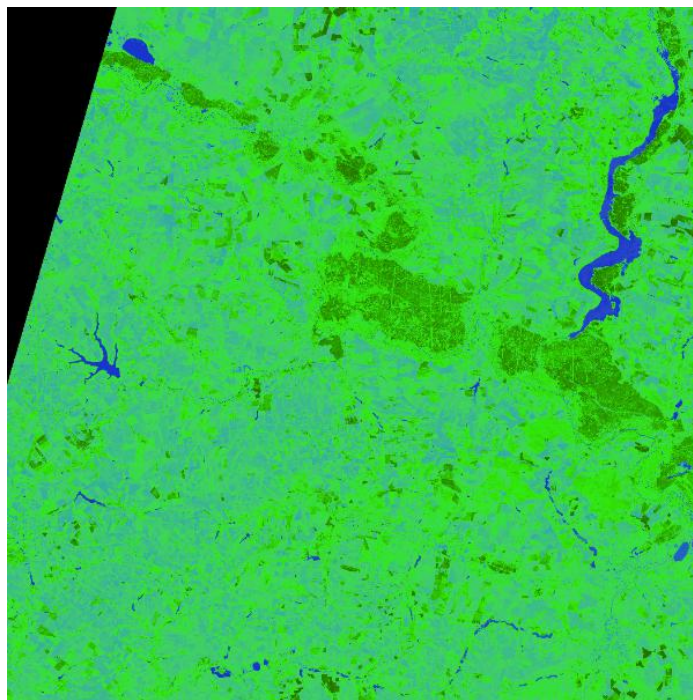


Рис. 3.4. Візуалізоване індексне зображення

Для виконання розрахунку площі водного дзеркала Оскільського водосховища варто виділити водні об'єкти на основі значень NDWI. Для цього слід відкрити інструмент Con у вкладці Analysis через Tools (рис. 3.5). У полі Input conditional raster обрати NDWI_March_Clip, а у Expression ввести умову $VALUE > 0.3$, що дозволить виділити пікселі з позитивним NDWI, які відповідають водним об'єктам. Для параметра Input true raster or constant value зазначити 1, а для Input false raster or constant value – 0. Вихідному файлу присвоїти ім'я, наприклад, March_Water_Mask, після чого завершити дію.

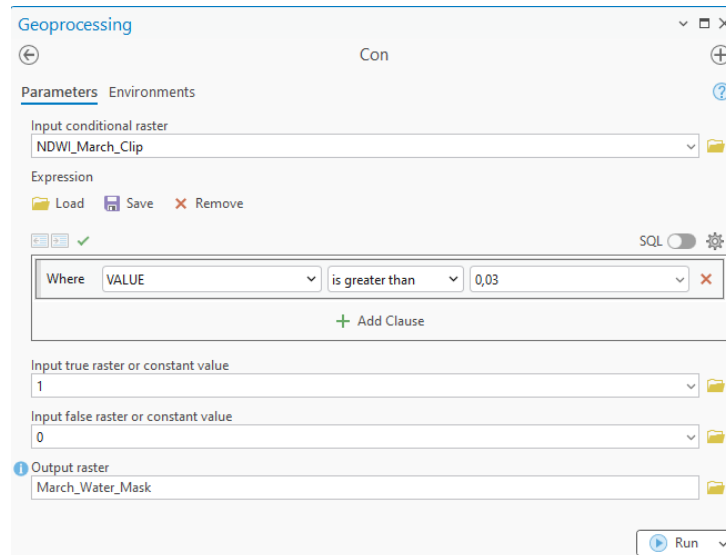


Рис. 3.5. Створення бінарного растру

У результаті створиться бінарний растр, де значення 1 позначатиме водні поверхні, а значення 0 – інші території. Далі цей растр потрібно перетворити у векторний формат для можливості обчислення площі. Для цього необхідно скористатися інструментом Raster to Polygon у вкладці Analysis (рис. 3.6). У параметрах Input Raster обрати бінарний растр та залишити значення Value у полі Field. Для збереження точності контурів опцію Simplify polygons варто вимкнути. У результаті отримаємо векторний шар з полігонами, які відповідали водним поверхням (рис. 3.7).

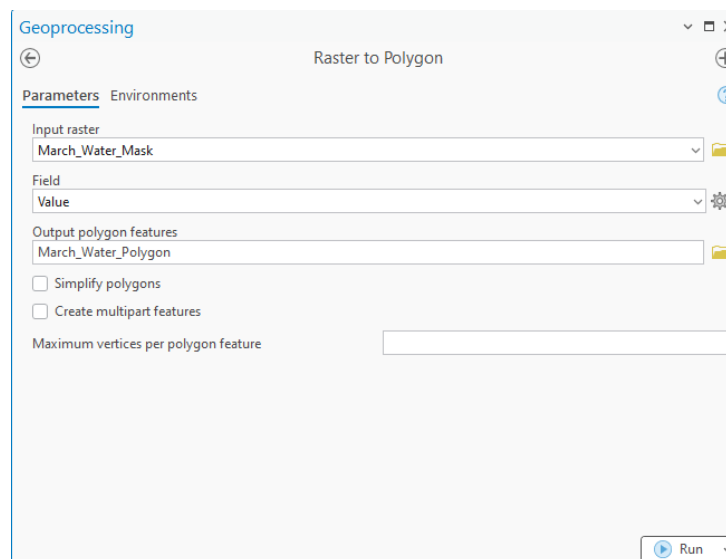


Рис. 3.6. Перетворення растру у векторний формат

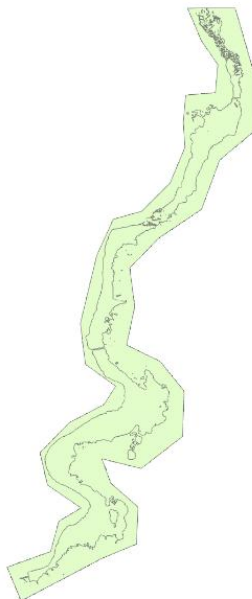


Рис. 3.7. Векторний шар з полігонами

Далі необхідно виділити лише ті полігони, які мали значення `gridcode = 1`. Для цього слід скористатися інструментом `Select By Attributes` у контекстному меню шару (рис. 3.8). В умові вибору задати `gridcode = 1`, після чого виділені об'єкти зберегти як новий шар за допомогою `Data > Export Features`. Новий шар можна назвати `March_Water_Only`.

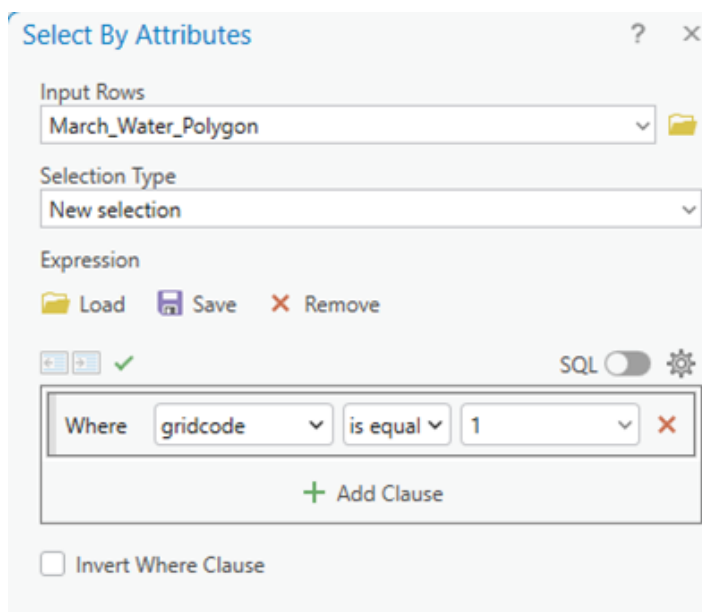


Рис. 3.8. Виділення полігонів

Наступним кроком до атрибутивної таблиці шару March_Water_Only необхідно додати поле для обчислення площі. У вкладці Design > Fields створити нове поле з ім'ям Area_km² та типом Double. Після збереження змін потрібно скористатися функцією Calculate Geometry, де обрати Property > Area та одиниці виміру Square Kilometers. На останньому етапі обчислюємо загальну площу водного дзеркала. Для цього у таблиці атрибутів відкриваємо статистику для поля Area_km² через опцію Statistics (рис. 3.9). У вікні статистики бачимо суму площ усіх полігонів. Так ми і отримуємо загальну площу водних об'єктів у квадратних кілометрах.

	Sum	Range	IQR	Q1
	86,706451	49,788917	0,000401	0,0001

Рис. 3.9. Вікно статистики

3.2. Аналіз зміни площі водного дзеркала Оскільського водосховища за 2021 рік з використанням індексу NDWI

Для аналізу динаміки площі водного дзеркала Оскільського водосховища було розраховано індекс NDWI за відповідною методикою для кожного місяця. На основі отриманих результатів створено індексні зображення (рис. 3.11-3.18), визначено площі водної поверхні та побудовано графік їх змін.

Зміни площі у 2021 році визначалися за супутниковими знімками, отриманими в період з квітня по листопад. Зимові місяці не враховано, оскільки в цей час поверхня водосховища зазвичай покрита льодом, що унеможлиблює точне визначення меж відкритої води. Березень також не включено до аналізу

через суцільну хмарність на доступних знімках, яка заважала отриманню результатів.

Спочатку у квітні площа водного дзеркала Оскільського водосховища становила 77,48 км², що є одним із найнижчих показників упродовж року. Це можна пояснити завершенням зимового періоду, коли водойма ще не отримала достатнього поповнення за рахунок талої води, а поверхневий стік залишався мінімальним. Також причиною такого значення може бути наявність кількох хмар, що перебувають над водною поверхнею, і саме через це отримане значення може бути дещо меншим порівняно з фактичним. В травні площа зростає до 80,20 км², що пов'язано з початком весняного водопілля, під час якого водосховище наповнюється талими й дощовими водами, а його межі розширюються завдяки затопленню прибережних мілководних ділянок.

У червні спостерігається незначне збільшення площі до 80,59 км², що свідчить про стабільний рівень наповнення і збереження балансу між надходженням води та її втратами внаслідок випаровування або господарського використання. Пік заповнення припадає на липень, коли площа водного дзеркала досягає максимуму у 82,29 км², що, ймовірно, є наслідком поєднання достатньої кількості опадів, помірного випаровування та відсутності інтенсивного водозабору, завдяки чому водосховище розширюється.

Починаючи з серпня, відбувається поступове зменшення площі, що проявляється у показнику 81,98 км² і далі у вересні – 80,86 км², що свідчить про скорочення об'єму надходження води внаслідок завершення періоду активних опадів, підвищеного рівня випаровування та збільшення водоспоживання для потреб сільського господарства.

У жовтні площа спадає до 78,98 км², що вже є помітною втратою води, а в листопаді вона досягає мінімального значення за рік – 74,91 км², що є цілком закономірним результатом осіннього зменшення атмосферних опадів, скорочення поверхневого стоку та активного водозабору.

Загальна динаміка площі водного дзеркала у 2021 році демонструє виразну сезонну змінність: від весняного наростання через літній максимум до поступового осіннього спаду, що є типовим для регульованих водосховищ і залежить як від природних чинників, так і від антропогенного впливу (рис. 3.10).

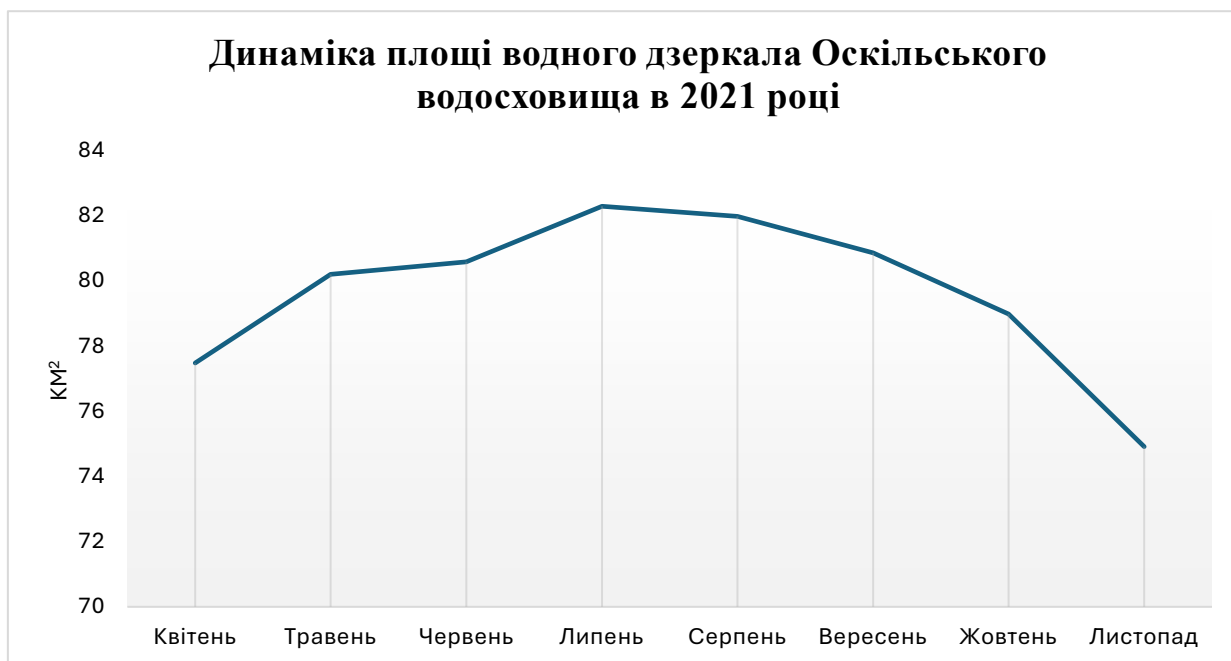


Рис. 3.10. Графік змін площі водного дзеркала Оскільського водосховища в 2021 році

**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА КВІТЕНЬ 2021 РОКУ**

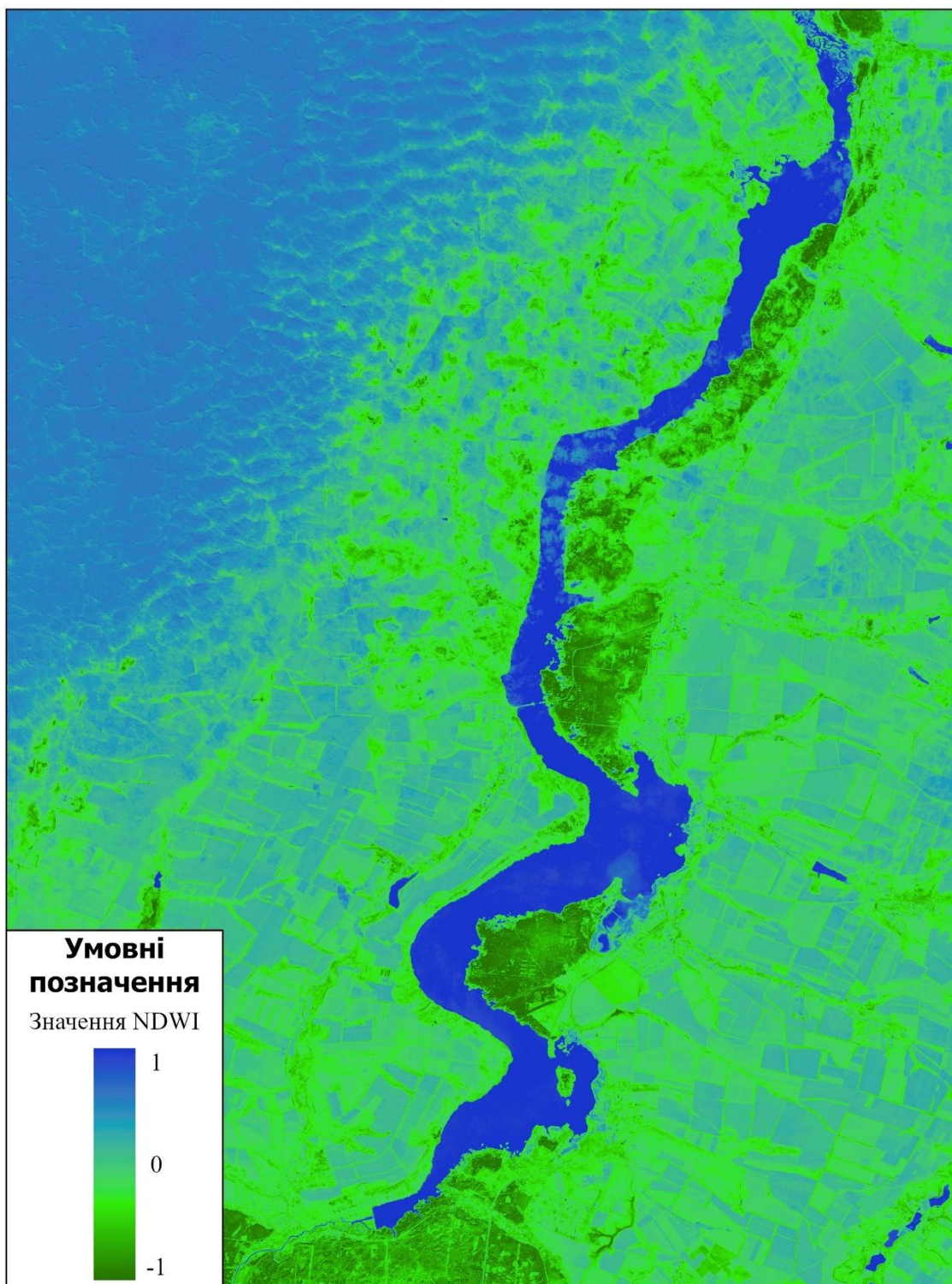
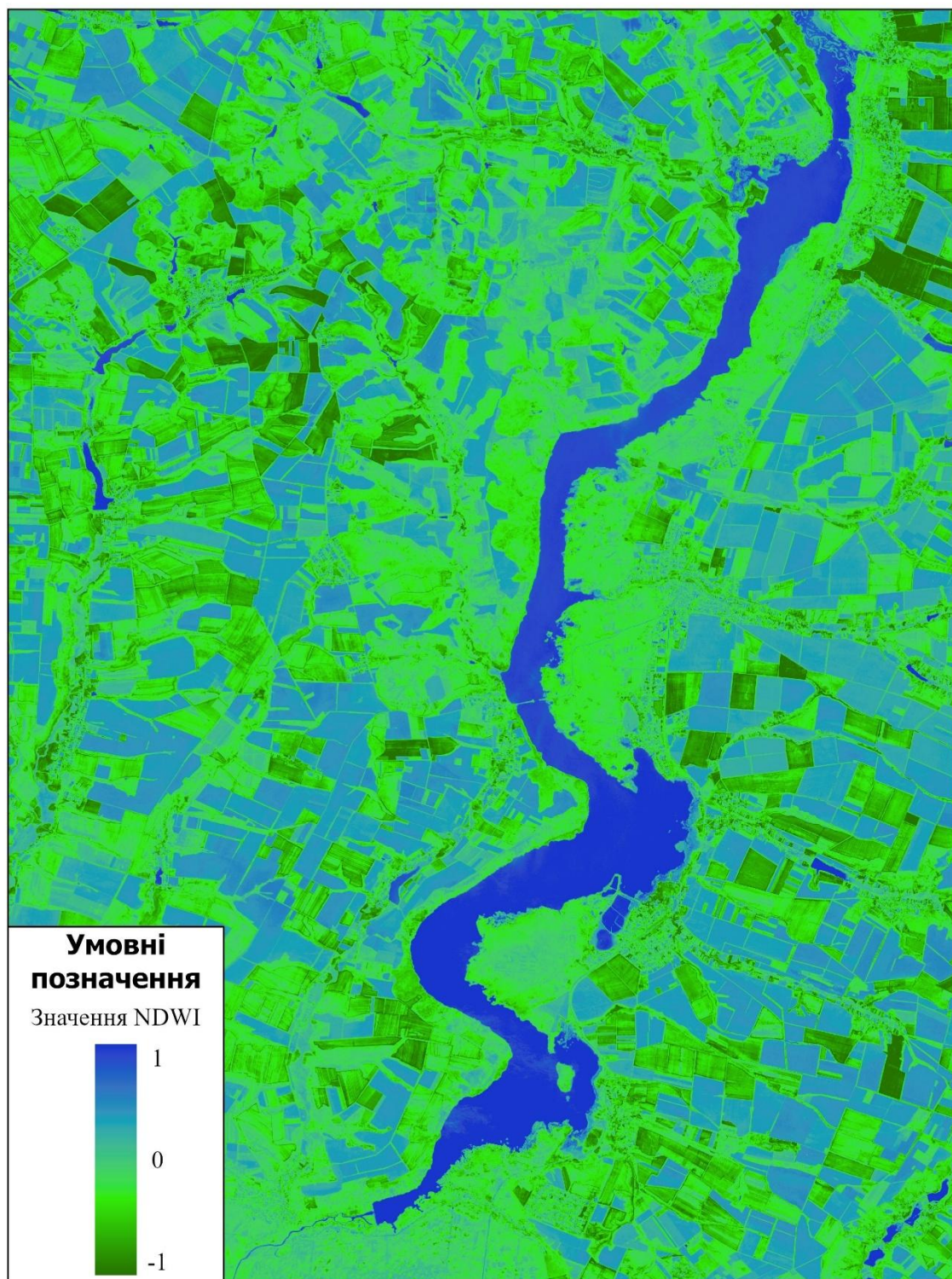


Рис. 3.11. Індексне зображення Оскільського водосховища за квітень 2021 року

ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ТРАВЕНЬ 2021 РОКУ



1:180 000

Рис. 3.12. Індексне зображення Оскільського водосховища за травень 2021 року

ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЧЕРВЕНЬ 2021 РОКУ

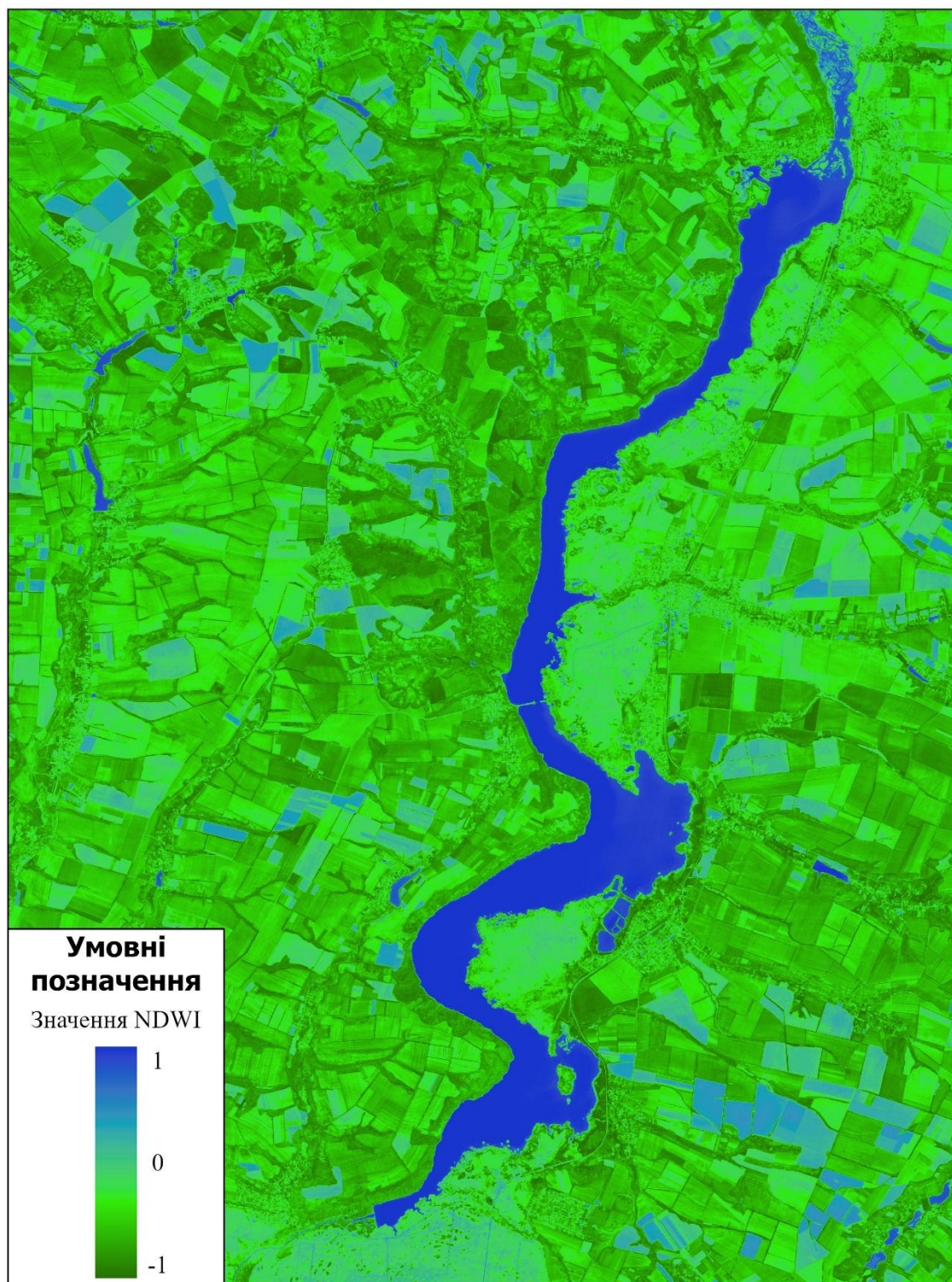
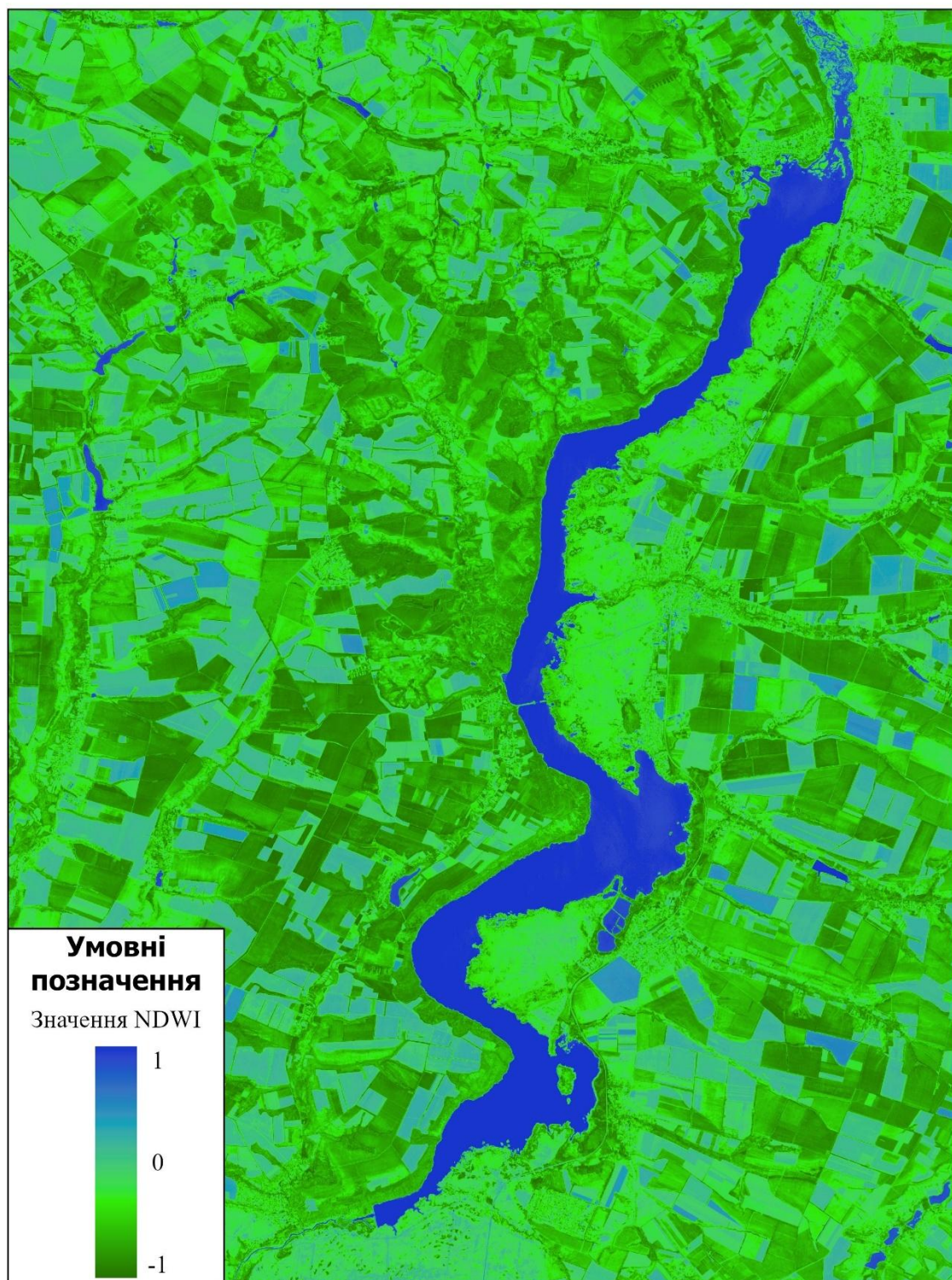


Рис. 3.13. Індексне зображення Оскільського водосховища за червень 2021 року

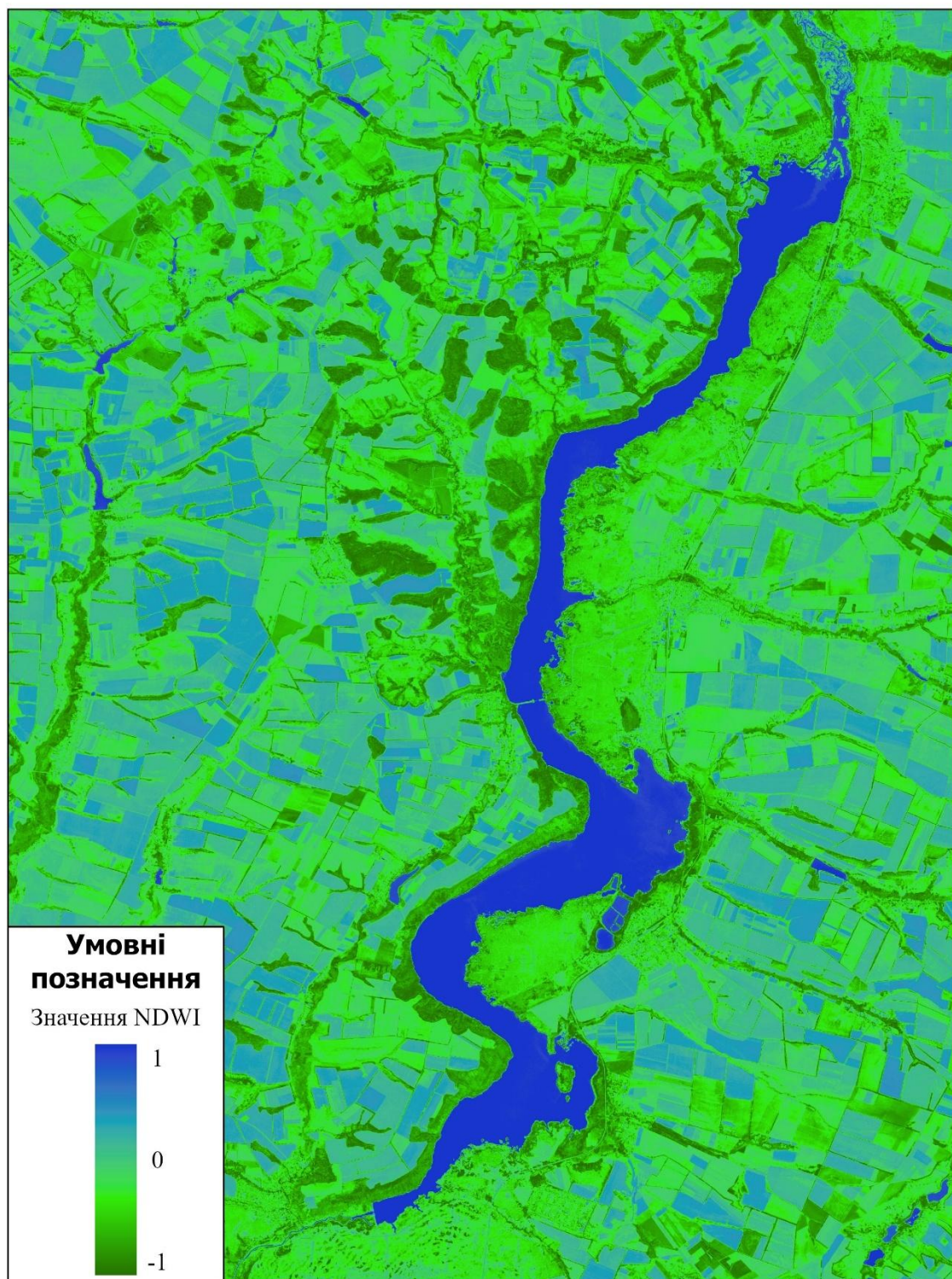
ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЛИПЕНЬ 2021 РОКУ



1:180 000

Рис. 3.14. Індексне зображення Оскільського водосховища за липень 2021 року

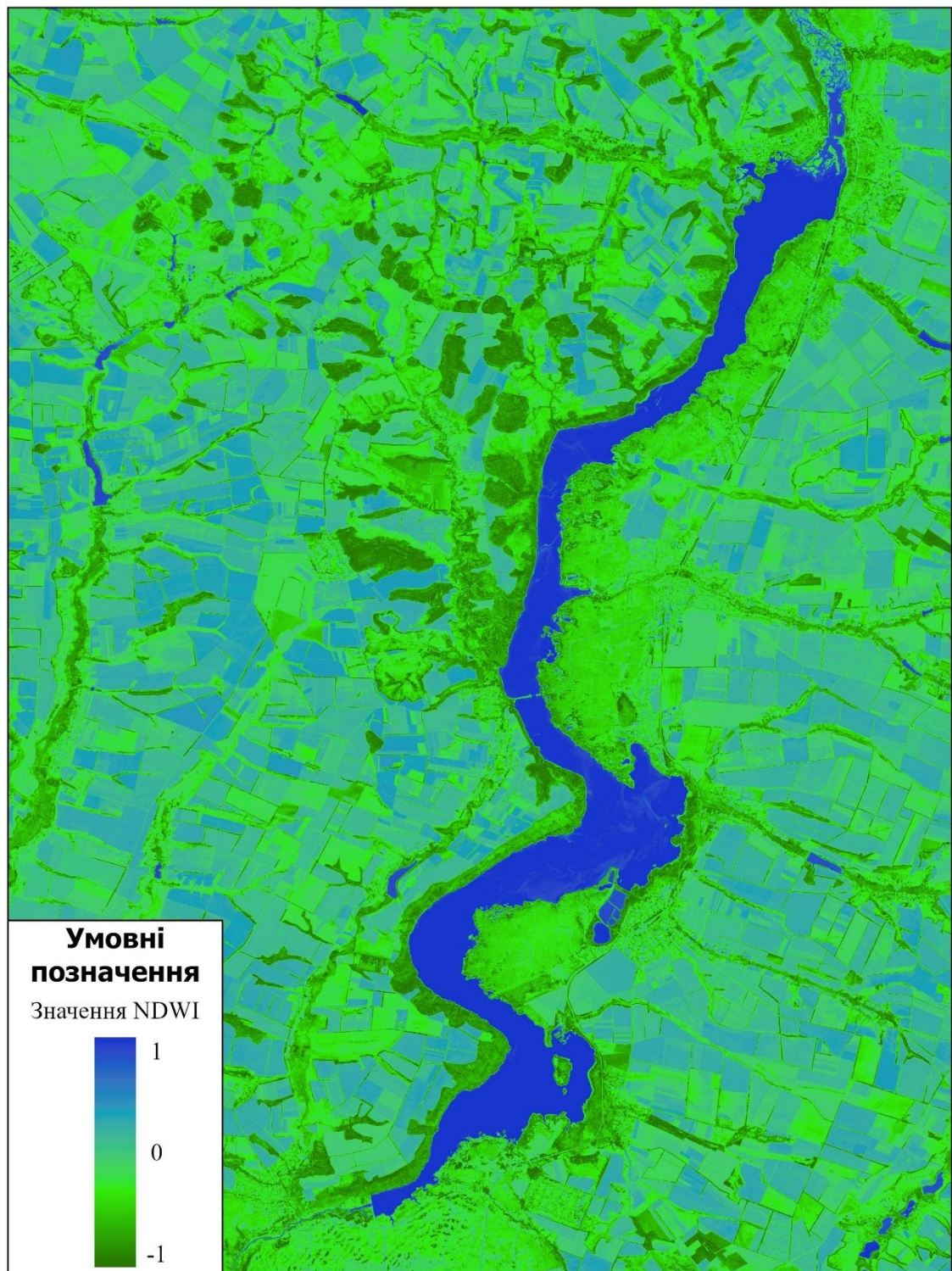
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА СЕРПЕНЬ 2021 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.15. Індексне зображення Оскільського водосховища за серпень 2021 року

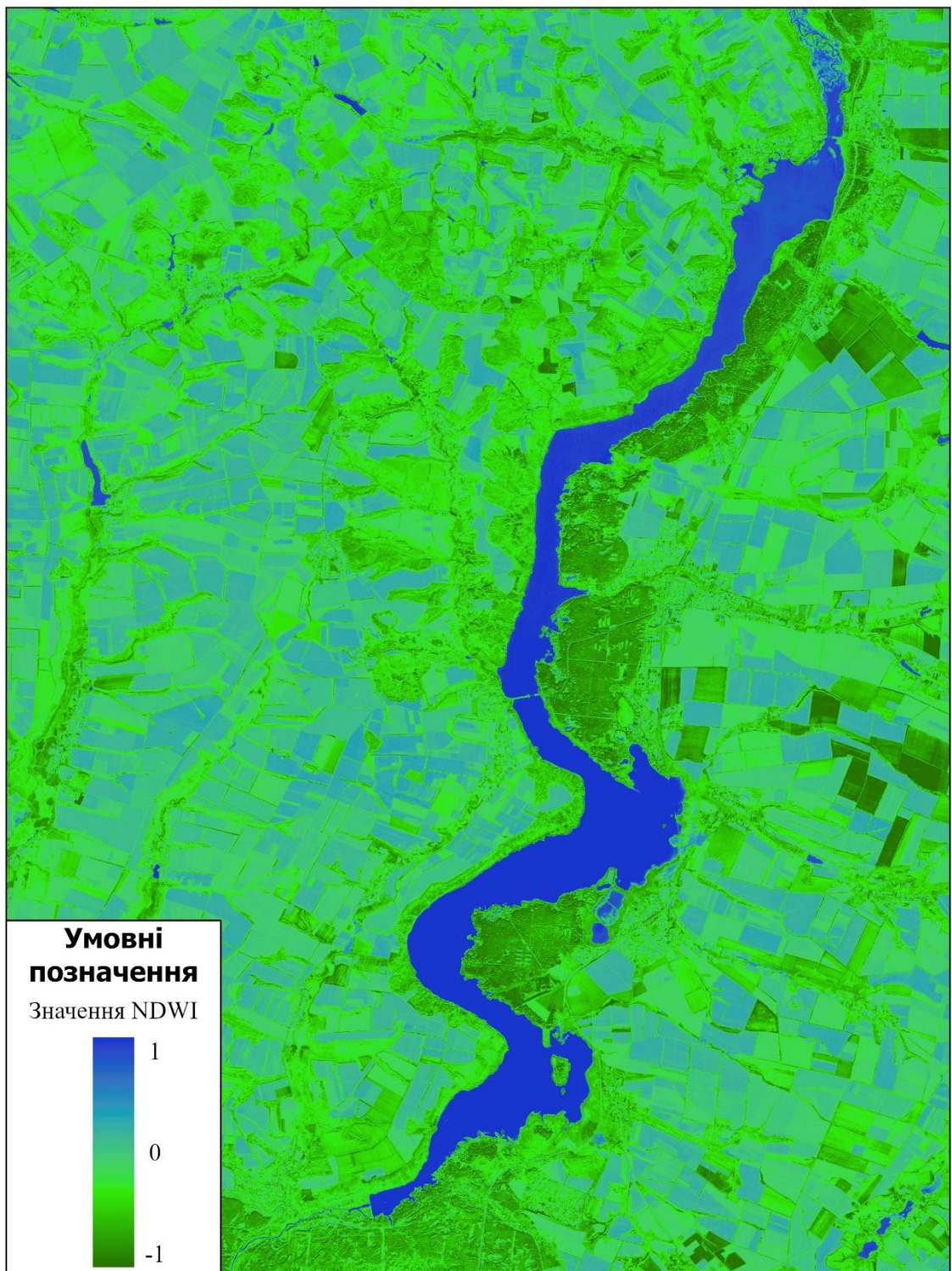
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ВЕРЕСЕНЬ 2021 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.16. Індиксне зображення Оскільського водосховища за вересень 2021 року

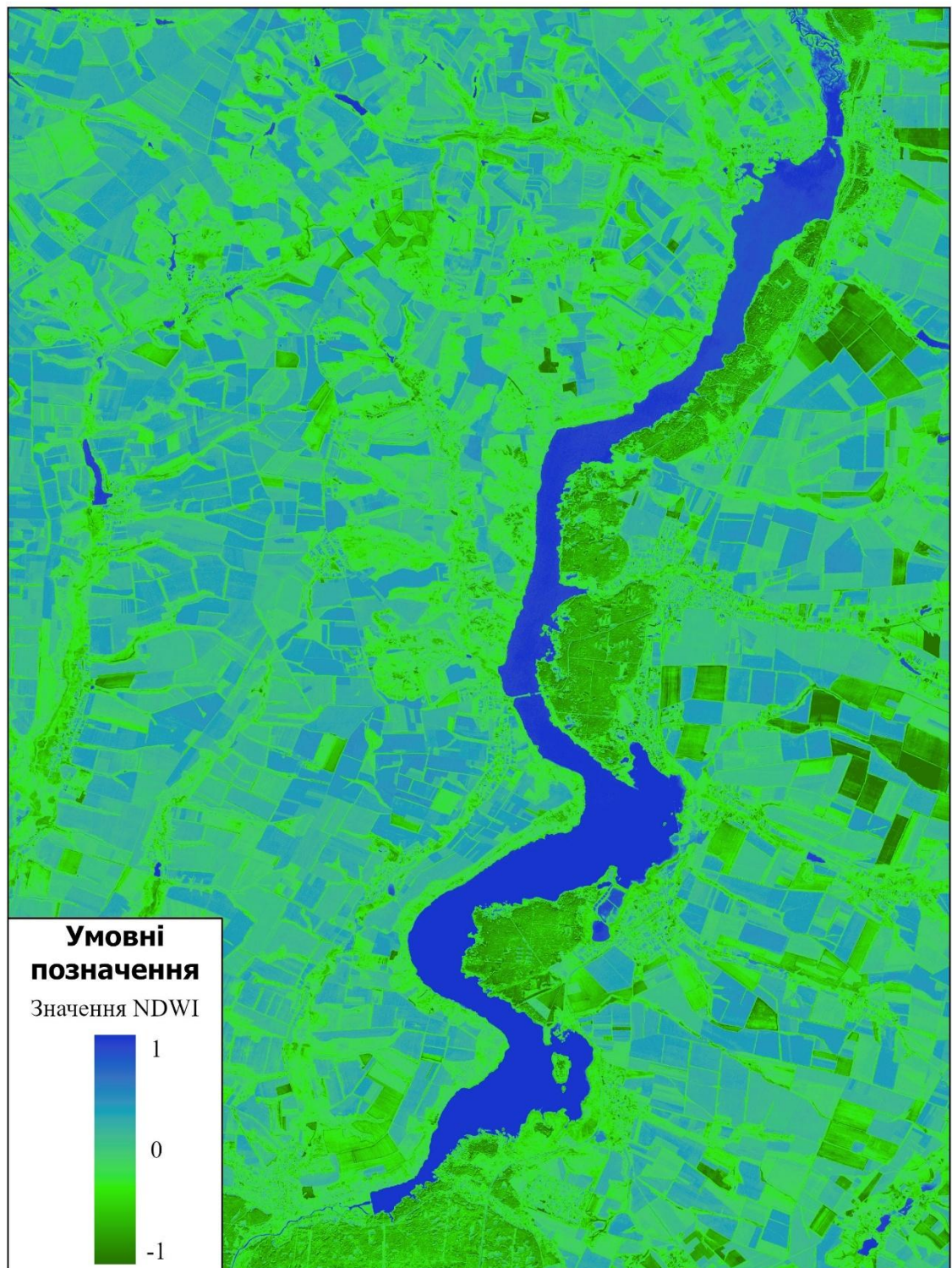
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЖОВТЕНЬ 2021 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.17. Індексне зображення Оскільського водосховища за жовтень 2021 року

**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЛИСТОПАД 2021 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.18. Індексне зображення Оскільського водосховища за листопад 2021 року

3.3. Аналіз зміни площі водного дзеркала Оскільського водосховища за 2022 рік з використанням індексу NDWI

Для визначення площ водної поверхні Оскільського водосховища за 2022 рік, а також для аналізу їх динаміки протягом досліджуваного періоду, було застосовано ту саму методику розрахунку, що й у 2021 році. На основі отриманих результатів було створено індексні зображення без урахування зимових місяців (рис. 3.20-3.28). На знімку за березень чітко видно стабільний стан водного дзеркала, яке займає значну площу, а саме 86,8 км² та відображається суцільною ділянкою синього кольору. Це вказує на нормальний рівень води перед катастрофічними подіями.

Критична ситуація, що виникла внаслідок руйнування гідротехнічної споруди, стала найбільш помітною у квітневих результатах. На індексному зображенні сині ділянки значно скоротилися, а площа водного дзеркала зменшилася більш ніж удвічі і становила 32,1 км². Відтік води призвів до фрагментації водної поверхні, що підтверджується зменшенням індексних значень. Наявність незначних ділянок з високими значеннями NDWI свідчить про залишкові водні об'єкти.

У травні ситуація продовжила погіршуватися. Результати розрахунків показали зменшення площі до 25 км², що підтверджується індексним зображенням. На ньому добре видно, що сині ділянки, які відповідають високим значенням NDWI, ще більше фрагментувалися та скоротилися у розмірах порівняно з квітнем. Це вказує на подальший відтік води і відсутність ефективного поповнення запасів водосховища. Невеликі залишкові ділянки водної поверхні розподілені нерівномірно, а більша частина території демонструє низькі значення індексу, що свідчить про переважання суші або вологих ґрунтів.

Поступова стабілізація ситуації спостерігалася у червні, де площа підвищилась до 44 км². На індексному зображенні помітно збільшення площі

водної поверхні порівняно з травнем. Значення NDWI для цього періоду відображають сезонне надходження води внаслідок опадів та річкового стоку. Водна поверхня хоч і не досягла довоєнного рівня, але демонструє позитивну тенденцію у порівнянні з попередніми місяцями.

Досить цікавим є період липня та серпня, коли площа водного дзеркала стабілізувалася на рівні близько 35 км². На індексних зображеннях сині ділянки є стабільними, але мають обмежений характер, що вказує на недостатнє поповнення водних ресурсів. Ця стабільність є тимчасовою, адже сезонні фактори та пошкоджена гідротехнічна інфраструктура обмежили потенціал відновлення водосховища.

Період вересня став локальним максимумом у досліджуваному році. На індексному зображенні добре простежується розширення синіх ділянок, що свідчить про покращення стану водного дзеркала до 49,69 км². Цей результат пояснюється збільшенням кількості опадів у осінній сезон та природним процесом накопичення води у водосховищі. Порівняно з попередніми місяцями, загальна площа водної поверхні виглядає більш цілісною.

Однак позитивна тенденція тривала недовго, і вже у жовтні площа водного дзеркала знову зменшилася до 23,67 км². Знімок демонструє суттєве зменшення водних площ та повернення до фрагментованого стану. Цей спад, ймовірно, пов'язаний зі зменшенням надходження води та триваючим відтоком у пошкоджених ділянках гідротехнічної споруди.

Листопад показав незначне зростання площі водного дзеркала до 25,55 км², що свідчить про часткову стабілізацію. Індексне зображення відображає невеликі зміни у площі синіх ділянок, які все ще залишаються фрагментованими. Цей період демонструє відсутність значних покращень і підкреслює необхідність контролю за водними ресурсами та відновленням інфраструктури.

Таким чином, аналіз індексних зображень підтвердив кількісні результати розрахунків NDWI. Водне дзеркало Оскільського водосховища зазнало критичних змін після квітневого руйнування. Найбільш стабільні періоди спостерігалися у червні та вересні, тоді як у жовтні та листопаді відбулося повторне скорочення водної поверхні. Загальна тенденція вказує на нестабільний гідрологічний режим, що потребує подальшого моніторингу водосховища (рис. 3.19).



Рис. 3.19. Графік змін площі водного дзеркала Оскільського водосховища в 2022 році

**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА БЕРЕЗЕНЬ 2022 РОКУ**

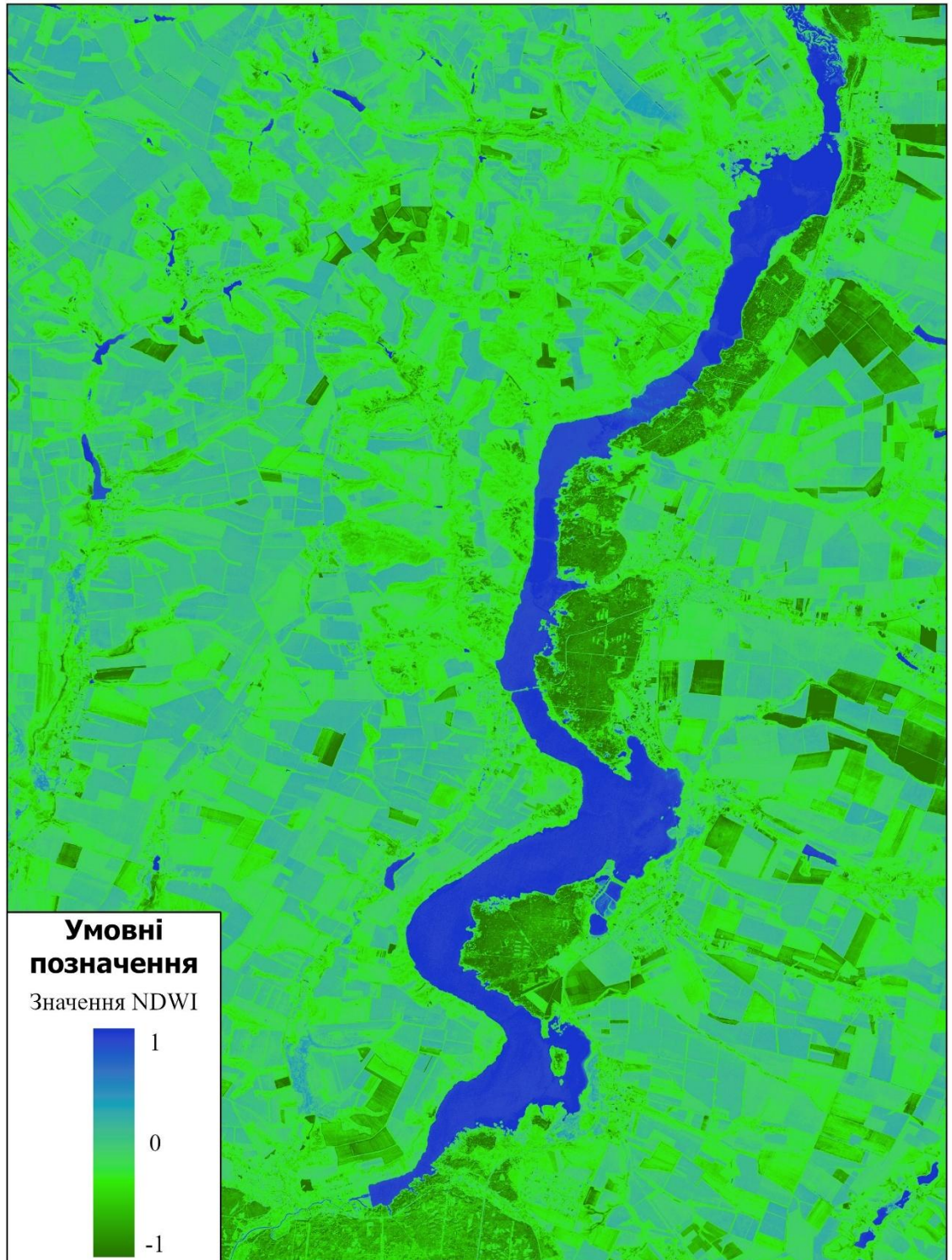
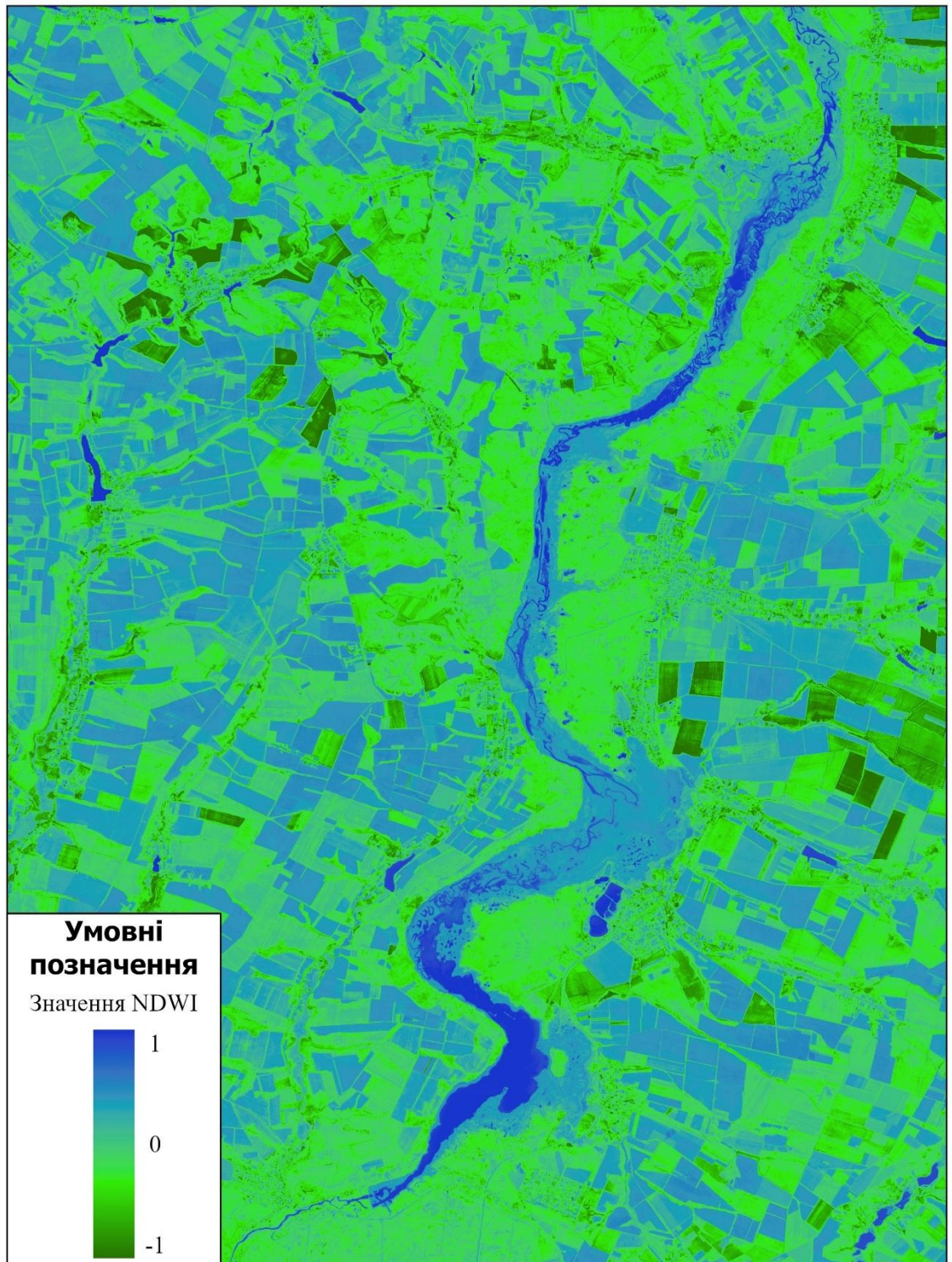


Рис. 3.20. Індексне зображення Оскільського водосховища за березень 2022 року

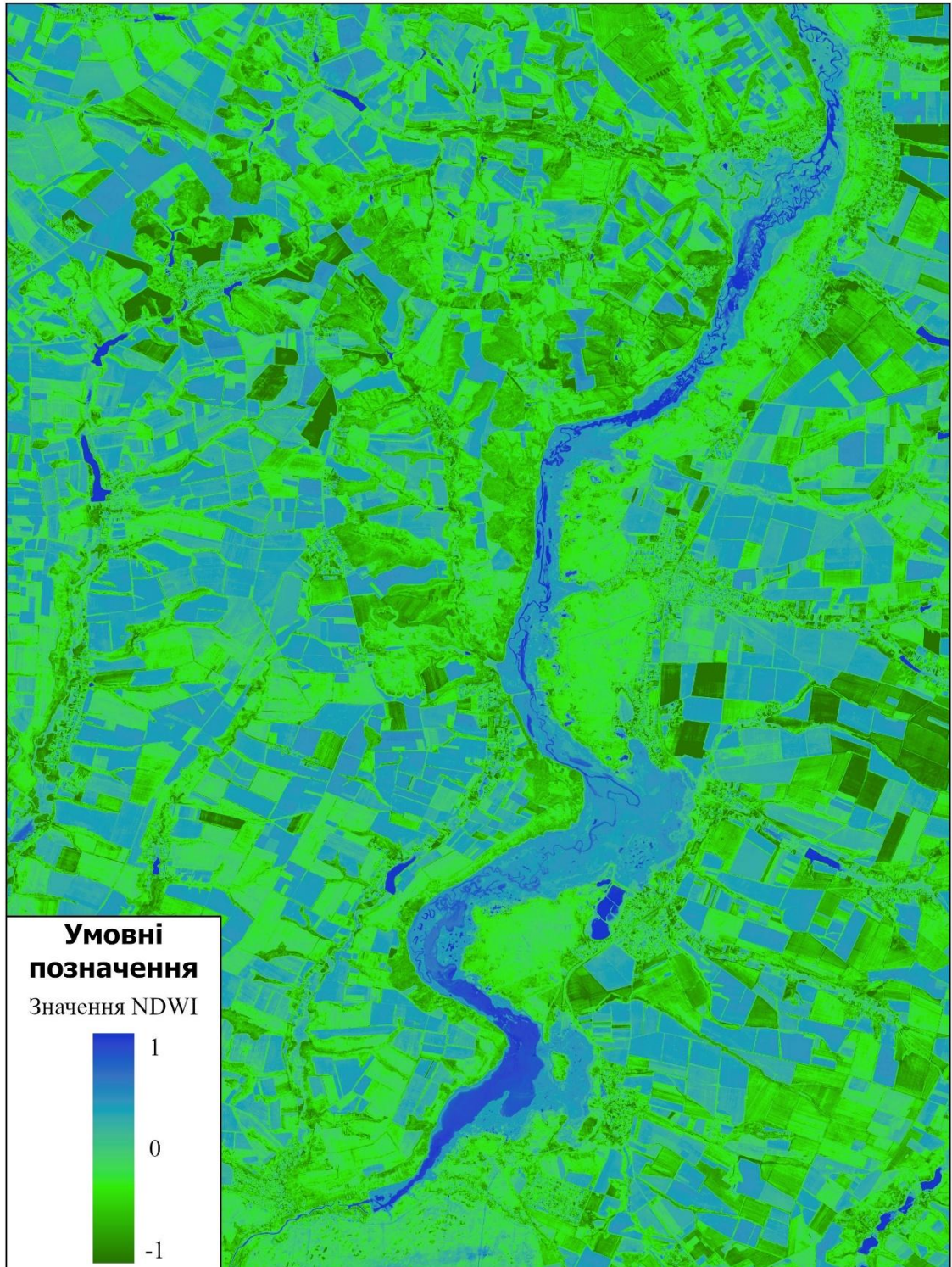
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА КВІТЕНЬ 2022 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.21. Індиксне зображення Оскільського водосховища за квітень 2022 року

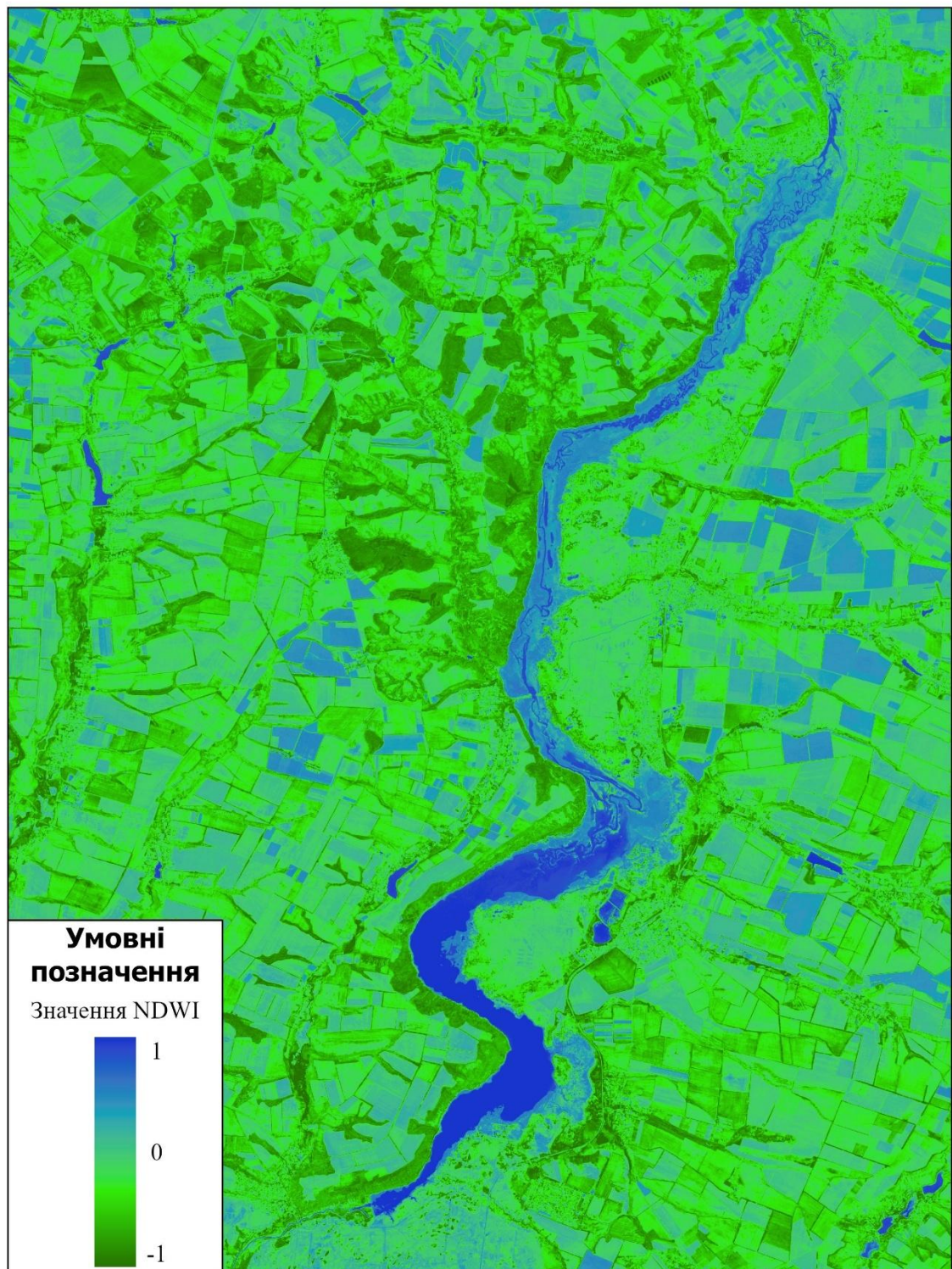
ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ТРАВЕНЬ 2022 РОКУ



1:180 000

Рис. 3.22. Індексне зображення Оскільського водосховища за травень 2022 року

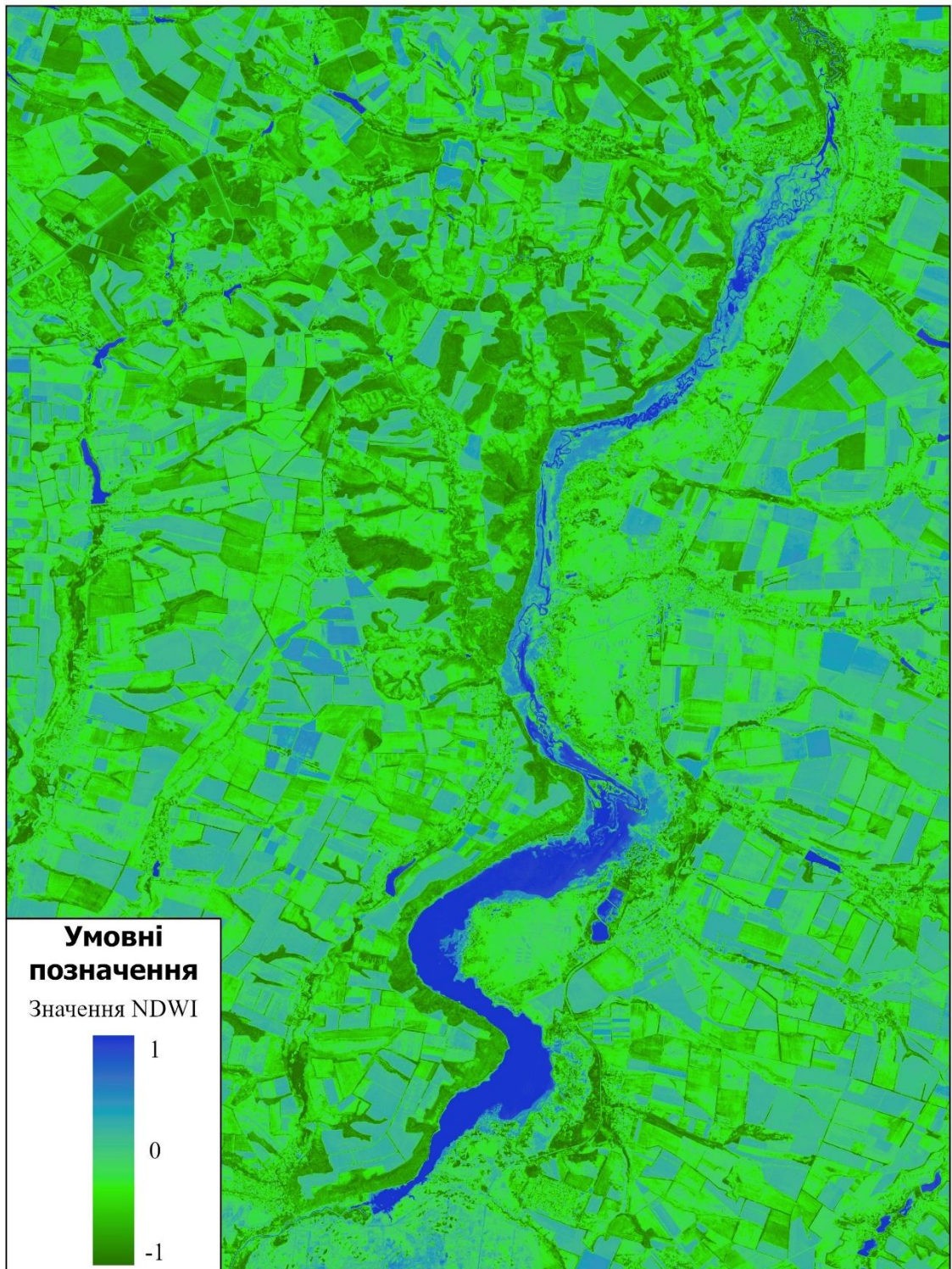
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЧЕРВЕНЬ 2022 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.23. Індиксне зображення Оскільського водосховища за червень 2022 року

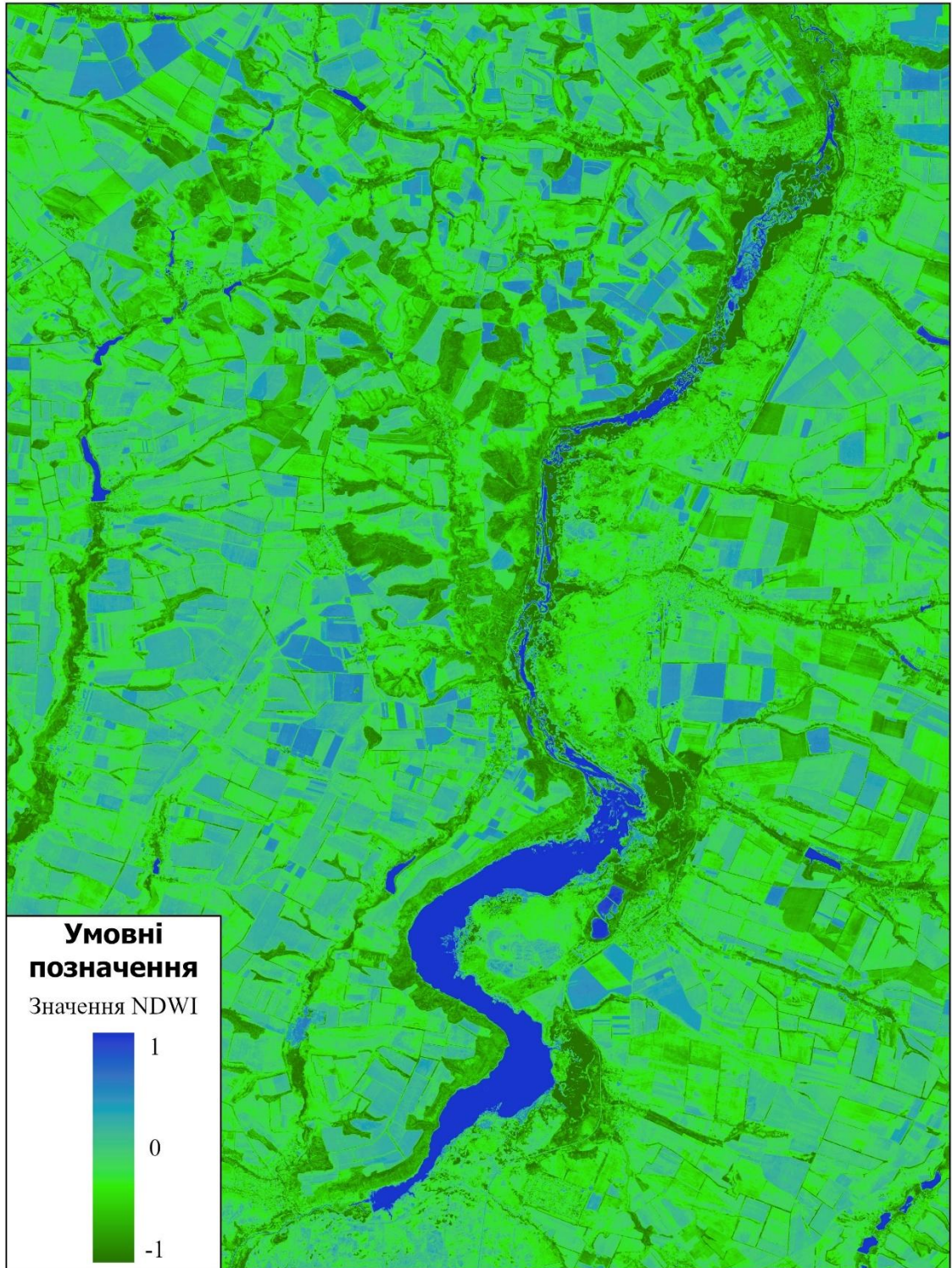
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЛИПЕНЬ 2022 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.24. Індексне зображення Оскільського водосховища за липень 2022 року

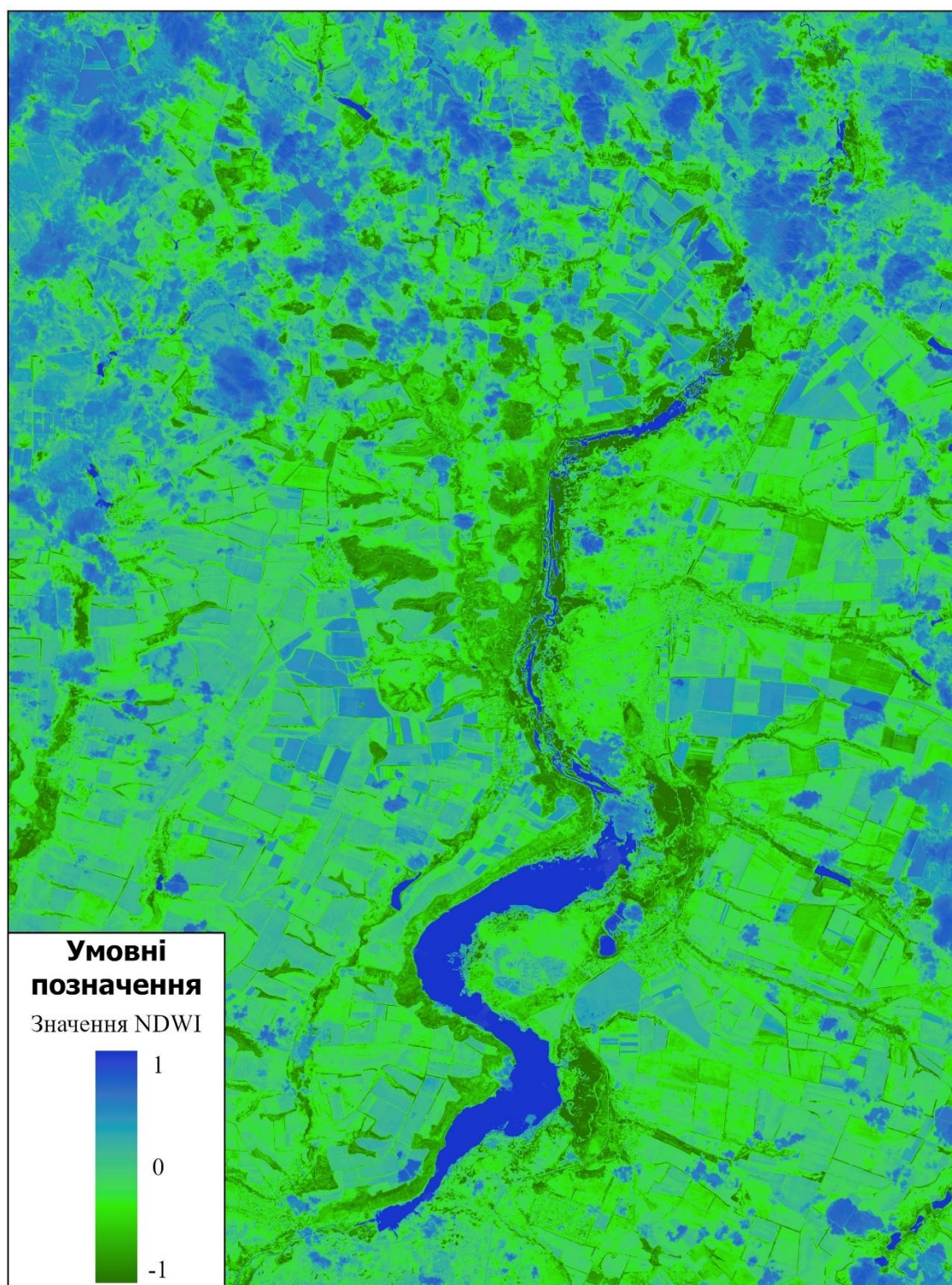
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА СЕРПЕНЬ 2022 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.25. Індиксне зображення Оскільського водосховища за серпень 2022 року

**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ВЕРЕСЕНЬ 2022 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.26. Індиксне зображення Оскільського водосховища за вересень 2022 року

**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЖОВТЕНЬ 2022 РОКУ**

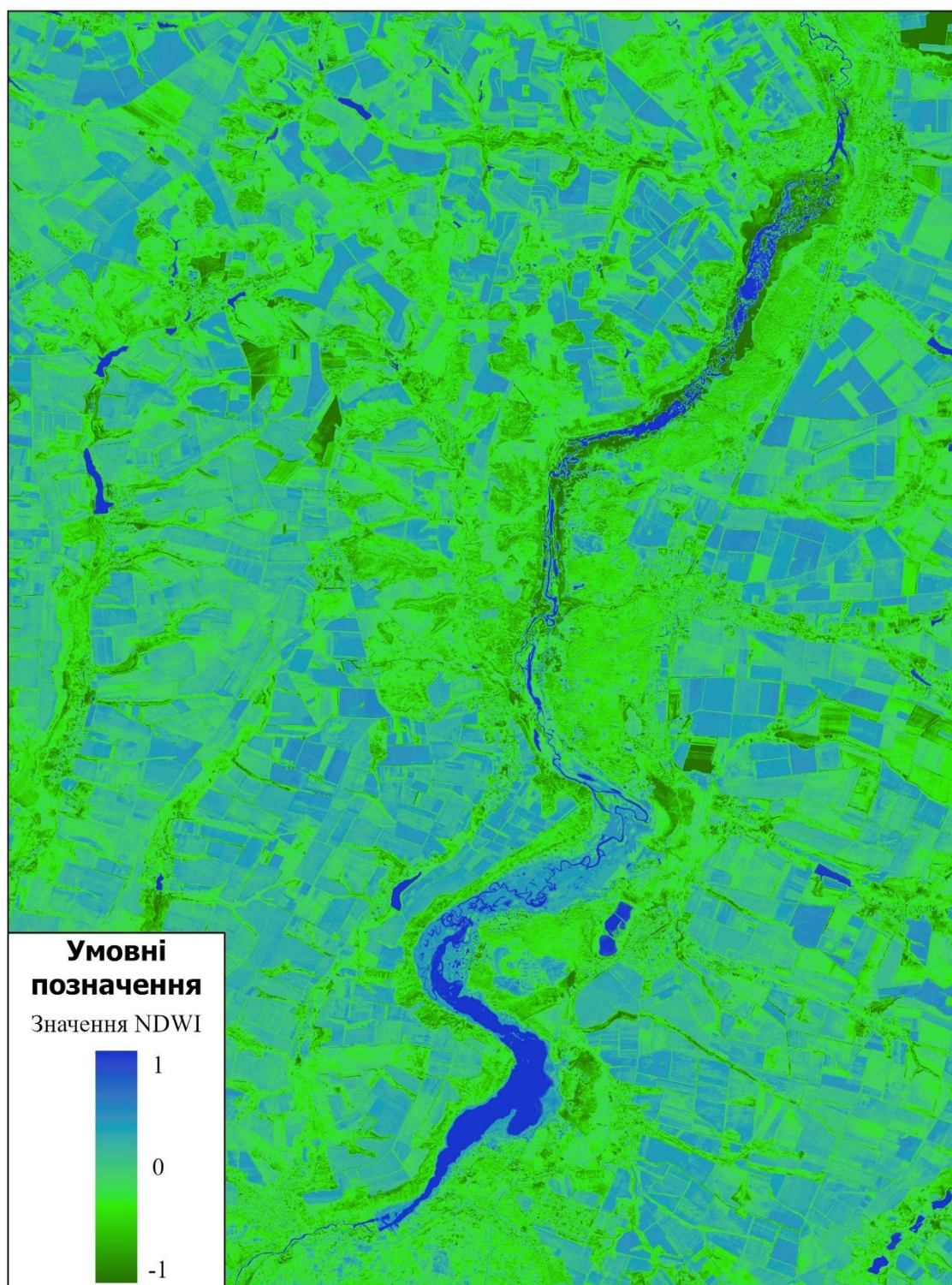
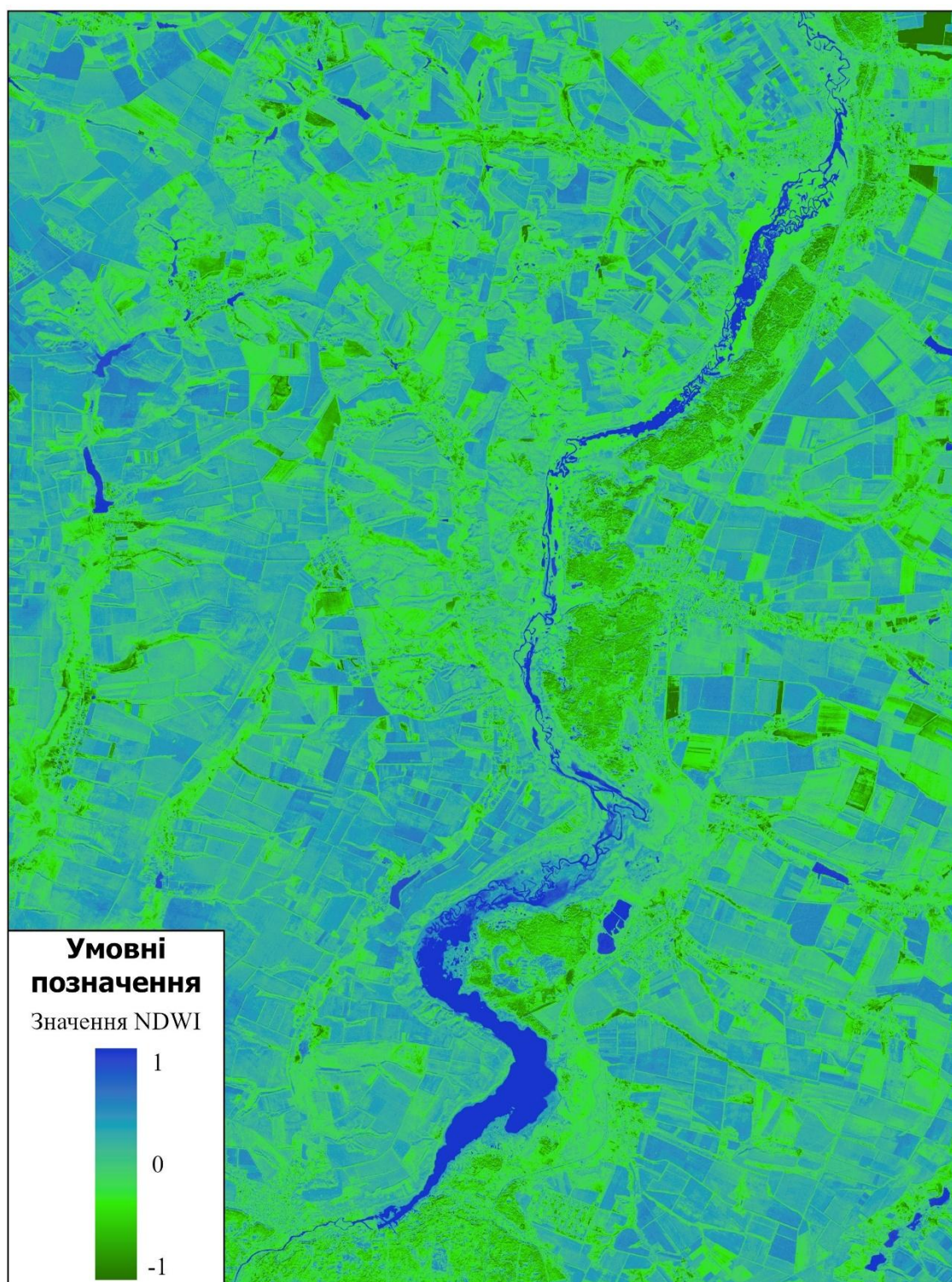


Рис. 3.27. Індексне зображення Оскільського водосховища за жовтень 2022 року

**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЛИСТОПАД 2022 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.28. Індексне зображення Оскільського водосховища за листопад 2022 року

3.4. Аналіз зміни площі водного дзеркала Оскільського водосховища за період 2023-2024 років з використанням індексу NDWI

Використавши ту ж саму методику розрахунку, що й у попередніх роках було розраховано площу водної поверхні водосховища та створено індексні зображення за 2023 та 2024 рік (рис. 3.31-3.47). Оскільки міжмісячні та міжрічні коливання значень площ були незначними, а загальний гідрологічний режим залишався відносно стабільним, ці два роки доцільно було розглядати в одному підрозділі.

Цей період для Оскільського водосховища став часом повільних, але помітних змін, коли водойма поступово намагається повернутися до природної рівноваги. У березні 2023 року площа водної поверхні становила 34,36 км². На знімках видно водні плями, зосереджені вздовж русла, проте більшість колишньої акваторії залишається оголеною. У квітні ситуація майже не змінюється – площа становить 34,10 км², і візуально на картах спостерігається незначне зменшення синіх ділянок, які подекуди витісняються світлішими тонами, що вказує на вологі ґрунти або заростання. У травні водне дзеркало дещо збільшується до 34,79 км², однак форма залишається дуже витягнутою та вузькою, з характерною фрагментацією у бокових зонах. Вже в червні площа зменшилася до 32,76 км². Така динаміка вказує на раннє завершення весняного водопілля та початок втрати води. На зображенні цього періоду помітно зменшення інтенсивності синіх ділянок і часткове оголення прибережних зон, що підтверджує початок сезонного спаду рівня води.

В липні сезонне зменшення водної площі продовжується і знижується до 31,05 км². У серпні цей показник ще менший – 29,54 км². Простежується посилена фрагментація водної поверхні, сині ділянки стають менш насиченими, і деякі з них зовсім зникають. У вересні, навпаки, відбувається певне покращення – площа зростає до 31,48 км². Це пов'язано з осіннім надходженням вологи. На

знімках чітко видно посилення інтенсивності NDWI у центральній та південній частинах, де водна поверхня трішки розширюється.

Проте вже у жовтні знову спостерігається зниження – площа падає до 28,14 км², а в листопаді фіксується найнижче значення за рік – 27,16 км². Індексні зображення цього періоду показують значне зменшення площ синього кольору, спостерігається вузький, стрічкоподібний характер водної поверхні, обмеженої межами руслової ділянки та заростання оголених ділянок рослинністю.

У 2024 році ситуація ще більше стабілізувалася. У березні площа становила 29,78 км², у квітні – 30,53 км², у травні – 28,77 км². Усі ці значення свідчать про те, що водне дзеркало підтримується на відносно сталому рівні, без візуально помітних втрат. У червні площа збільшується до 32,89 км², що відповідає типовому весняному приросту. У липні і серпні рівень утримується без істотних змін. На знімках за ці місяці видно, що водна поверхня залишається суцільною вздовж основного русла і частково заповнює деякі заплавні ділянки або ж стає помітно оголену, вологу поверхню. У вересні площа досягає 32,35 км², а в жовтні – максимуму за рік, 33,99 км². Це пов'язано з осінніми опадами, які частково наповнили порожнини водосховища. На картах з'являються декілька більш синіх ділянок. Дані за листопад відсутні через щільне хмарне покриття, яке унеможливило отримання якісного знімка для подальшого аналізу.

Узагальнюючи результати аналізу за період 2021-2024 роки, можна впевнено стверджувати, що Оскільське водосховище пройшло через період різкої трансформації, а згодом увійшло у фазу поступової стабілізації. У 2021 році водосховище функціонувало у відносно природному ритмі з чітко вираженою сезонною динамікою: весняне збільшення площі водного дзеркала, літній максимум і осіннє зниження. У цей період площа водної поверхні коливалася в межах 74-82 км², що є типовим для повноцінного регульованого водосховища.

Різка зміна відбулася у 2022 році внаслідок руйнування гідротехнічної споруди, що спричинило стрімкий відтік води та скорочення площі водного дзеркала з понад 87 км² у березні до 32 км² у квітні. Надалі ситуація лише

погіршувалась, і впродовж року площа скоротилась до мінімального значення – 23,67 км². Знімки цього періоду показують фрагментацію водойми, втрату суцільного дзеркала і перехід до розірваної структури з окремих залишкових водних об'єктів. Водночас почали проявлятися процеси природного заростання оголеного дна.

У 2023 році водосховище зберігало залишковий характер, однак динаміка зміни площі була вже не такою різкою. Значення коливалися в межах 27-34 км², з весняним збільшенням і типовим осіннім спадом (рис. 3.29). Хоча повноцінне відновлення не відбулося, знімки демонструють ознаки стабілізації: водна поверхня утримувалась здебільшого в межах основного русла, а зміни мали сезонний характер. Водночас ділянки, які раніше залишались затопленими протягом усього року, зараз вже вкрилися рослинністю або стали зволоженими угіддями.

У 2024 році площа водного дзеркала залишалась відносно стабільною з амплітудою в межах 28-34 км². Водойма зберігала витягнуту форму, характерну для руслового режиму. Незначні сезонні коливання спостерігались переважно навесні та восени, коли приплив води збільшувався через опади. У порівнянні з попереднім роком, ситуація виглядала ще більш стабільною, без різких спадів або втрат (рис. 3.30).

Отже, загальний гідрологічний стан Оскільського водосховища стабілізувався. Різких втрат води більше не спостерігається, і річка фактично повернулася до природного русла. Зміни площі водної поверхні мають переважно сезонний характер із незначною амплітудою. Прибережні ділянки, які раніше були затоплені, залишаються здебільшого сухими або заболоченими та активно заростають, що свідчить про поступове формування нових екологічних умов на місці колишньої акваторії. Таким чином, водосховище нині функціонує у новому, адаптованому до змінених обставин режимі.

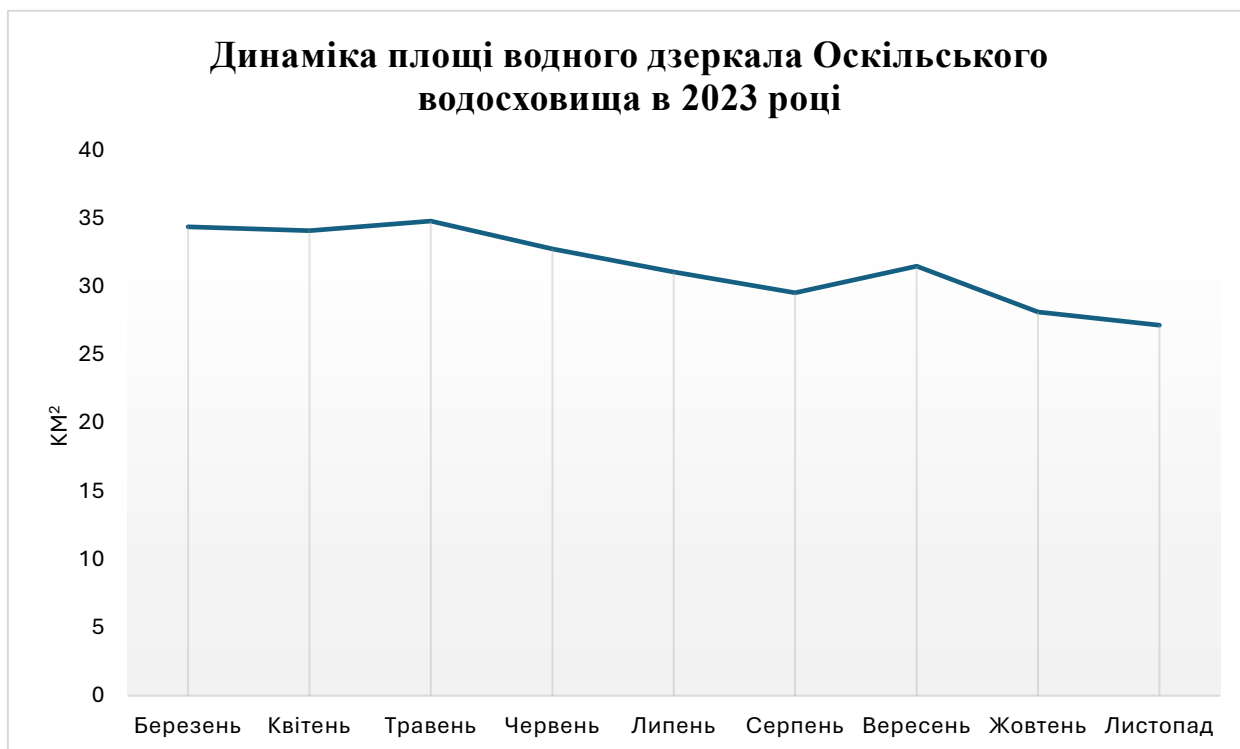
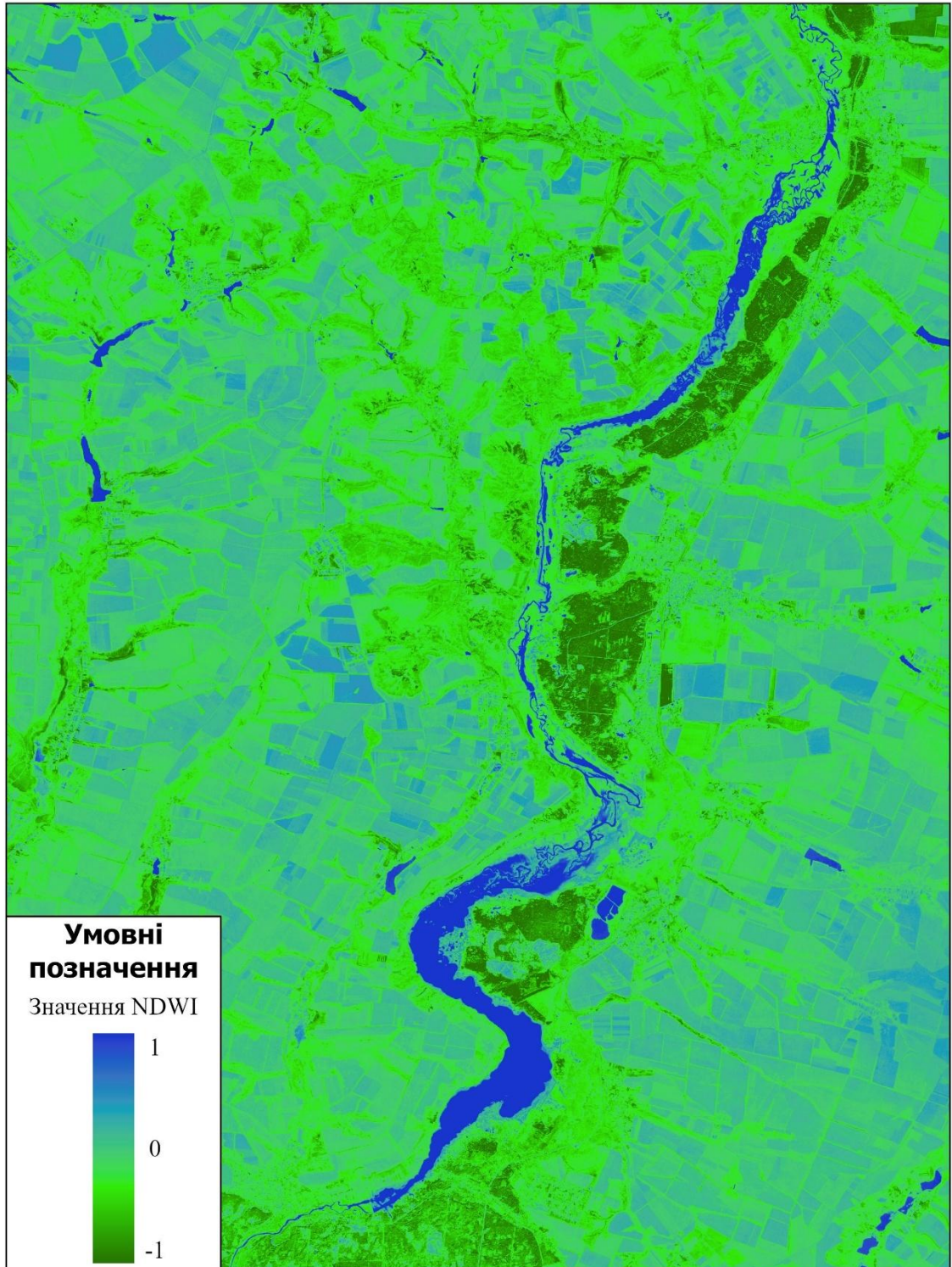


Рис. 3.29. Графік змін площі водного дзеркала Оскільського водосховища в 2023 році



Рис. 3.30. Графік змін площі водного дзеркала Оскільського водосховища в 2024 році

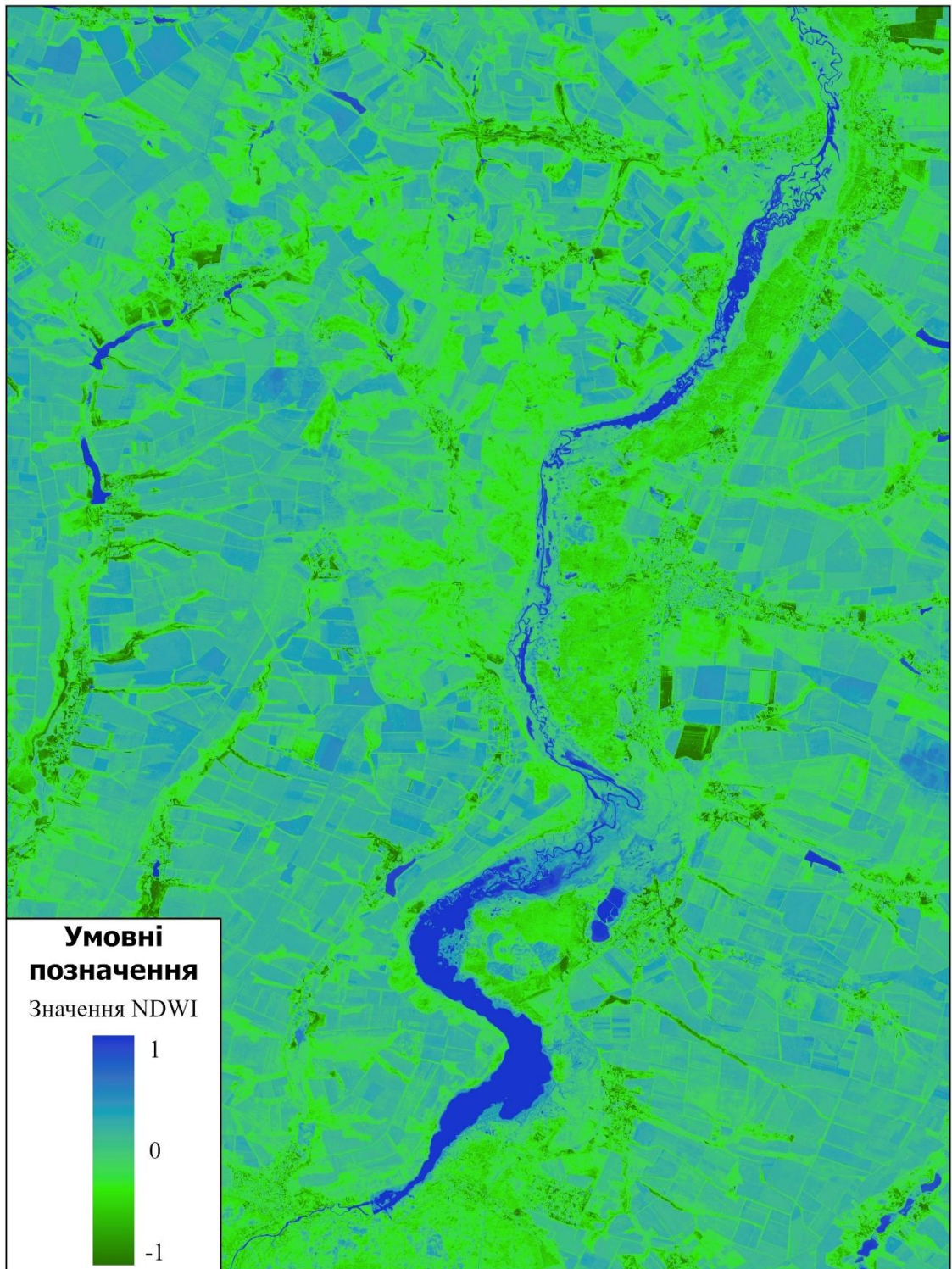
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА БЕРЕЗЕНЬ 2023 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.31. Індексне зображення Оскільського водосховища за березень 2023 року

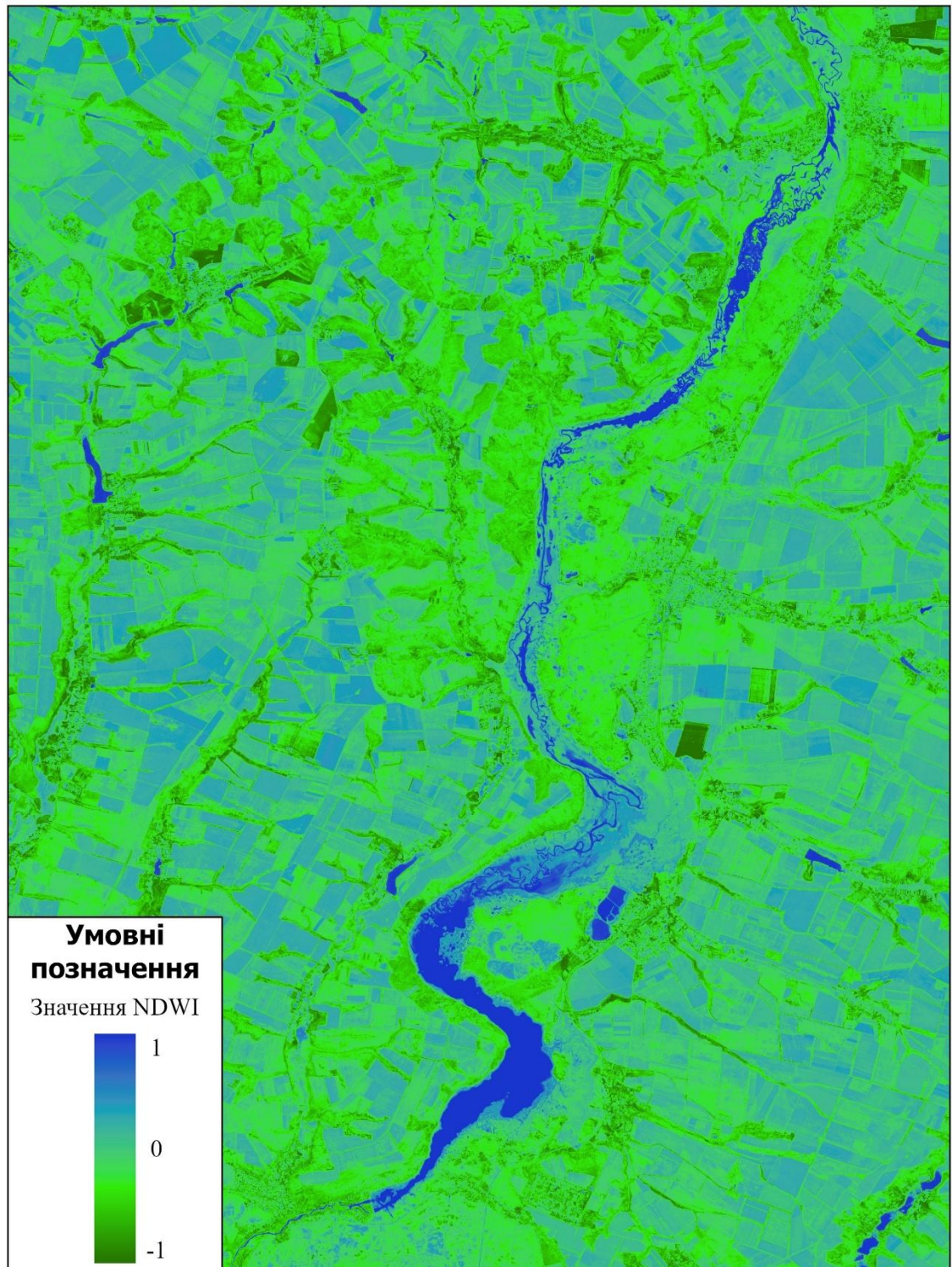
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА КВІТЕНЬ 2023 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.32. Індексне зображення Оскільського водосховища за квітень 2023 року

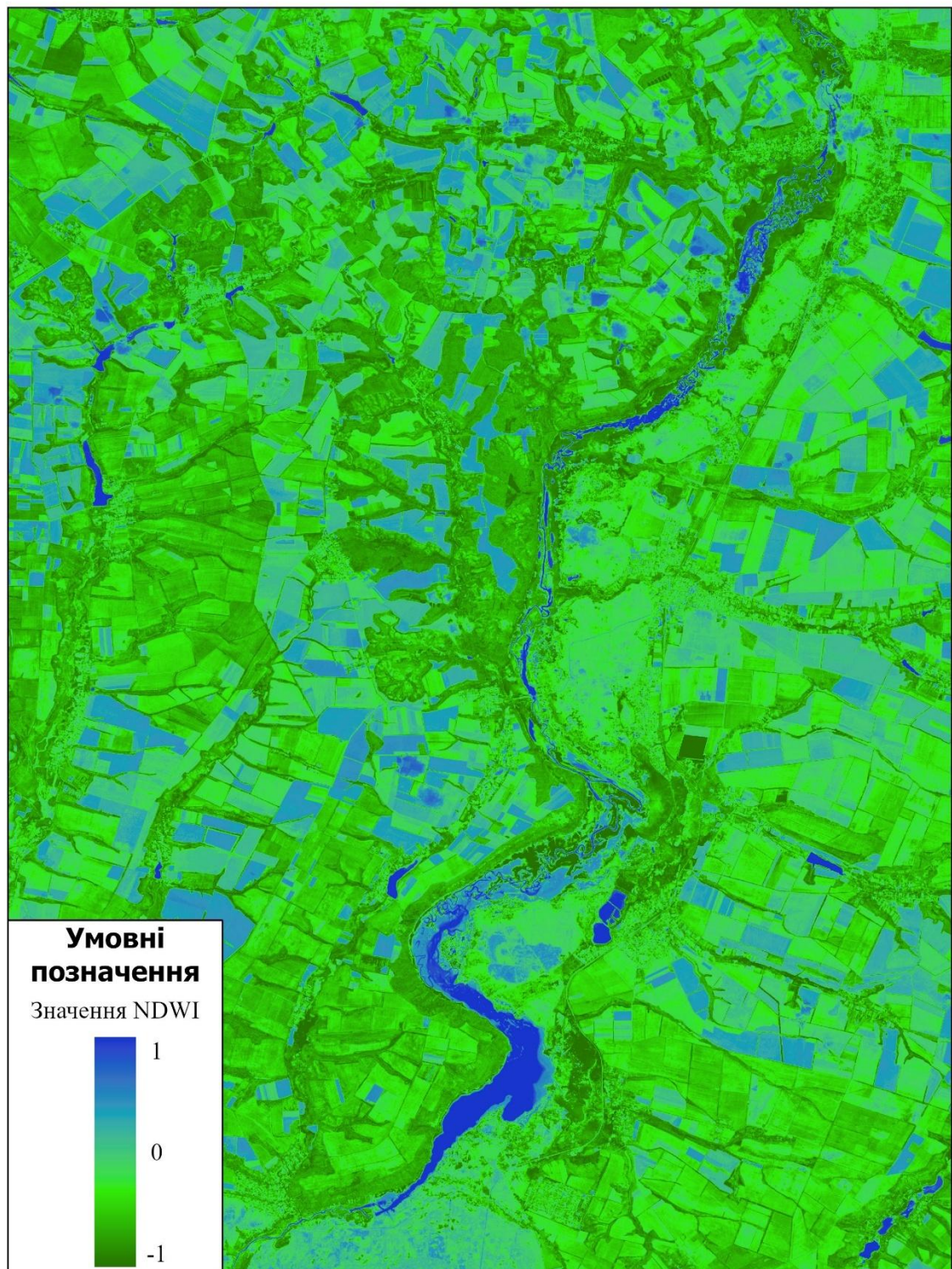
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ТРАВЕНЬ 2023 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.33. Індексне зображення Оскільського водосховища за травень 2023 року

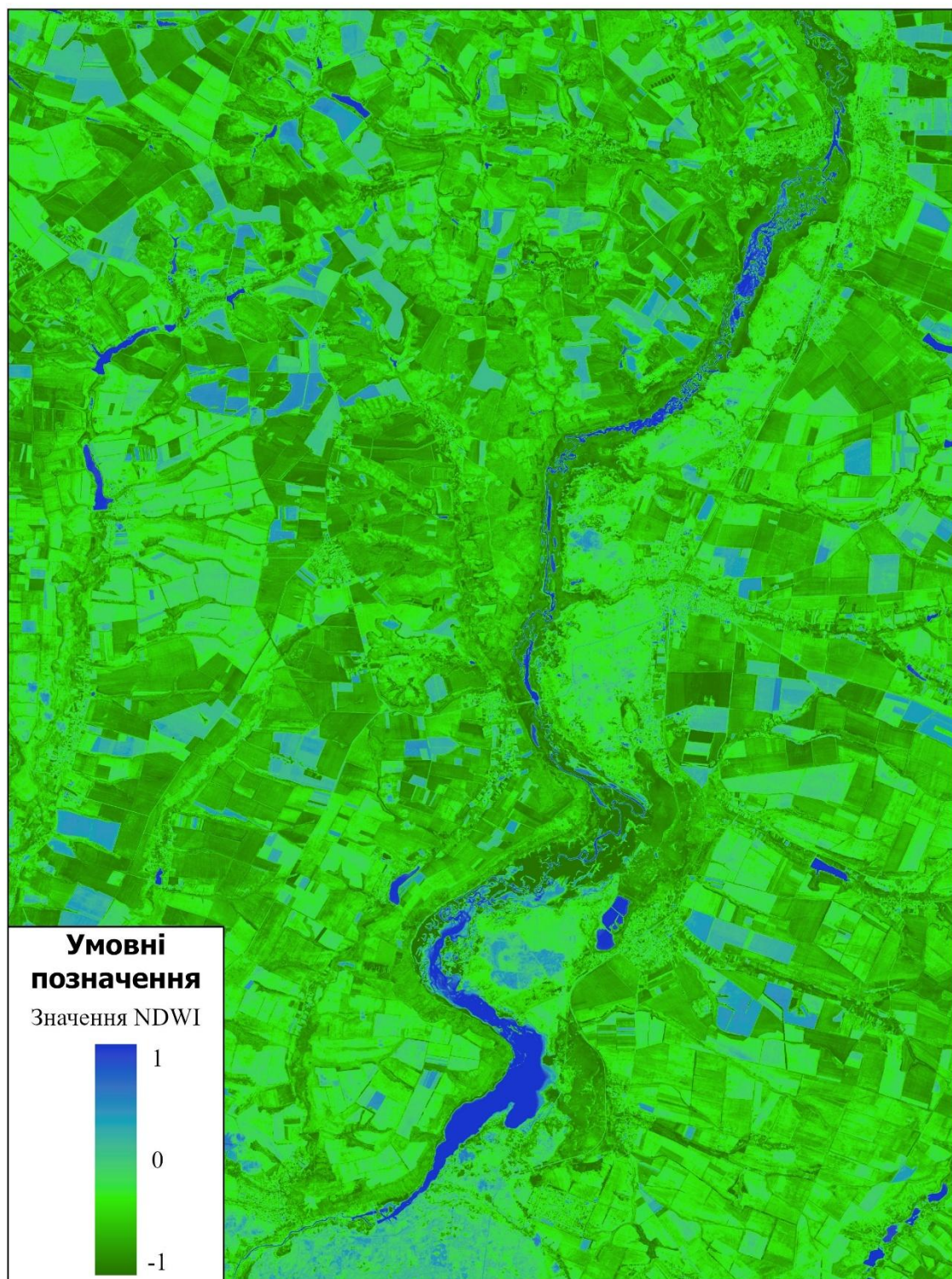
ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЧЕРВЕНЬ 2023 РОКУ



1:180 000

Рис. 3.34. Індексне зображення Оскільського водосховища за червень 2023 року

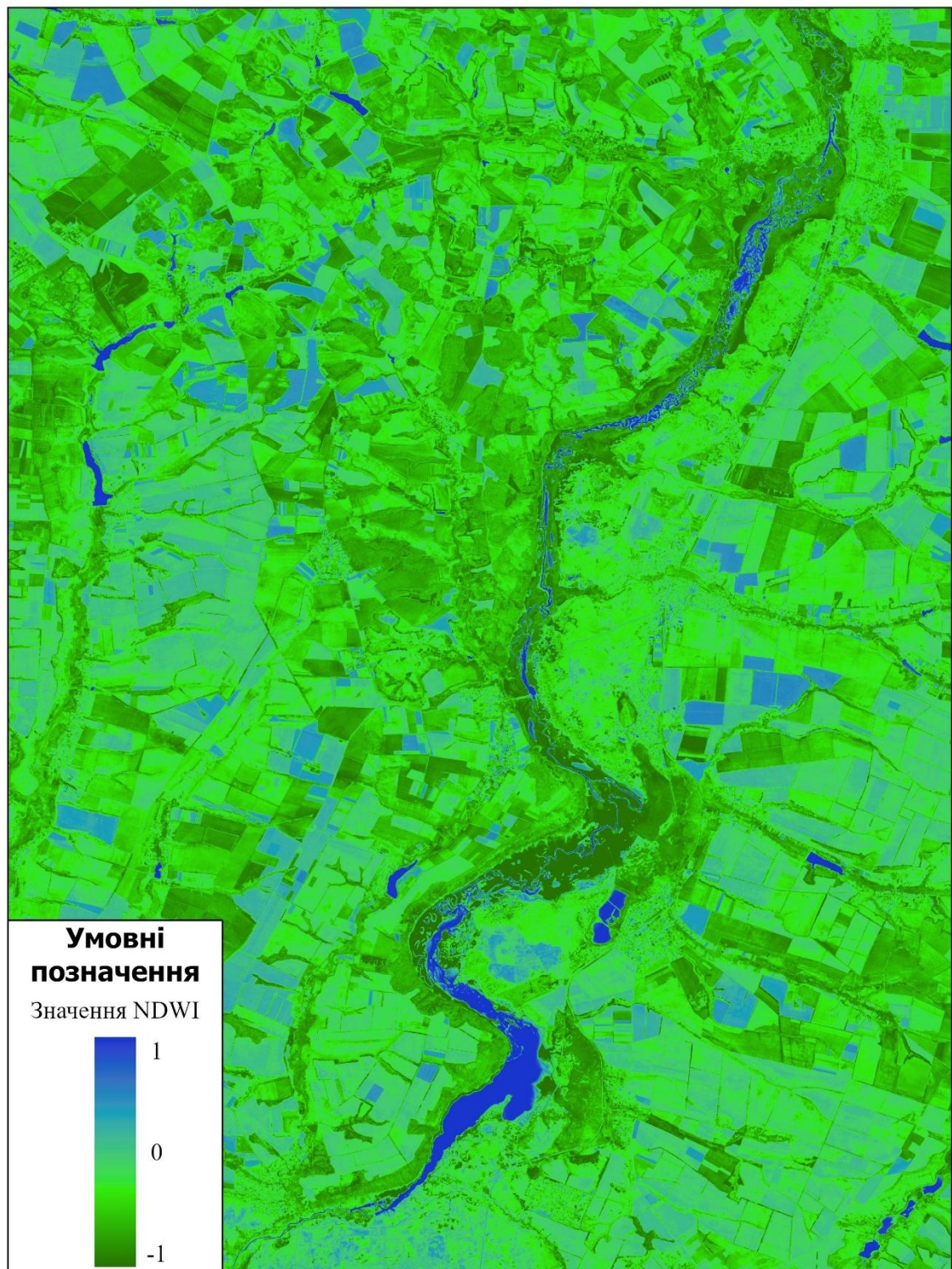
ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЛИПЕНЬ 2023 РОКУ



1:180 000

Рис. 3.35. Індексне зображення Оскільського водосховища за липень 2023 року

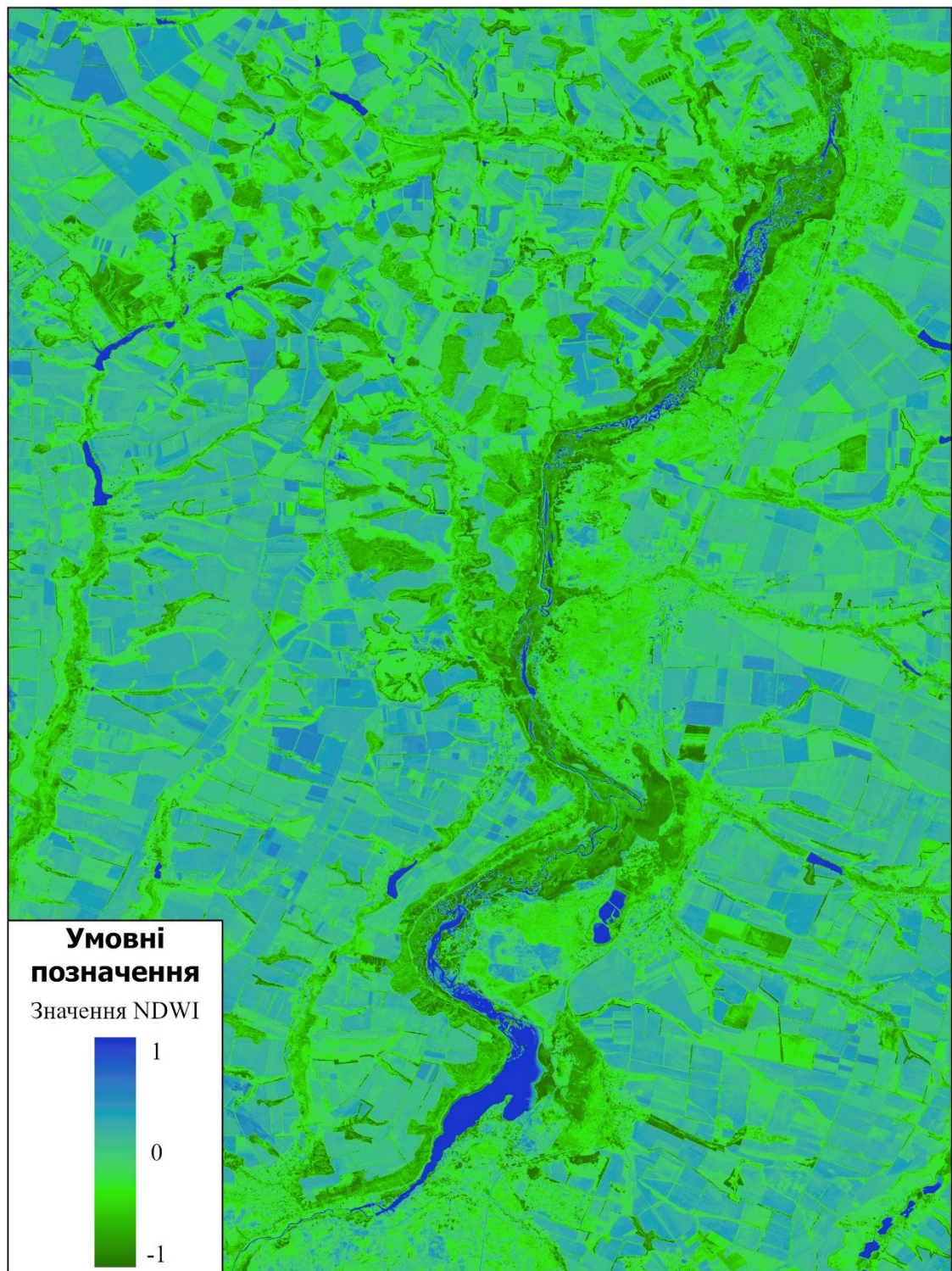
ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА СЕРПЕНЬ 2023 РОКУ



1:180 000

Рис. 3.36. Індексне зображення Оскільського водосховища за серпень 2023 року

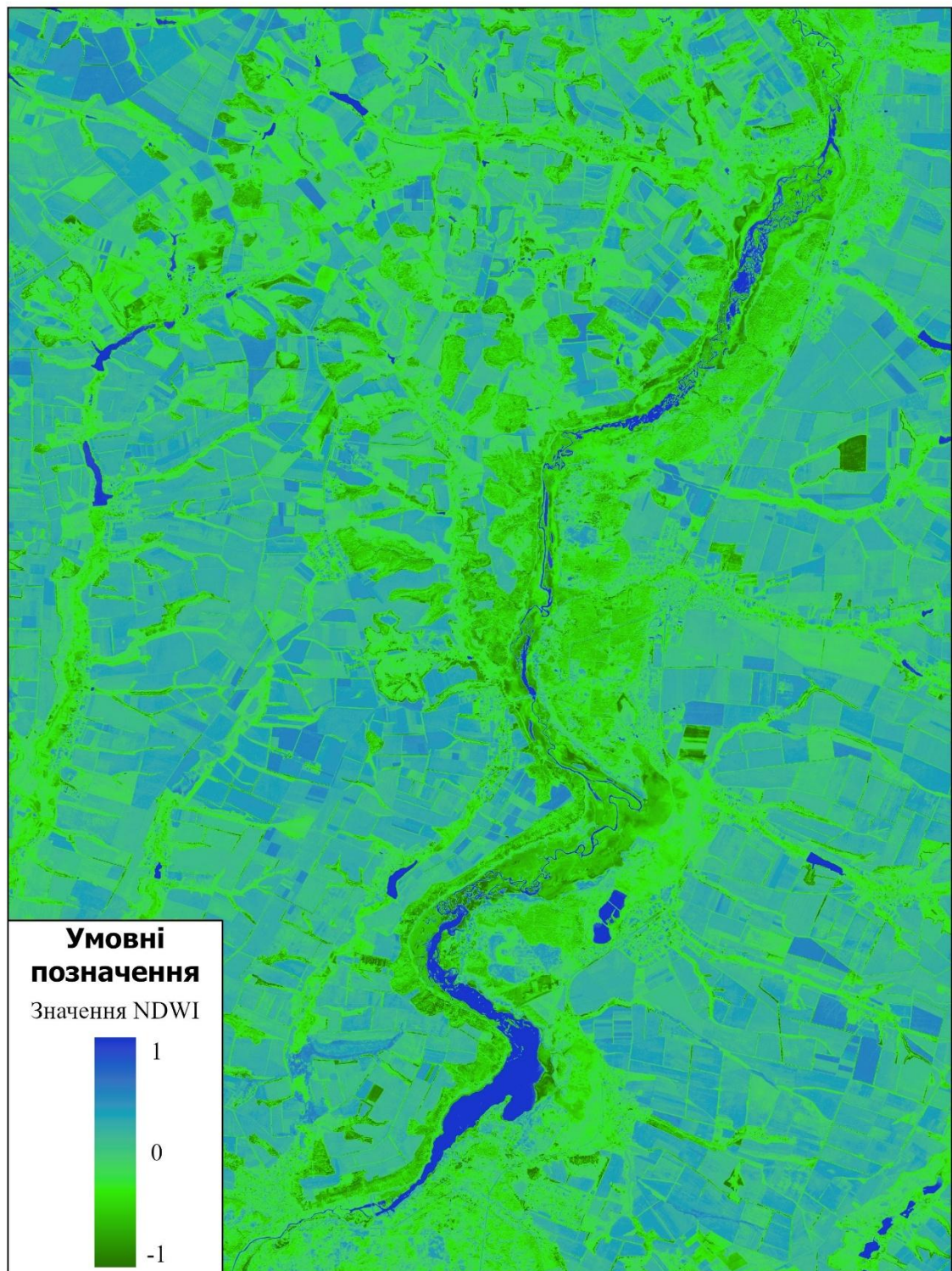
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ВЕРЕСЕНЬ 2023 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.37. Індиксне зображення Оскільського водосховища за вересень 2023 року

**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЖОВТЕНЬ 2023 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.38. Індиксне зображення Оскільського водосховища за жовтень 2023 року

**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЛИСТОПАД 2023 РОКУ**

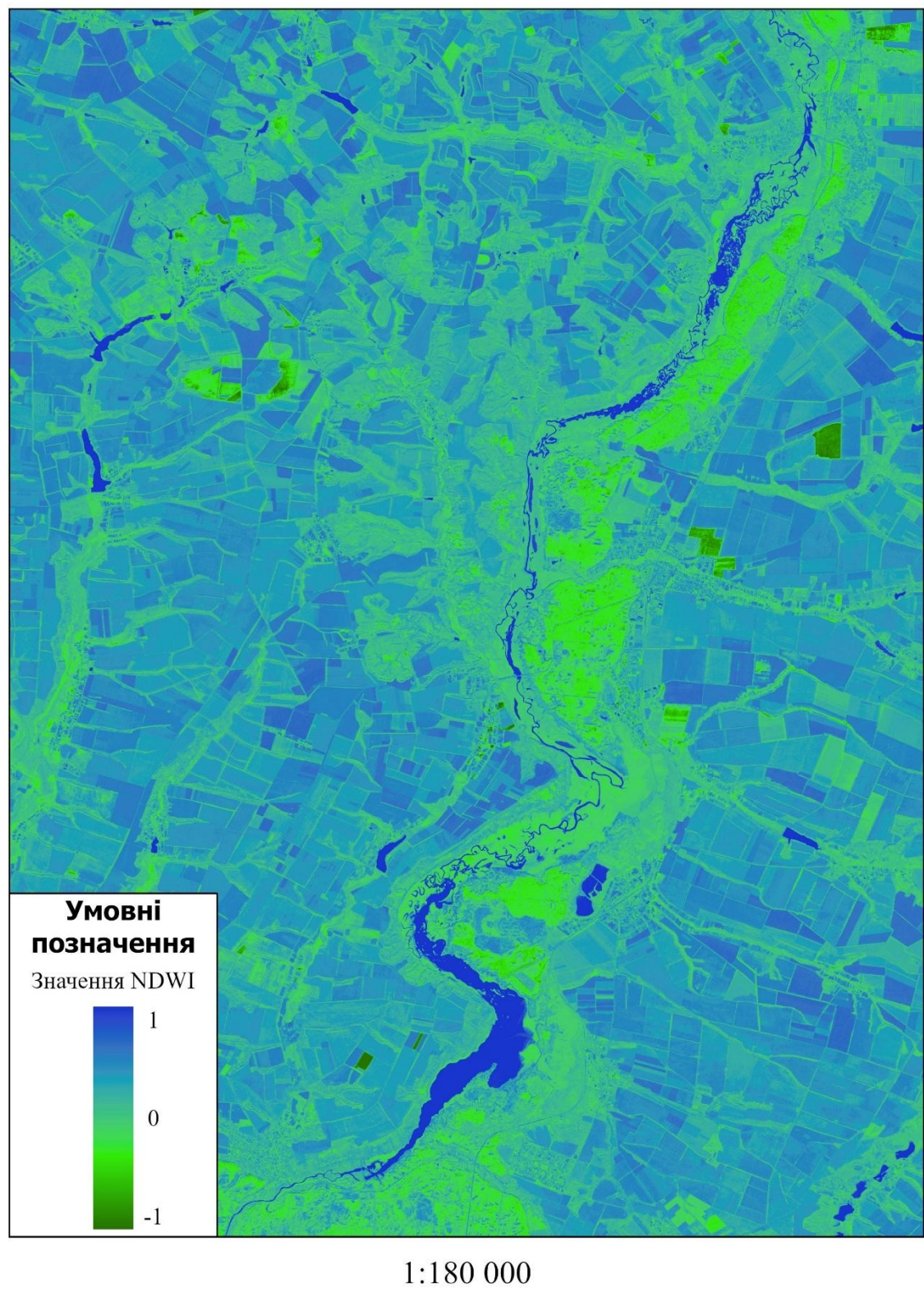
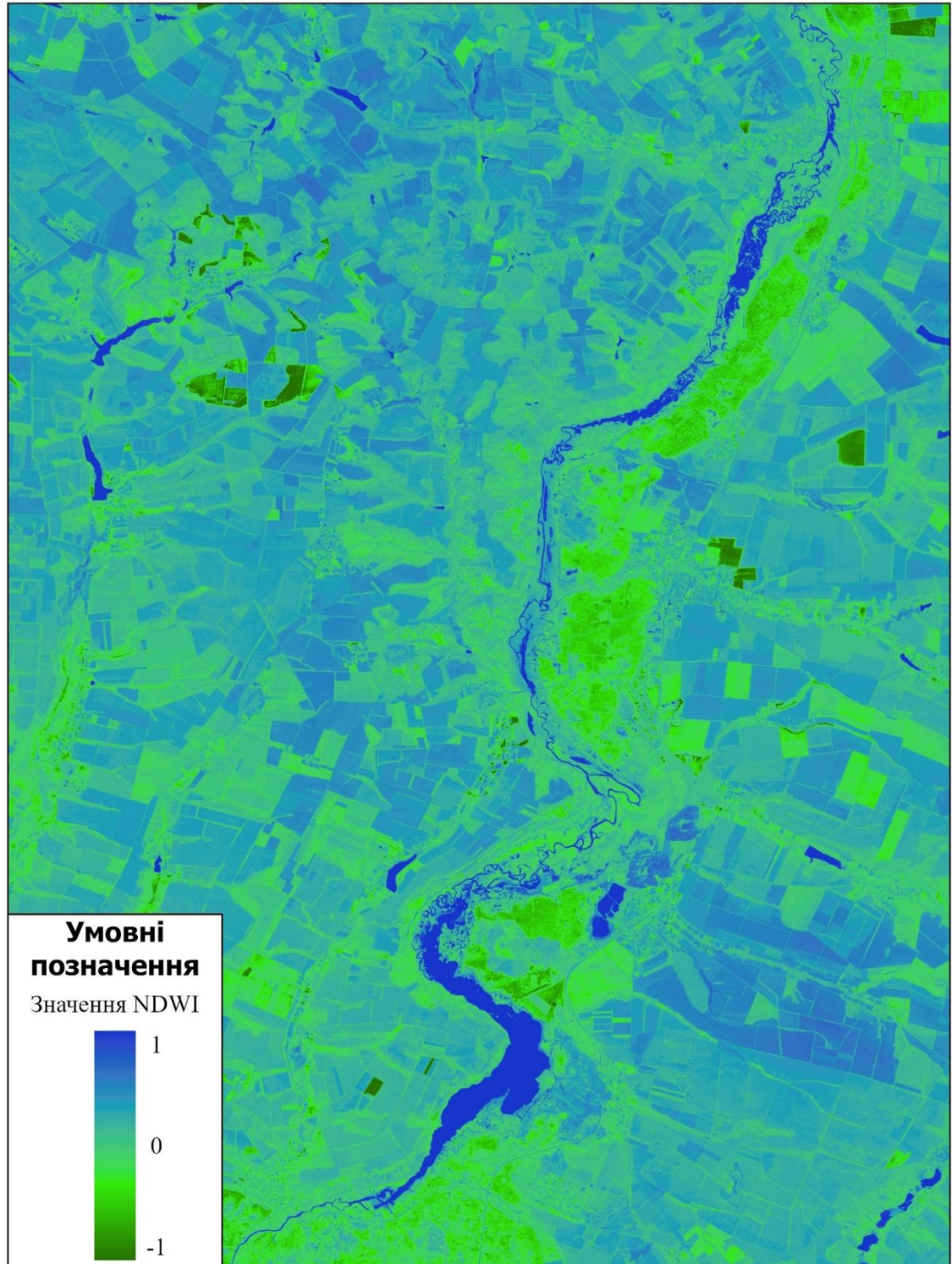


Рис. 3.39. Індиксне зображення Оскільського водосховища за листопад 2023 року

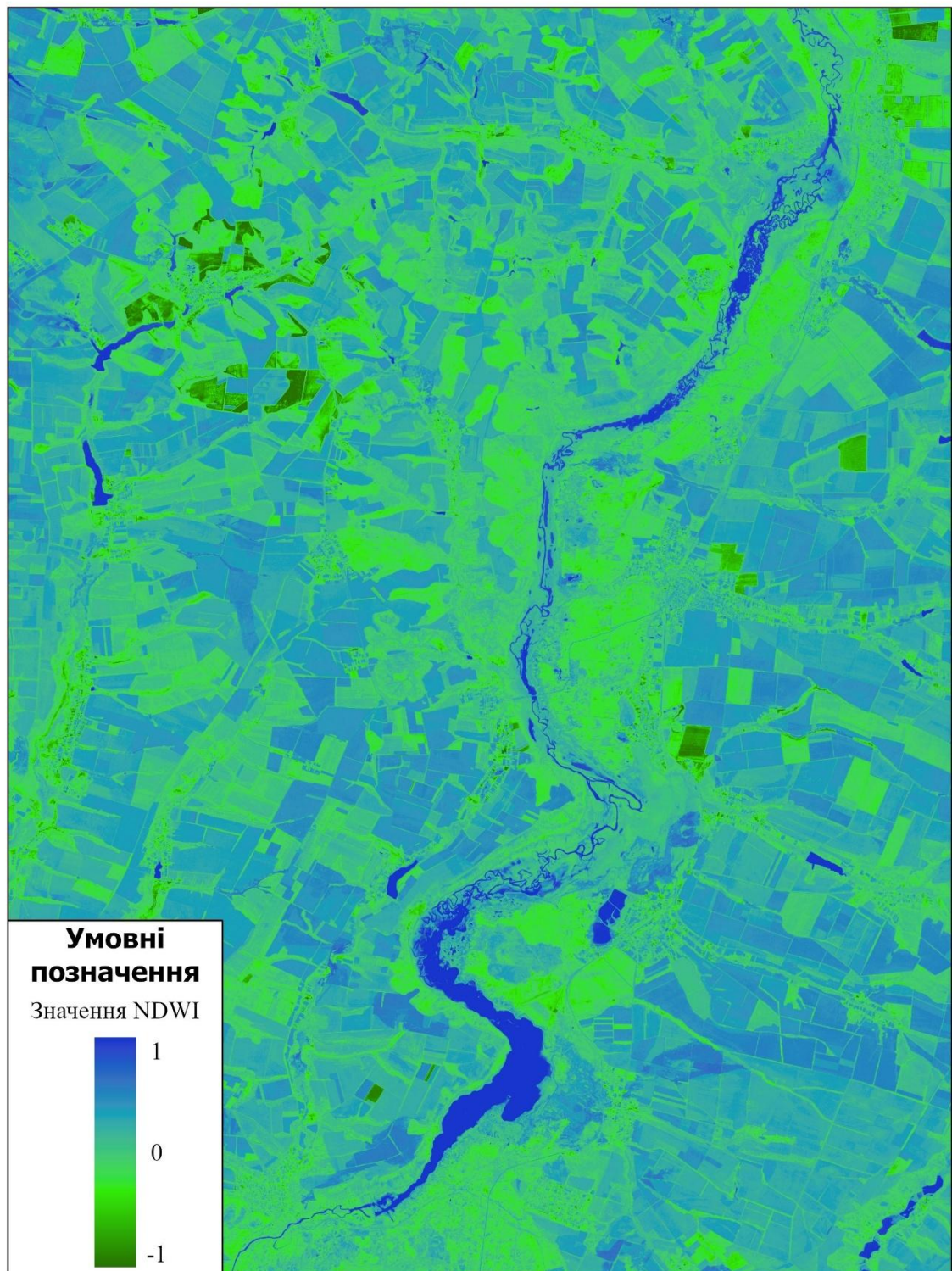
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА БЕРЕЗЕНЬ 2024 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.40. Індексне зображення Оскільського водосховища за березень 2024 року

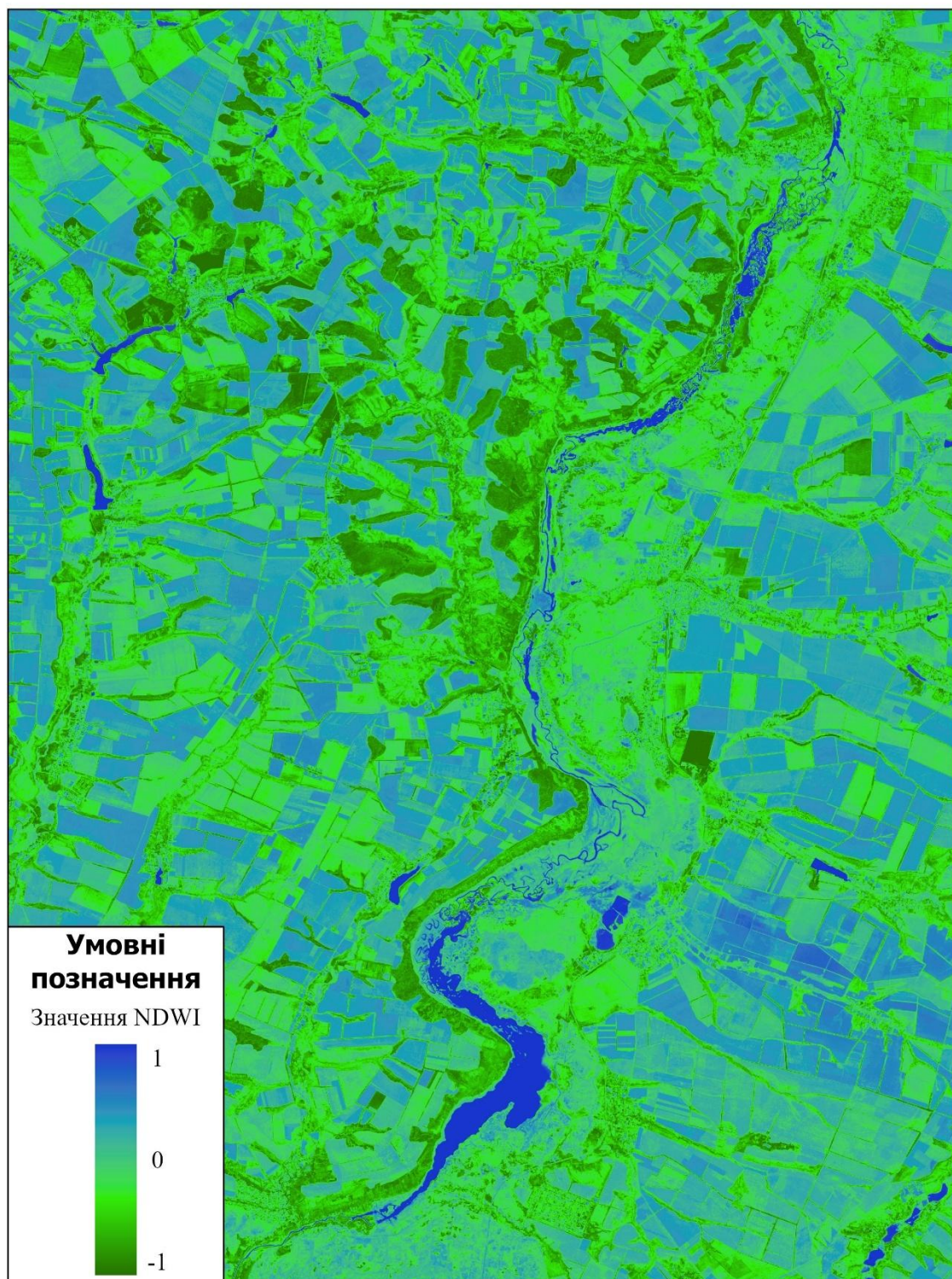
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА КВІТЕНЬ 2024 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.41. Індексне зображення Оскільського водосховища за квітень 2024 року

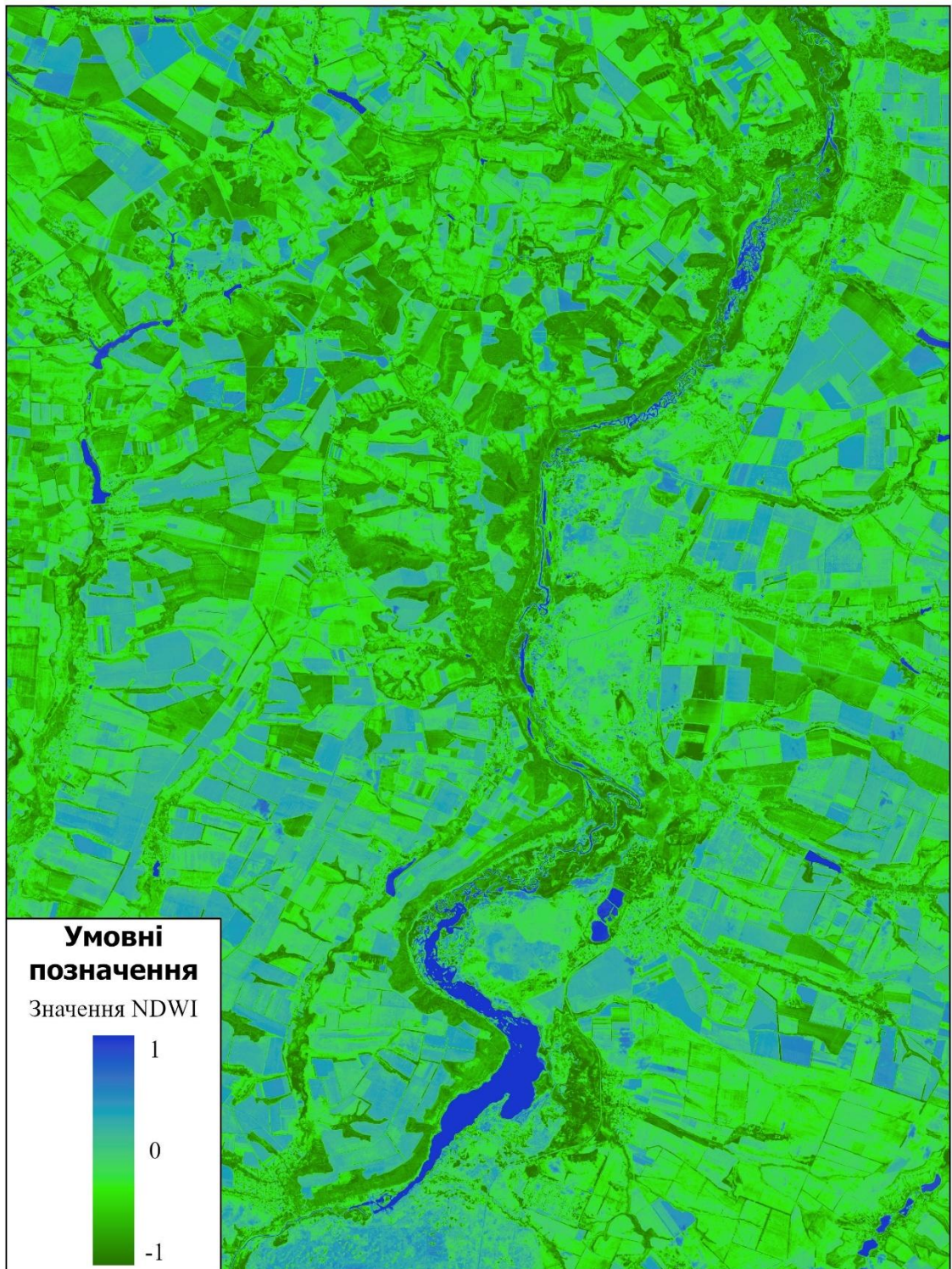
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ТРАВЕНЬ 2024 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.42. Індексне зображення Оскільського водосховища за травень 2024 року

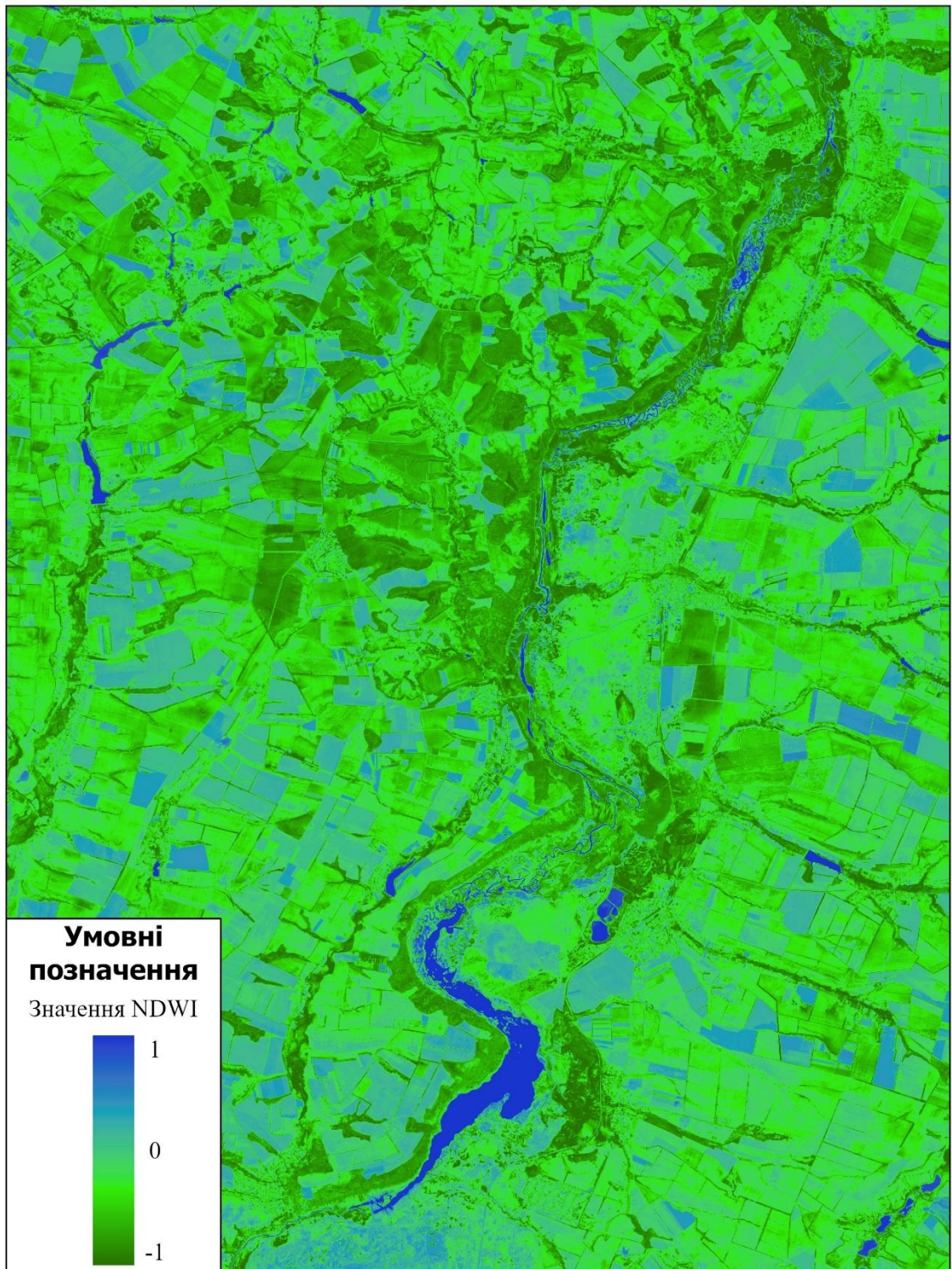
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЧЕРВЕНЬ 2024 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.43. Індексне зображення Оскільського водосховища за червень 2024 року

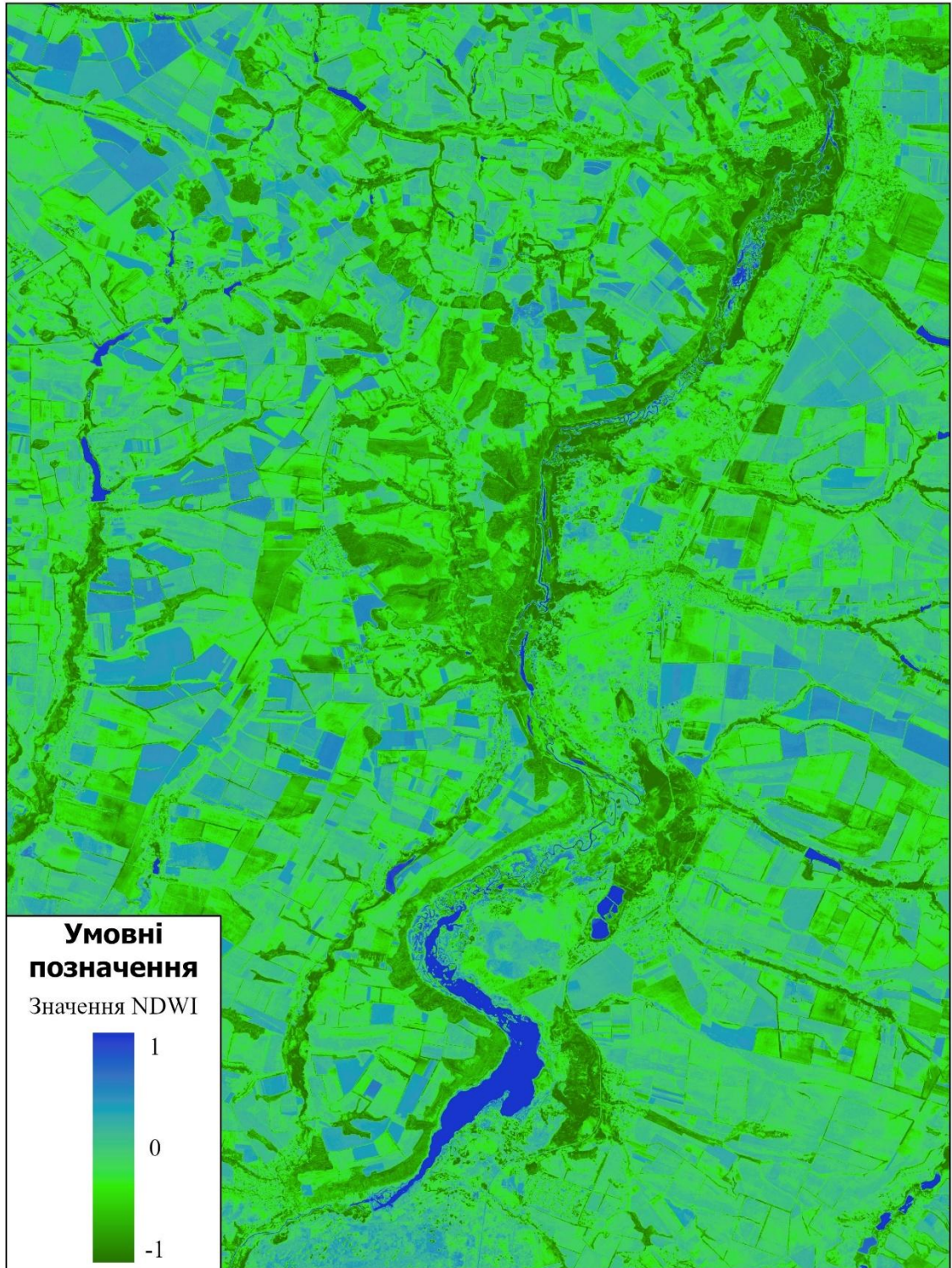
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЛИПЕНЬ 2024 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.44. Індексне зображення Оскільського водосховища за липень 2024 року

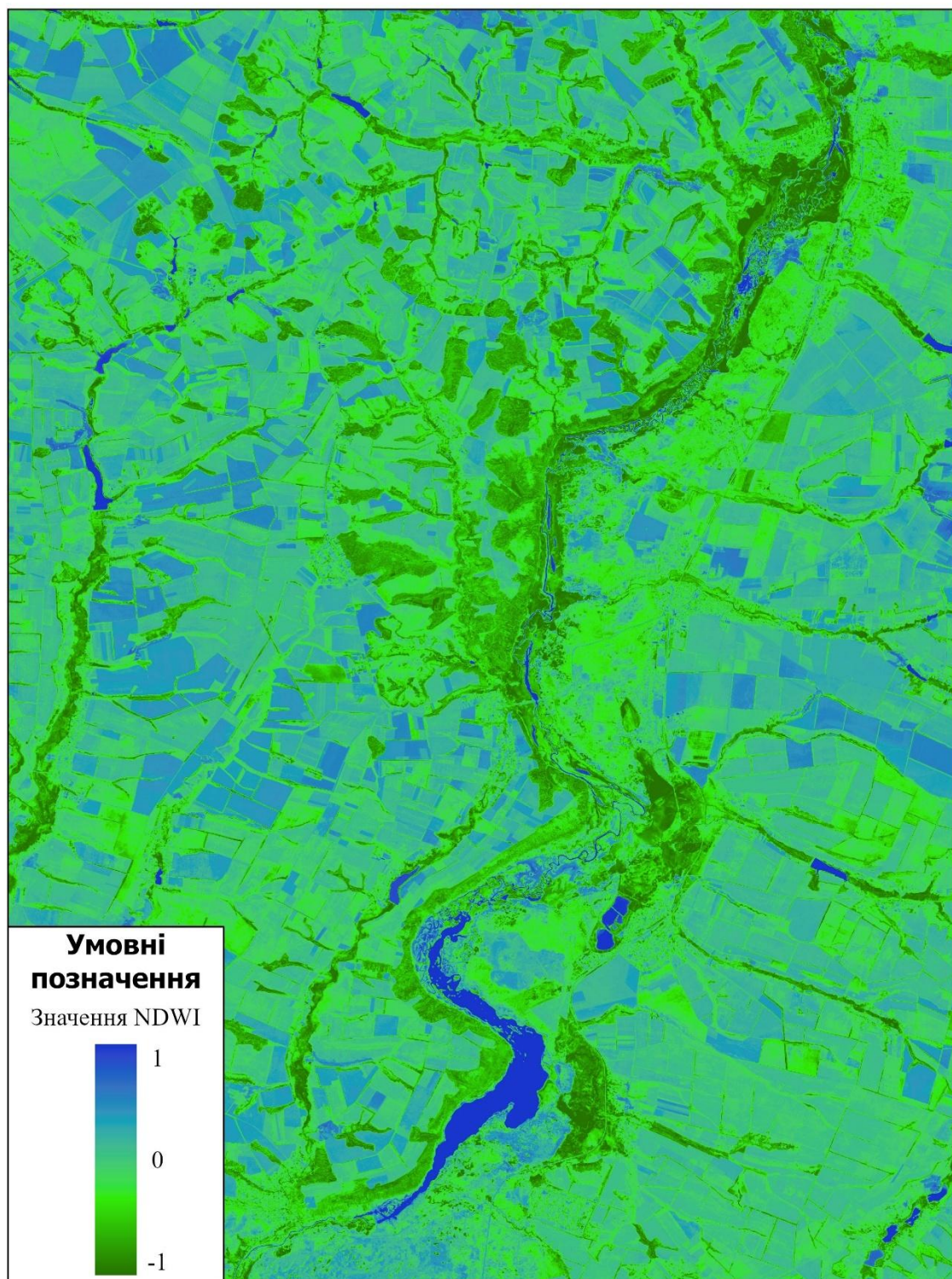
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА СЕРПЕНЬ 2024 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.45. Індексне зображення Оскільського водосховища за серпень 2024 року

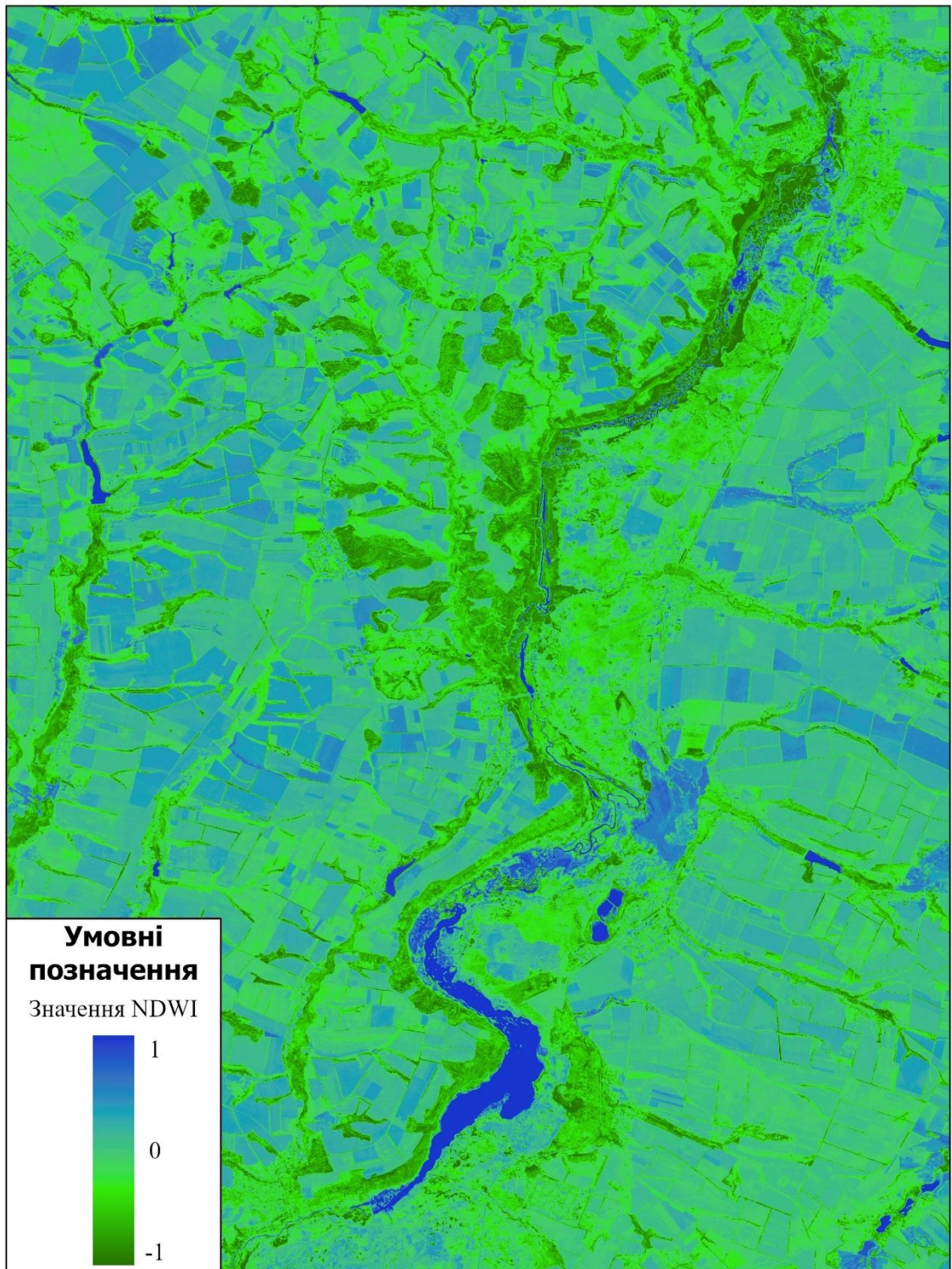
**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ВЕРЕСЕНЬ 2024 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.46. Індиксне зображення Оскільського водосховища за вересень 2024 року

**ІНДЕКСНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА
ЗА ЖОВТЕНЬ 2024 РОКУ**



1:180 000

Рис. 3.47. Індексне зображення Оскільського водосховища за жовтень 2024 року

ВИСНОВКИ

У результаті виконаних досліджень було зроблено такі висновки:

1. Оскільське водосховище з моменту свого створення виконувало головну роль у водному забезпеченні промислових та сільськогосподарських районів південного сходу України. Завдяки значним гідрометричним показникам – площі водного дзеркала у 122,6 км², довжині 84,6 км і загальному об'єму води 474,3 млн м³ – воно стало одним із найпотужніших штучних водойм Харківської області. Протягом тривалого часу водосховище ефективно накопичувало паводкові води, синхронізувалося з роботою каналу Сіверський Донець – Донбас і забезпечувало стабільний гідрологічний режим. Його сезонне функціонування було тісно пов'язане з кліматичними особливостями регіону – весняне танення снігу сприяло наповненню, а літнє випаровування і водозабір знижували рівень води. Все це засвідчує складну, але збалансовану систему водокористування.

Руйнування гідротехнічної споруди у квітні 2022 року призвело до глибокої трансформації водного режиму Оскільського водосховища і стало точкою перелому у функціонуванні всієї гідросистеми. Раптовий скид понад 80% води спричинив різке зменшення площі водного дзеркала, яке з суцільної заплави перетворилось на низку ізольованих заплавлених водойм. Унаслідок втрати гідрологічної цілісності загинула значна частина фауни, деградували прибережні біотопи, а територія водосховища почала заростати луговою і болотяною рослинністю. Таким чином, водосховище втратило свій стратегічний статус і перейшло в стан адаптивного функціонування, що потребує нових підходів до управління водними ресурсами.

2. У ході роботи було проаналізовано три основні типи дистанційних методів: оптичні, радарні та лідарні. Кожен із них має свої особливості – радарні знімки є незалежними від погодних умов і освітленості, що робить їх придатними для безперервного моніторингу; лідарні технології забезпечують надзвичайно точну оцінку мікрорельєфу та висотного профілю території, однак потребують

спеціальних умов знімання; оптичні методи дозволяють працювати з мультиспектральною інформацією та розраховувати різні індекси. Саме оптичні дані були використані у даному дослідженні, а саме знімки Sentinel-2. Вони забезпечили достатню просторову деталізацію для аналізу водної поверхні, хоча в окремі періоди проведення обчислень було ускладнене через високу хмарність, що обмежувала повноту та регулярність даних.

3. Обробка зображень Sentinel-2 у середовищі ArcGIS Pro з подальшим застосуванням порогового значення $NDWI > 0.3$ дала змогу виокремити ділянки водної поверхні та створити векторизовані шари. В результаті для кожного місяця у період 2021-2024 років були розраховані площі водного дзеркала в квадратних кілометрах. Водночас частина супутникових знімків була непридатною до використання через наявність хмарного покриву, або ж, поверхня водойми була вкрита льодом, що вимагало виключення окремих місяців із розрахунків.

4. Порівняння змін водної поверхні Оскільського водосховища упродовж 2021–2024 років дало змогу виявити як кількісні коливання, так і просторові зрушення, що відбулися під впливом гідротехнічної катастрофи та подальших природних процесів. У 2021 році водосховище функціонувало у стабільному сезонному режимі з типовими для великих водойм коливаннями: площа досягала максимуму $82,3 \text{ км}^2$ у липні, а до листопада зменшувалася до $74,9 \text{ км}^2$. У 2022 році внаслідок руйнування гідротехнічної споруди спостерігалось скорочення водної поверхні з 87 км^2 у березні до 32 км^2 у квітні, а в жовтні площа досягла мінімального значення $23,67 \text{ км}^2$. У наступні роки інтенсивність змін знизилася: у 2023-2024 роках площа коливалась у значно вужчих межах, з незначним сезонним приростом навесні та поступовим спадом восени. Просторово, водне дзеркало зберігалось переважно в межах природного русла річки, тоді як прибережні ділянки, які раніше були затопленими, залишаються сухими або частково заболоченими. Така динаміка вказує на втрату штучної водної цілісності, стабілізацію нового гідрологічного режиму та формування трансформованого водного ландшафту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Без адміністративних кордонів: Як руйнування греблі на Харківщині висушує Донецьку область. *Новини Донбасу*. URL : <https://novosti.dn.ua/> (дата звернення : 02.01.2025).
2. Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи : матеріали щорічної міжнар. наук. конф. студентів та аспірантів, присвяченої пам'яті Г. П. Дубинського, Харків, 10 квітня 2025 року / Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. Харків : ХНУ, 2025. 88–90 с.
3. Клименко В. Г. Загальна гідрологія : навчальний посібник для студентів / В. Г. Клименко. – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2018. – 55 с.
4. Критська Я. О., Білобородова Т. О. Дослідження методів обробки та аналізу геопросторових зображень для віддаленого моніторингу поверхневих вод. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2022. № 1. С. 11–17.
5. Лідар-зйомка: що це таке і як працює?. *Мірничий*: вебсайт. URL : <https://mirnychuj.com.ua/без-рубрики/lidar-zjomka-shho-ce-take-i-yak-pracyuye/> (дата звернення : 23.02.2025).
6. Національна бібліотека України ім. В. Вернадського НАН України : офіційний вебсайт. URL : <http://www.nbuv.gov.ua> (дата звернення: 10.04.2025)
7. Про засудження комуністичного та націонал-соціалістичного (нацистського) тоталітарних режимів в Україні та заборону пропаганди їхньої символіки : Закон України від 09.04.2015 № 317-VIII/ Верховна Рада України. Київ : Парлам. вид-во, 2004. 18 с. (Бібліотека офіційних видань).
8. Річка Оскіл: історія, природа, цікаві факти. *Інформаційно-аналітичний, культурно-просвітницький портал*: вебсайт. URL : <https://spadok.org.ua> (дата звернення : 15.02.2025).

9. Формула індексу NDWI, інтерпретація даних, застосування. *EOS Data Analytics*: вебсайт. URL : <https://eos.com/uk/make-an-analysis/ndwi/> (дата звернення : 16.02.2025).

10. Хандогіна О. В., Дядін Д. В. Оцінка стану природних вод за допомогою методів дистанційного зондування Землі // Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. 2024. 41 с. URL : <https://eprints.kname.edu.ua/65991.pdf>. (дата звернення : 23.04.2025).

11. Червонокнижні птахи, нові екосистеми та купа озер: як живе колишнє Оскільське водосховище через рік після руйнування. *Рубрика*: вебсайт. URL : <https://rubryka.com/article/> (дата звернення : 23.02.2025).

12. Шелковська І. М. Визначення зміни положення берегової лінії та площі водосховища за даними дистанційного зондування / І. М. Шелковська // Містобудування та територіальне планування. 2015. Вип. 55. С. 334-467.

13. Як на колишньому Оскільському водосховищі, де росіяни торік зруйнували греблю, відновлюється природа. *Журналістика даних для людей*: вебсайт. URL : <https://texty.org.ua/fragments/110308/> (дата звернення : 05.04.2025).

14. Abdallah H. Potential of Space-Borne LiDAR Sensors for Global Bathymetry in Coastal and Inland Waters. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2013. Vol. 6. №1. P. 202–216.

15. Alsdorf D. E., Rodríguez E., Lettenmaier D. P. Measuring surface water from space. *Reviews of Geophysics*. 2007. Vol. 45. №3-4. P. 51–65.

16. Automated Water Extraction Index (AWEI). URL : <https://www.space4water.org/taxonomy/term/1316> (дата звернення : 13.03.2025).

17. Chen F. Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2020. Vol. 242. №2. P. 1117.

18. Copernicus Browser. URL : <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> (дата звернення : 22.02.2025).

19. Fairley I. E., Thomas T. M., Phillips M. E. Terrestrial Laser Scanner Techniques for Enhancement in Understanding of Coastal Environments. *Seafloor Mapping along Continental Shelves*. 2016. P. 273–289.
20. Fitch J. P. Radar Processing. *Synthetic Aperture Radar*. New York, 1988. P. 1–32.
21. Fusion of SAR, Optical Imagery and Airborne LiDAR for Surface Water Detection. *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9. №3. P. 890.
22. Gao B. C. NDWI normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 1996. Vol. 58. №14. P. 257–266.
23. Hapsari A. S., Haryati A. N. Analisa Perubahan Garis Pantai di Kabupaten Indramayu Menggunakan NDWI. *Jurnal Perikanan Unram*. 2024. Vol. 14. P. 1338–1349.
24. Ihao J. Improved Model for Depth Bias Correction in Airborne LiDAR Bathymetry Systems. *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9. №1. P. 710.
25. Ji L., Zhang L., Wylie B. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2009. Vol. 75. P. 1307–1317
26. Kerfoot W. Light Detection and Ranging and Multispectral Scanner Studies Examine Coastal Environments Influenced by Mining . *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2014. Vol. 3. №12. P. 66–95.
27. Kristine B. M. Remote Sensing of Wetlands. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 1983. P. 383–392.
28. Leblanc T., Trickl T., Vogelmann H. Lidar. *Monitoring Atmospheric Water Vapour*. New York, 2012. P. 113–158.
29. M. A. Gomasasca. Analysis of seasonal variation in the Niger River interior delta using satellite data / M. A. Gomasasca. *Geocarto International*. 1992. Vol. 7. №3. P. 61–73.

30. Mcfeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*. 1996. Vol. 17. №33. P. 1425–1432.
31. Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). URL : <https://www.space4water.org/taxonomy/term/1246> (дата звернення : 13.03.2025).
32. NDWI-ArcGIS Pro. Documentation. URL : <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/arcpy/image-analyst/ndwi.htm> (дата звернення : 13.01.2025).
33. Operational Surface Water Detection and Monitoring Using Radarsat. URL : <https://doi.org/10.3390/rs8040285> (дата звернення : 12.01.2025).
34. Paris J. F. Remote Sensing Applications for Freshwater Systems. *Global Climate Change and Freshwater Ecosystems*. New York, 1992. P. 261–284.
35. Rad A. M., Kreitler J., Sadegh M. Augmented Normalized Difference Water Index for improved surface water monitoring. *Environmental Modelling & Software*. 2021. Vol. 140. №1. P. 105.
36. Should the Oskil Reservoir be rebuilt after the war?. URL : <https://uwecworkgroup.info/should-the-oskil-reservoir-be-rebuilt-after-the-war/> (дата звернення : 13.03.2025).
37. Singh S., Prasad B., Tiwari H. L. Sedimentation analysis for a reservoir using remote sensing and GIS techniques. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 2021. P. 1–9.
38. S. Martinis. Comparing four operational SAR-based water and flood detection approaches / S. Martinis. *International Journal of Remote Sensing*. 2015. Vol. 36. №45. P. 3519–3543.
39. Synthetic Aperture Radar (SAR). URL : <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/earth-observation-data-basics/sar> (дата звернення : 02.03.2025).
40. The United States Geological Survey National Research Program: GSTL Bathymetric LiDAR. URL : <https://wwwbr.cr.usgs.gov/gstl/project-lidar.html> (дата звернення : 03.05.2025).

41. Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery. URL : <https://doi.org/10.3390/rs6054173> (дата звернення : 07.02.2025).
42. Water Monitoring using SAR. URL : <https://www.gfz.de/en/section/remote-sensing-and-geoinformatics/topics/> (дата звернення : 23.03.2025).
43. W. C. Kerfoot. Coastal Ecosystem Investigations with LiDAR and Bottom Reflectance: Lake Superior Reef Threatened by Migrating Tailings. *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11. №2. P. 1076.
44. Wontgomery J. S. Wetland hydroperiod classification in the western prairies using multitemporal synthetic aperture radar. *Hydrological Processes*. 2018. Vol. 32. №21. P. 1476–1490. URL : <https://doi.org/10.1002/hyp.11506> (дата звернення : 18.02.2025).
45. What is lidar?. URL : <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> (дата звернення : 13.04.2025).
46. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27. №14. P. 3025–3033.
47. Zhao Z. The PCA-NDWI Urban Water Extraction Model Based on Hyperspectral Remote Sensing. *Water*. 2024. Vol. 16. №4. P. 963.