

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету захисту
рослин, біотехнологій та екології

_____ **Юлія КОЛОМІЄЦЬ**
(підпис)
«___» _____ 2026_ р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри екології
агросфери та екологічного контролю

_____ **Олена НАУМОВСЬКА**
(підпис)
«___» _____ 2026_ р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему : «Геоінформаційний моніторинг водних екосистем»

Спеціальність «101 Екологія»

Освітньо-професійна програма «Екологія»

Гарант освітньої програми

доктор педагогічних наук, професор

_____ **Володимир БОГОЛЮБОВ**
(підпис)

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

канд. с-г наук., доцент

_____ **Марина ЛАДИКА**
(підпис)

Виконав

_____ **Максим КУБРАК**
(підпис)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
екології агросфери та екологічного контролю
канд. с.-г. наук, доцент _____ Олена НАУМОВСЬКА
«____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ

Кубраку Максиму Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 101 «Екологія»
Освітньо-професійна програма «Екологія»
Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «**Геоінформаційний
моніторинг водних екосистем**»

затверджена наказом від «27» 10 2025 р. №2537 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру «30» травня 2026 р.
Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:
оформлення роботи відповідно до діючого «Положення про виконання
бакалаврської кваліфікаційної роботи», а роботу оформити у вигляді таблиць,
графіків, фотографій.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Проаналізувати теоретичні основи сучасного моніторингу водних екосистем.
 2. Дослідити методи та програмне забезпечення ГІС досліджень в Україні.
 3. Провести аналіз супутникових знімків.
 4. Оцінити стан водного об'єкта.
 5. Здійснити побудову цифрової карти.
- Перелік графічних документів (за необхідності).
Дата видачі завдання «30» червня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Марина ЛАДИКА
(прізвище та ініціали)

Завдання взяв до виконання

(підпис)

Максим КУБРАК
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему «Геоінформаційний моніторинг водних екосистем» виконана на 62 сторінках друкованого комп'ютерного тексту та містить вступ, три розділи, висновки, 40 рисунків і 2 таблиці. Перелік використаних джерел літератури та інтернет посилань становить 54 найменування.

Мета роботи полягала у структуруванні інформації, систематизація знань та розширення навичок щодо вирішення ефективного моніторингу водних екосистем за допомогою геоінформаційних технологій.

Об'єктом досліджень були водні екосистеми, в тому числі озера Світязь та шацьких озер України, що складаються з поверхневих водних об'єктів, прибережних територій та пов'язані природними компонентами.

Предметом досліджень були методи та інструменти геоінформаційного моніторингу стану водних екосистем, в тому числі для аналізу просторових даних і змін у часі шляхом візуалізації та обробки геоінформаційних даних.

У результаті досліджень встановлено, що за допомогою ГІС технологій можливо здійснити моніторинг водного об'єкта, дослідити стан, часові зміни, антропогенне навантаження, здійснити візуалізацію та аналіз даних, побудову цифрової карти. Слід відмітити, що значне антропогенне навантаження на озеро Світязь несе рекреаційна діяльність. Озеро знаходиться у межах значної забудови населених пунктів. Навколо наявна сільськогосподарська діяльність, що також негативно впливає на стан водойми.

Перелік ключових слів: ГІС, ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ, СВІТЯЗЬ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ВОДНОГО ОБ'ЄКТА, ЦИФРОВА КАРТА, АНТРОПОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ПРОСТОРОВІ ЗМІНИ ЕКОСИСТЕМИ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ.....	8
1.1. Екологічні проблеми водних ресурсів України.....	8
1.2 Моніторинг водних екосистем	10
1.2.1. Нормативно-правова база екологічного моніторингу вод	10
1.2.2. Основні види моніторингу та показники стану водних екосистем.....	11
1.3. Використання геоінформаційних систем у екологічному моніторингу.....	13
1.3.1 Геоінформаційні системи: сутність, принципи та функції у дослідженнях об'єктів довкілля	13
1.3.2. Особливості застосування ГІС у водному моніторингу.....	15
1.4. Методи дистанційного зондування Землі в дослідженні екологічного стану водних об'єктів	16
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	19
2.1. Характеристика території дослідження.....	19
2.2. Методологічні підходи до дослідження водних екосистем засобами ДЗЗ та ГІС	22
2.2.1. Використання дистанційного зондування землі у вивченні водних об'єктів	22
2.3. Джерела даних: супутникові знімки, наземні спостереження.....	25
2. 4.. Методи обробки та аналізу геоданих у ГІС	29
2.5. Програмне забезпечення для ГІС-досліджень (ArcGIS, QGIS, Google Earth Engine).	31
2.6. Візуалізація та інтерпретація просторових даних.	33
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ... (на прикладі озера Світязь).....	39
3.1. Візуалізація джерел антропогенного навантаження поблизу водного об'єкта	39
3.2. Збір та підготовка вихідних даних для аналізу (космічні знімки за різні періоди)	48
3.4. Створення цифрової карти водної екосистеми.....	54
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:	59

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГІС – Геоінформаційна система

QGIS -Quantum Geographic Information System

США -Сполучені Штати Америки

ДСТУ - Державний стандарт України

ISO/IEC - International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission (Міжнародна організація зі стандартизації / Міжнародна електротехнічна комісія)

ЄС - Європейський Союз

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

AIRS - Atmospheric Infrared Sounder

NDWI - Normalized Difference Water Index

MNDWI - Modified Normalized Difference Water Index

AWEI - Automated Water Extraction Index

БПЛА - безпілотний літальний апарат

Google Earth Pro - професійна версія програми Google Earth для роботи з геоданими та супутниковими знімками

ДЗЗ - дистанційне зондування Землі.

ВСТУП

На даний час усе більшого значення набуває екологічна безпека у різних регіонах України.

Актуальність теми обумовлена значним погіршенням екологічного стану водних екосистем, пов'язаним як з військовими діями, так і збільшенням рекреаційного навантаження на водні об'єкти у відносно безпечному тилу.

У зв'язку з постійними обстрілами України, важливо повноцінно здійснювати моніторинг водних екосистем та змін водних об'єктів, витрачаючи мінімум ресурсів.

На даний час ключову роль відіграють геоінформаційні системи, які дозволяють здійснювати постійне спостереження за станом водних екосистем.

У сучасних умовах екосистема озера Світязь зазнає суттєвого впливу природних і антропогенних чинників. Серед основних загроз виділяють зміни клімату, коливання рівня ґрунтових і поверхневих вод, рекреаційне навантаження, процеси евтрофікації, погіршення якості води та трансформацію прибережних територій. Вказані процеси можуть призводити до порушення екологічної рівноваги водойми, зменшення біорізноманіття та погіршення екологічного стану території.

Дослідження можливостей застосування ГІС-технологій для моніторингу озера Світязь є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки дозволить забезпечити ефективне спостереження за станом водної екосистеми, своєчасно виявити екологічні зміни та сприяти збереженню природної спадщини України.

РОЗДІЛ І. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

1.1. Екологічні проблеми водних ресурсів України

Водні ресурси – це надзвичайно важливі стратегічні природні ресурси, які мають цінність і значення [1].

Наша країна за показником забезпечення водними ресурсами займає одне з останніх місць серед європейських країн. Тисяча кубометрів стоку в рік припадає на одного жителя. Це надзвичайно мало. До прикладу, такий же показник складає 94,3 тисяч кубічних метрів у Канаді, 7,4 тисяч кубічних метрів у США та 1,9 тисяч кубічних метрів у Німеччині [2].

Складнощі викликає той факт, що основна частина водних ресурсів – це транзитний річковий потік: 76,6 % вод надходить із сусідніх країн, а 23,4 % утворюється в межах України. Річки, озера, водосховища, ставки, канали тощо займають лише 24,2 тис. кв. км. (4,0% від загальної території 603,7 тис. кв. км). Середнє значення густоти річкової мережі складає 0,34 км/кв. км. Запаси підземних вод також незначні, болота – наполовину осушені.

Переважна більшість запасів води збільшується завдяки опадам. У зв'язку з чим, аномальна спека останніми роками підсилює дефіцит води і відповідно її забруднення.

Однією з найголовніших проблем є забруднення водойм та непридатність їх до використання. Цьому сприяє негативний вплив змін клімату, зменшення водних ресурсів та рівня води у річках у посушливі періоди.

Україна має мережу річок, долин, балок та ярів із значними водотоками. Також є великі річки, такі як Дніпро, Дністер, Сіверський Донець, Південний Буг, Тиса, Інгулець тощо. Однак, протягом останніх років якість води у річках значно погіршується, а деяким з них загрожує зникнення. Малі річки непридатні як джерела питної води взагалі, а на даний час неможливе використання їх басейнів в цілому [3].

Останніми роками зростає кількість джерел забруднення водойм. До стічних вод додаються промислові відходи, хімічні добрива, витоки нафти, тверді відходи, теплове забруднення і атмосферне забруднення. Кожного року у водойми скидається біля 300 мільйонів кубометрів неочищених стоків, які сприяють масштабному цвітінню води, це також відбувається внаслідок аварій та потрапляння нафтопродуктів від незаконних скидів і атак агресора.

Агрохолдинги та фермерські господарства забруднюють відкриті водойми значною кількістю добрив, отрутохімікатів, гербіцидів, інсектицидів тощо, які змиваються з полів і потрапляють в поверхневі і підземні води.

Забруднення вод також здійснюється шляхом накопичення в ній нерозчинних домішок - сміття. Тверді частинки сміття зменшують прозорість води, погіршують смакові якості, знижують розвиток рослин, які знаходяться у воді, а також забивають зябра риб та інших водяних тварин та поступово роблять воду непридатною для споживання. До всього ж додається теплове забруднення внаслідок скидів у водойми підігрітих вод від теплових та атомних електростанцій [4].

Воду також викачують підприємства для оприскування сільськогосподарських полів під час внесення добрив. У зв'язку із значними розорюваннями заплав відбувається замулення річок та зменшення їх наповнення. Крім того, високому рівню забруднення сприяють військові дії.

Значні розвинуті промислові центри в країні розташовані біля річкових артерій. Господарська діяльність людей несе серйозні наслідки для дефіциту води. Внаслідок зношеності інфраструктури водопостачання та військових дій не вдається ефективно задовільнити потреби населення [5].

Використання води виключно як господарського ресурсу призвело до вичерпання природно-екологічного потенціалу водних ресурсів та негативного впливу на біорізноманіття.

Моніторинг поверхневих вод в Україні на державному рівні запровадився за європейськими стандартами лише з початку

євроінтеграційних процесів, моніторинг підземних вод взагалі не проводиться [6].

1.2 Моніторинг водних екосистем

1.2.1. Нормативно-правова база екологічного моніторингу вод

Конвенцією про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуська Конвенція), яка ратифікована в Україні, гарантовано право людей на доступ до інформації, для захисту прав людей на життя в оточуючому середовищі, яке сприяє здоров'ю і добробуту [7].

Статтею 22 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» передбачено, що в Україні з метою прийняття ефективних управлінських рішень, забезпечення збирання, обробки, збереження та аналізу інформації щодо стану навколишнього природного середовища, прогнозування змін та створення наукових рекомендацій діє система державного моніторингу навколишнього природного середовища [8].

Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 № 758 «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» однією зі складових державної системи моніторингу навколишнього середовища є моніторинг вод [9].

Державний моніторинг вод проводиться відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій» (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT).

Постановою Кабінету Міністрів України від 13.06.2024 № 684 «Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем» передбачено, що державний моніторинг вод здійснюється для прийняття управлінських рішень щодо використання, охорони вод і відтворення водних ресурсів, розробки наукових рекомендацій, збирання та

аналізу інформації на основі складових показників біологічних, гідроморфологічних, хімічних та фізико-хімічних [10].

Зокрема, варто виділити Директиву Європейського союзу 2010/75/ЄС про промислові викиди комплексне запобігання і контроль забруднень довкілля внаслідок їх здійснення [11].

Наказом Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України від 20.01.2025 № 84 затверджено Програму державного моніторингу вод на 2025 рік (у частині діагностичного моніторингу масивів підземних вод). На 2026 рік програма у процесі розробки.

Постановою Кабінету Міністрів України від 12.07.2024 № 815 «Про інформаційну взаємодію між автоматизованими інформаційними системами органів державної влади та загальнодержавною екологічною автоматизованою інформаційно-аналітичною системою забезпечення прийняття управлінських рішень та доступу до екологічної інформації та її мережі» інформаційна взаємодія в електронному вигляді здійснюється відповідно до Порядку [12].

Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України забезпечує належну організацію моніторингу довкілля, роботу загальнодержавної екологічної автоматизованої інформаційно-аналітичної системи «ЕкоСистема» шляхом забезпечення доступу громадян до екологічної інформації. Положення про Єдину екологічну платформу «ЕкоСистема» затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 11 жовтня 2021 року № 1065 (зі змінами та доповненнями) [13].

1.2.2. Основні види моніторингу та показники стану водних екосистем

Під моніторингом водних екосистем у загальному понятті розуміють спостереження та аналіз інформації щодо їх стану, а у подальшому – прогнозування змін та розроблення рекомендацій для місцевих органів влади та прийняття управлінських рішень, направлених на їх покращення.

Моніторинг поділяється на діагностичний, операційний та

дослідницький. Діагностичний проводиться для визначення впливів на стан вод та антропогенних чинників. Операційний – для масивів вод з яких здійснюється забір води для питних потреб людей та масивів, які потенційно можуть бути забруднені. Дослідницький – з метою встановлення причин забруднення поверхневих вод, в тому числі внаслідок аварій. Здійснюються уповноваженими органами виконавчої влади, які самостійно визначають пункти моніторингу та періодичність вимірювання показників [14].

Для моніторингу поверхневих вод здійснюють дослідження змін якості води, аналізують їх динаміку. Також під час спостереженнями за водоймами та водотоками здійснюють аналіз джерел забруднення, результати спостережень порівнюють із наявними даними природного стану та наявністю хімікатів [15].

Проби води характеризують якість водної екосистеми протягом певного часу. Для того, щоб повноцінно оцінити стан водної екосистеми фахівці вдаються до поодинокого або періодичного відбору. Поодинокий відбір здійснюють у випадку, якщо вимірювальні параметри майже не змінюються у просторі водойми і у часі (глибина, водне плесо), змін параметрів відома та прогнозована, необхідні лише загальні уявлення щодо якості води у водному об'єкті. Місце де періодично відбираються проби не рекомендується змінювати. Але умови і способи відбору води можуть змінюватися [16].

Інструментальні (фізичні) методи аналізу – це визначені обрахунками аналітичні методи. Для використання таких методів потрібно використовувати електрохімічну, оптичну, радіохімічну та інші апаратури. Найбільш ефективними вважають ультрафіолетову та інфрачервону спектроскопії, ядерний магнітний резонанс, які використовують для встановлення властивостей і структури складних органічних речовин [17].

Аналіз води є надзвичайно важливим показником екологічного стану водного об'єкта. До параметрів досліджень відносять температуру води, прозорість, наявність розчинених сполук і зважених речовин, глибину,

характер дна і берегів водойми тощо.

Колір і запах води є показниками, що характеризують наявність того чи іншого забруднення, водночас прозорість – протікання біологічних процесів.

Розповсюдженими є також методи біоіндикації моніторингу водних об'єктів, основні завдання яких - визначення рівня забруднення верхнього шару води та вплив цього на популяцію, внаслідок – придатності до водокористування. Переваги біоіндикаційних методів перед хімічними полягають у невисокій вартості, незначній необхідності підготовки фахівців та відсутності негативного впливу на водойму.

З метою здійснення оцінки якості поверхневих вод використовують біологічні системи різних таксономічних категорій. Живі організми реагують на дію токсичних чинників здатністю до мутацій, хімічних змін у складі клітин, розмірів, морфологічних показниках, зміни рівня активності, структурно-функціональній характеристиці та розмірах клітин, морфологічних показниках, частоті, характеру мутацій та канцерогенезу. Якщо біологічні індикатори мають нижчий ранг, то більш точними будуть результати впливу екологічних факторів на компоненти водного природного середовища.

Оцінка за методами біоіндикації встановлює токсичний вплив 80% хімікатів на водне середовище. Країни західної Європи виконують токсичну оцінку якісного стану гідрологічних систем шляхом використання раків та риб із різними факторами витривалості до дії токсинів. На сучасному етапі прості методи майже повністю замінені на інструментальні методи.

1.3. Використання геоінформаційних систем у екологічному моніторингу

1.3.1 Геоінформаційні системи: сутність, принципи та функції у дослідженнях об'єктів довкілля

За визначенням Berry J. геоінформаційні системи – автоматизовані просторові системи для управління даними, картографічним відображенням і аналізом. Конеспу М. вважав, що геоінформаційні системи складаються з

людей, технічних і організаційних пристроїв, що здійснюють збір, передачу, введення і обробку даних з метою створення інформації, яка зручна для подальшого використання в географічному дослідженні і практичному застосуванні [18].

У сучасному розумінні еколога географічні інформаційні системи - це комп'ютерні технології для забезпечення аналізу, моделювання, картографування та управління екологічними ризиками і процесами. Це основні їх функції. Вже більше 30 років геоінформаційні системи набули широкого розвитку, наразі вони допомагають розширювати і збільшувати географічні знання, накопичувати та використовувати геопросторові дані [19].

Цифрова карта – це цифрове відображення карт з картографічними даними, яка створюється з повним виконанням нормативів, точності, системи умовних позначень і входять до складу картографічної бази даних, служать основою для виготовлення звичайних паперових, комп'ютерних електронних карт. Електронна карта являє собою цифрову карту з атрибутивними даними, які пов'язані до її просторових об'єктів [20].

При дослідженні довкілля за допомогою ГІС варто виділити основні принципи:

- 1) принцип цілісності – відношення системи до об'єднання властивостей її елементів;
- 2) принцип структурності – опис системи через її структуру, тобто зв'язки в середині системи;
- 3) принцип взаємозв'язаності системи і середовища – виявлення функцій системи завдяки взаємодії із зовнішнім середовищем;
- 4) принцип ієрархічності – розгляд елементів системи у розрізі більших і менших систем та підсистем;
- 5) принцип множинності опису кожної системи – побудова різних моделей, які визначають деякі аспекти системи [21].

Серед основних функцій ГІС у сфері довкілля можливо виділити наступні:

1. Інформаційно-довідкова функція – утворення накопичувачів інформації, в тому числі електронних атласів;
2. Функція автоматизованого картографування - утворення сучасних цифрових географічних, тематичних та історичних карт;
3. Функція просторового аналізу і моделювання природних, природногосподарських та соціально-економічних територіальних систем – розвинені аналітичні можливості;
4. Функція моделювання процесів у природних, природногосподарських і соціально-економічних територіальних системах - реалізується для прогнозування природних територіальних систем та їх складових;
5. Функція підтримки прийняття рішень у плануванні, проектуванні та управлінні - містобудівне планування і проектування [22].

Геоінформаційні технології – це основа створення географічних інформаційних систем, що дозволяє реалізувати їх функціональні можливості.

Програмне забезпечення геоінформаційних систем значно прискорило отримання і обробку просторових даних, поєднання аналізу просторової інформації із різних областей життєдіяльності людини. У зв'язку з тим, що це відносно молода галузь, яка швидко розвивається, на даний час відсутня її загальноприйнята термінологія.

1.3.2. Особливості застосування ГІС у водному моніторингу

Активні дослідження водних екосистем вказують на те, що в Україні їх реалізація можлива виключно при застосуванні ГІС [23].

Одним з надважливих напрямків наукових досліджень, що об'єднує ГІС та дистанційне зондування землі є моніторинг вод.

У зв'язку з військовими діями, які безпосередньо впливають на екологічний стан водних ресурсів, ГІС дозволяють швидко реагувати на екологічні порушення.

ГІС як система управління водними ресурсами дають можливість:

- здійснювати аналіз, систематизацію і зберігання даних про водні об'єкти та ресурси, їх якість, гідротехнічні споруди;
- планування заходів із покращення ефективності водогосподарських систем;
- здійснювати контроль за раціональним використанням водних ресурсів і їх охоронних зон, паспортизацію водних об'єктів, облік гідроспоруд;
- впроваджувати інтерактивні платформи для відображення водних ресурсів.

Також використовують ГІС для забезпечення якісної оцінки стану водних об'єктів під час впливу різних факторів, отримання аналітичних даних, вирішення завдань моніторингу, враховуючи різноманітність характеристик водних об'єктів.

1.4. Методи дистанційного зондування Землі в дослідженні екологічного стану водних об'єктів

Дистанційне зондування Землі – метод отримання інформації щодо об'єктів, процесів та явищ без безпосереднього контакту завдяки електромагнітному випромінюванню.

Метод дозволяє здійснювати моніторинг площ, спостереження за станом гідротехнічних споруд, вивчення стану русел і дна, джерел забруднення та наявності біоресурсів тощо [24].

Зондування Землі посідає важливе місце в екологічному моніторингу водних об'єктів. Україна приєдналася до програми ЄС «Copernicus», яка спеціалізується на зборі та обробці даних супутникового моніторингу землі.

Супутники Sentinel, MODIS, AIRS та інші використовуються для вивчення водних об'єктів. Кожен напрямок Sentinel використовує два супутники з необхідним набором даних для виконання програми Copernicus [25].

Для використання аналізу даних використовують супутникові датчики дистанційного зондування землі, що мають спектральні діапазони, кожен з яких має переваги перед іншими.

На даний час надзвичайно активно використовують спектральні індекси (математичні комбінації) для картографування водних об'єктів, враховуючи рельєф території. Їх використовують з метою виділення на картах води та оцінювання її стану. До прикладу, найбільш вживані - це NDWI, MNDWI для точнішого виділення води в урбанізованих зонах, а також AWEI, який відображає без тіней.

За їх допомогою проводять дослідження щодо вивчення стану водних об'єктів. Зокрема, за допомогою знімків True color визначають зміни площ. NDWI виявляє незначні зміни вмісту води у водних об'єктах. Також в Україні наявна можливість проектування змін рельєфу і структури дна, та шляхів їх відновлення.

Космічні знімки дозволяють дуже гарно вирізняти водні об'єкти та здійснювати їх дистанційне зондування, картографування і моніторинг. Слідкувати за процесами у річках, озерах, водосховищах, виявляти негативні зміни внаслідок природних і антропогенних факторів. Серед їх переваг варто виділити одночасне охоплення значної площі території вод, безперервність знімка для кожної точки зображення, значна періодичність реєстрації водних мас і прибережних територій.

Також останнім часом спостерігається масове застосування БПЛА (повітряних, наземних, підводних та надводних) для обстеження великих площ водойм без додаткових зусиль і техніки. Серед переваг – дистанційне керування, маневреність і відсутність шкоди для довкілля.

Водні дрони надзвичайно потрібні для попередження повеней та природних катастроф у водоймах. Їх використання дозволяє легко отримувати інформацію і забезпечити наявність підводних кадрів та тривимірного зображення.

Також в Україні активно розпочате впровадження використання БПЛА

при розпізнавання об'єктів на поверхні водойм. Це стосується човнів, плавзасобів і потенційних екологічних загроз (сміття, нафтові плями тощо) [26].

Це надзвичайно актуально в умовах військових дій на території України.

Фахівці використовують комбіновані підходи до моніторингу водних ресурсів. Це поєднання ГІС, БПЛА, а також стаціонарних автоматизованих станцій, які фіксують стан водойми у реальному часі.

Поєднання дистанційних методів з використанням аерокосмічних технологій дозволяє ефективно здійснювати екологічний моніторинг водних об'єктів, систематизувати дані та оцінювати антропогенний вплив на водну систему України в цілому, оцінити екологічні загрози в певних регіонах.

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Характеристика території дослідження

Площа України складає 603,7 тисячі квадратних кілометрів, або 5,7 % усієї площі Європи і 0,44 % площі світу. Площа покрита поверхневими водами – 24,25 тисяч квадратних кілометрів (4%), кількість природних озер – більше 3000, річок – більше 73000. Прісні водні об'єкти займають площу 24,1 тисяч квадратних кілометрів (4,0 % від усієї території країни). 3,3 тисячі річок країни мають загальну довжину понад 94,4 тисячі кілометрів [27].

Країна має дев'ять районів річкових басейнів: річок Дніпро, Дністер, Дунай, Південний Буг, Дон, Вісла, річок Криму, Причорномор'я та Приазов'я. Також наявні виділені суббасейни зазначених річок.

Окремі кліматичні умови створюють величезні річки, озера та штучні водосховища, які взаємодіють з суходолом. Також спостерігається переміщення морських повітряних мас з арктичних морів і атлантичного океану.

У мережі Інтернет наявна карта водних об'єктів України, яка охоплює прісні і морські водні об'єкти, що знаходяться на території України та омивають її південні береги. Саме водні об'єкти є найважливішою частиною водних екосистем країни [28].

На рис. 2.1. представлено карту водних об'єктів України, що складають основу водних екосистем та водних ресурсів країни в цілому.



Рис. 2.1. Карта водних об'єктів України.

Водночас, Державне агентство з питань геодезії, картографії та кадастру у Публічно-кадастровій карті України відобразило шар категорії земель водного фонду (річкової мережі), що знаходиться у загальному доступі та представлено на рис. 2.2. [29].

Найбільше річок у Карпатах, що складає 2,0 км/кв. км, найменше – степова зона півдня. На території України найбільшу площу водозбору має річка Дніпро – 296,317 тис. кв. км., потім - Дунай – 817 тис. кв. км, де площа водозбірного басейну на території нашої країни складає 30,626 тис. кв. км.

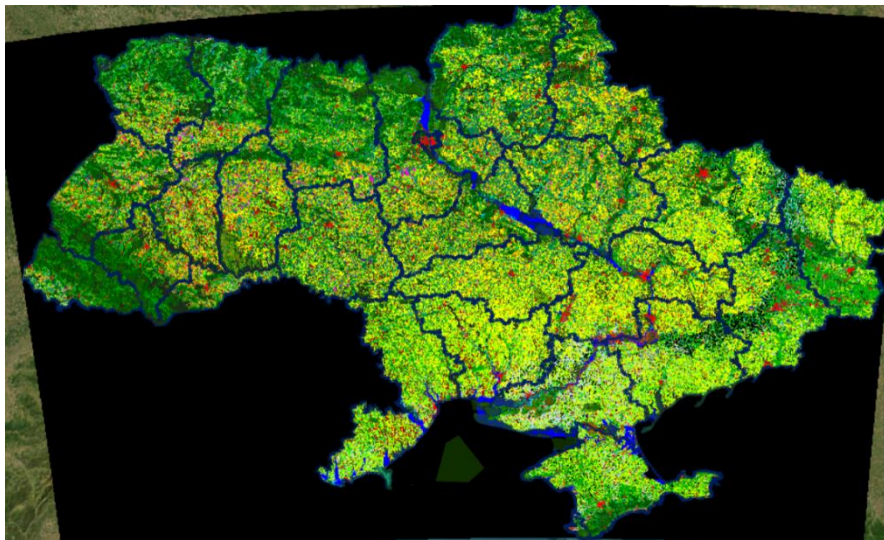


Рис. 2.2. Землі водного фонду на Публічно-кадастровій карті України.

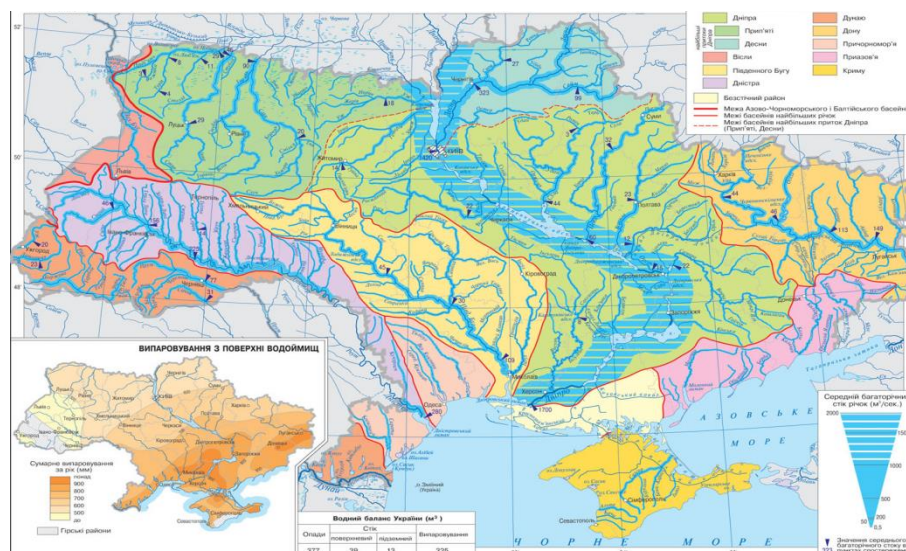


Рис. 2.3. Річкова мережа України.

Природні водні ресурси країни – це місцевих і транзитний потік річкової мережі, запаси води в озерах, штучних водоймах і підземних горизонтах. Річкова мережа України зображена на рис. 2.3. [30].

На сайті Державного агентства водних ресурсів України відображена карта моніторингу та оцінки водних ресурсів України (зараз працює у тестовому режимі) даних лабораторій моніторингу вод і ґрунтів, яка представлена на рис. 2.4. [31].

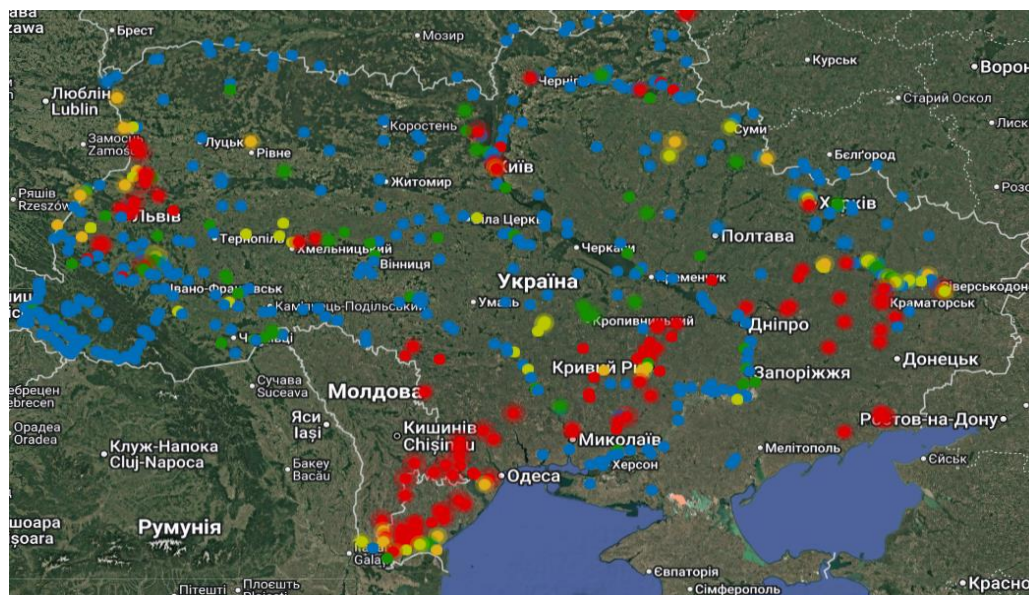


Рис. 2.4. Дані моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України

Орієнтовно в Україні знаходиться 20 тисяч озер. Найбільшим і найглибшим озером серед озер природного походження є озеро Світязь з найбільшою глибиною 58,4 метри (середньою – 7,2 метри), яке входить до складу понад 30 Шацьких озер. Ця унікальна водойма у 2008 році визнана одним із семи природних чудес України. Де розміщені Шацькі озера знаходиться територія Шацького національного парку [32].

Озера загальною площею 61,31 га мають карстове походження та являють собою частину природного Полісся. Джерела наповнення Світязя – підземні джерела та атмосферні опади, що створює унікальний підводний

ландшафт з западинами. Жодна природна і штучна водойма в Україні не перевищує статут Світязя по глибині водойми.

Озеро знаходиться у межиріччі між річками Прип'ять і Західний Буг, у поліській низовині з мішаними лісами. Берег для прогулянок включає територію протяжністю 30 км.

Через канал Світязь з'єднується з озером Луки, де потім вода через регульований шлюз стікає в річку Західний Буг.

Збагачена киснем вода $10,5 \text{ мг/дм}^3$ з мінімальним вмістом заліза та азоту являється ідеальною для життя.

Клімат Шацьких озер характеризується м'якою зимою, теплим літом та більш-менш рівномірним розподілом опадів протягом року. у зв'язку з сприятливими умовами для рекреації потік туристів збільшується з кожним роком [33].

У вересні 2025 року стартував міжнародний проект «REWET Ukraine» (Restoring Wetlands in Ukraine), який спрямований на відновлення водно-болотних екосистем, який розповсюджуватиметься також і на Шацькі озера.

Екологи займаються дослідженням та моніторингом забруднення навколо озер, антропогенним навантаженням, зменшенням сміття від туристичної сфери і збереженням наповнюваності води. Головне питання – відповідальний туризм.

2.2. Методологічні підходи до дослідження водних екосистем засобами ДЗЗ та ГІС

2.2.1. Використання дистанційного зондування землі у вивченні водних об'єктів

Одним з найбільш ефективних методів екологічного моніторингу водних об'єктів являється дистанційне зондування землі. Більш зручного інструменту, аніж супутникові та аерокосмічні знімки, поки не винайдено [34].

Використання дистанційного зондування землі дозволяє швидко і вчасно виявляти екологічні проблеми водних об'єктів та прилеглої території, які надалі детально вивчаються за допомогою інструментальних методів та аналізу проб води.

Засоби дистанційного зондування дозволяють здійснювати вивчення великих площ територій з метою опрацювання стану довкілля в цілому, водних об'єктів зокрема та загальну поверхню.

Під час дослідження змін в екосистемі та оцінці різних видів антропогенних трансформацій здійснюється часовий персональний аналіз.

Дистанційне зондування землі може бути активним та пасивним. Прибори активного зондування мають власне джерело світла. Під час пасивного зондування користуються відбитим сонячним світлом [35].

Випромінювання також відрізняється за довжиною хвиль та буває короткохвильовим (видимий, а також ближній та середній інфрачервоний діапазони) та довгохвильовим (мікрохвилі).

Для того, щоб краще дізнатися про територію, варто звернути увагу на супутникові знімки Google, Bing, Apple Maps, Baidu та інші. Більшість журналістів постійно користуються цими інструментами коли шукають геолокації фото чи відео.

Надзвичайно важливими ресурсом для дистанційного зондування землі є Google Earth Pro з високою роздільною здатністю. Він дозволяє дивитися архівні зображення, імпортувати оновлені дані, порівняти з попередніми знімками [36].

Лінійка дозволяє вимірювати відстань між об'єктами, в тому числі за наявності зображення Google Street View.

Також варто користуватися таким ресурсом як Google Maps. Він доповнює додаток Google Earth Pro, перевіряє зображення на супутникових знімках, відкриті джерел інформації, що стосуються водних об'єктів [37].

Google Earth Engine - це величезна бібліотека супутникових знімків, даних дистанційного зондування і наукових даних, які можна

використовувати для виявлення, вимірювання і порівняння того, що відбувається на поверхні землі протягом певного часу на глобальному, регіональному і місцевому рівнях.

Більш за всі ресурси та враховуючи наміри дослідження стану навколишнього середовища за допомогою дистанційного зондування, в Україні використовують супутники мережі Sentinel, MODIS, AIRS та інші.

При отриманні відповідних знімків здійснюється аналіз стану територій водних об'єктів, обміління водойм, фіксація екологічних та техногенних катастроф у разі наявності відповідного забруднення.

Ресурс Google Earth ([https:// www.google.com/intl/uk/earth/](https://www.google.com/intl/uk/earth/)) – надзвичайно зручний для швидкого пошуку озер і визначення таких параметрів як периметру лінії берега, площі, максимальних довжини і ширини. Невеликі озера на карті зображено у масштабі в межах 1:25000-1:5000. Оцифрування відбувається максимально точно, але іноді можливо допустити певні похибки.

Відповідно до Закону України «Про державний земельний кадастр» площа озера картографується разом із заболоченою частиною. Також важливою складовою дистанційного моніторингу площі озера є аналіз ландшафтно-еволюційних його особливостей [38].

При застосуванні часового інтервалу від 1 місяця до 5 років застосовують фільтр хмарності до 10,0 %, виявляють динаміку збільшення площі надводно-підводної рослинності в різних відтінках зелених кольорів та відповідним NDVI в діапазоні від -1 до +1.

Комплексно оцінити стан озера та визначити особливості природно-антропогенних трансформацій можливо при використанні скриптів:

для ідентифікації водних рослин та водоростей (Aquatic Plants and Algae Custom Script Detector (APA Script, 2021),

визначення якості води (Se2WaQ – Sentinel-2 Water Quality Script, 2021),

індексу води у водно-болотних угіддях (Water In Wetlands Index (WIW)

– Sentinel-2 Version, 2021).

Космічні знімки ресурсу Google Earth та EO Browser, розрахунки та графіків, отримані у різних спектральних каналах у комплексі з інструментальними методами, використовують для розробки ландшафтно-екологічної карти озера.

Програмне забезпечення для дистанційного зондування має важливе значення, бо у використанні тих чи інших програм є багато переваг та недоліків.

Для пересічного користувача найкраще підходять такі безкоштовні програми як QGIS, SNAP та Google Earth Engine, що дозволяють здійснити швидку обробку та спектральний аналіз, класифікацію зображень, виявити зміни земної поверхні при спрощену архітектуру побудови програми.

Для професіоналів підходять програми ArcGis, ENVI та ERDAS Imagine, які надають широке коло функцій.

Під час здійснення дослідження вибір програмного забезпечення залежить від завдань отримання ґрунтовних результатів та прийняття рішень на основі його максимального використання.

2.3. Джерела даних: супутникові знімки, наземні спостереження

Джерела даних, що використовуються в ГІС, це картографічні, статистичні та аерокосмічні матеріали. За способом отримання інформації вони поділяються на первинні, які отримуються шляхом вимірювань і спостережень, та вторинні - шляхом отримання інформації внаслідок обробки даних [39].

Найбільш поширеним дистанційним методом моніторингу водних об'єктів є дистанційне зондування за допомогою супутникових знімків.

Для аналізу супутникових знімків спочатку здійснюють пошук і відбір інформації, потім – формування бази даних, обробку та аналіз зображень.

Окремими важливими елементами є відсутність хмарності на відповідній території, шуму при скануванні поверхні, розміщення досліджуваної території до центру сканування знімку.

Найпоширенішою платформою для супутникових знімків є карти Google. Якщо серед шарів карти обрати «Супутник», то можливо дослідити місце розташування об'єкта. Приклад зображено на рис. 2.5.

Такий сервіс дає можливість переглядати об'єкти зверху, визначати їх місце розташування, координати тощо.

Більш дієвим браузером з розширеними можливостями є Google Earth. Супутникові знімки водного об'єкта за допомогою Google Earth зображено на рис. 2.6. та рис. 2.7.

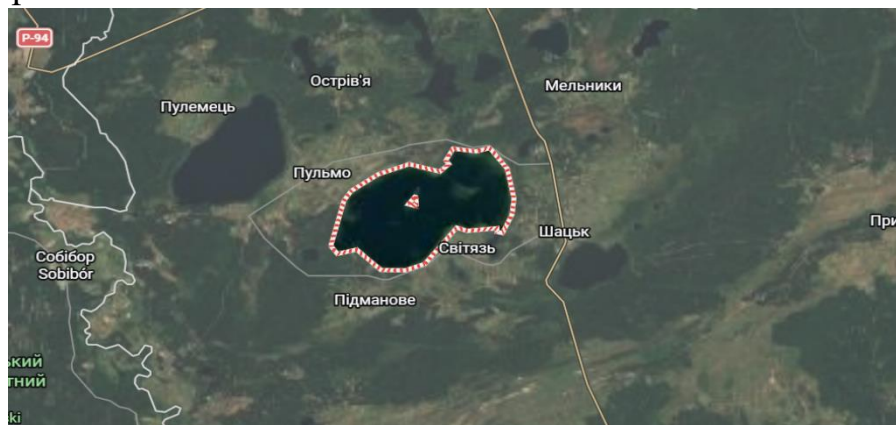


Рис. 2.5. – Зображення водного об'єкта за допомогою супутника Google.

Серед мінусів його користування є відсутність здійснення оцінки в реальному часі, серед плюсів - більша можливість перегляду з масштабуванням, перегляду 3D-моделей та аналізу територій. Цей браузер немає власних супутникових знімків, отримує їх з різних джерел.

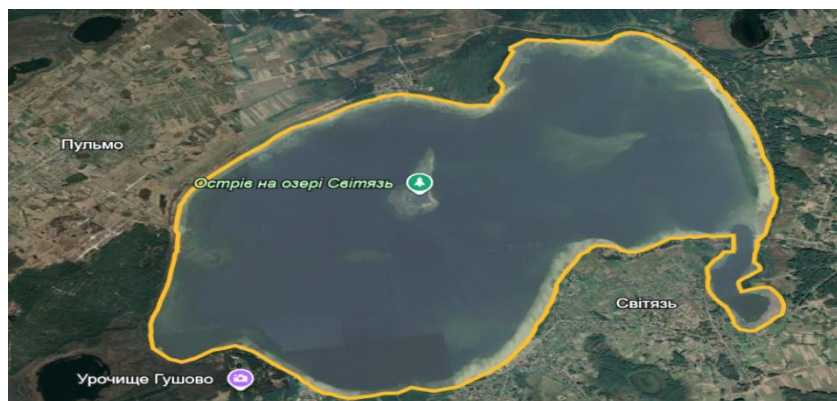


Рис. 2.6. – Зображення водного об'єкта у Google Earth.

Зображення у Google Earth більш чіткіші з можливістю наближення до окремих предметів, що відображені на водному об'єкті та у прибережній смузі.



Рис. 2.7. – Зображення водного об'єкта у 3D форматі від Google Earth.

Також варто звернути увагу на браузер Copernicus. Copernicus Browser – платформа онлайн-знімків Європейського космічного агентства. Він візуалізує знімки із супутників Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P і Sentinel-6, а також цифрові моделі рельєфу Copernicus. Обравши для візуалізації потрібні об'єкти можливо проаналізувати стан водних об'єктів у часовому проміжку.

Знімок відображається в природніх кольорах, тобто зображення схоже на фотографію місцевості згори. Найкраще зображення встановлюється тоді, коли рівень хмарності користувачем встановлено на рівні 10%.

У даному браузері можливо зберегти супутниковий знімок з прив'язкою до координат і відкрити його в будь якій ГІС програмі.

В цілому супутники дозволяють отримувати дані з великою роздільною здатністю, що сприяє вивченню кліматичних змін, забруднення повітря та водних ресурсів.

Інше місце серед методів зондування землі займає використання роботизованих комплексів та інноваційних технологій, в тому числі безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Їх використовують для моніторингу земної поверхні, води, а також інших видів досліджень [40].

БПЛА дозволяють швидко отримувати високоточну інформацію з важкодоступних або небезпечних для людини територій, водночас інтегруючи високоточні знімки у ГІС, створюючи базу даних для аналізу стану довкілля, прогнозування змін у довкіллі і планування природоохоронних заходів.

На даний час наявна значна кількість БПЛА з різноманітними конструкціями, технічними характеристиками в залежності від цілей, необхідності точності даних та датчиками.

Для моніторингу стану водойм використовують авіаційні БПЛА, мультикоптери і гібриди.

Авіаційного типу БПЛА долають відстань до 100 км і більше, працюють до 2-3 годин без підзарядки. У моніторингу водних об'єктів їх використовують для створення ортофотопланів, аерофотозйомки великих територій, вивчення наслідків природних проблем, та цифрових рельєфних форм. До прикладу, eBee (Parrot), SenseFly, Skywalker X8, Quantum Trinity F90+ та інші. Для них потрібен майданчик для зльоту і посадки, а також пілотне управління [41].

Мультикоптерні БПЛА мають кілька пропелерів. Вони здійснюють зліт і посадку вертикально, а також маневрують. Використовуються у переважній більшості на важкодоступних і невеликих об'єктах, бо мають короткий від 20 до 40 хв час польоту. До прикладу, берегових ліній, забруднених територій,

спостереження за тваринами, створення моделей територій. Найбільш уживані DJI Phantom 4 RTK, DJI Mavic 3 Enterprise, DJI Matrice 300 RTK, Autel EVO II Dual.

Гібридні БПЛА злітають і сідають вертикально, переходять в режим планерування. Тому вони можуть здійснювати тривалі польоти, без необхідності облаштування спеціального злітного майданчика. Користуються ним для знімання великих територій у важкодоступних місцях, картографування, моніторингу узбережжя. Серед популярних моделей: Quantum Systems Trinity F90+, WingtraOne, Vertical Technologies DeltaQuad.

БПЛА здійснюють деталізовану фотозйомку і збирають дані про стан водних та інших природних об'єктів. У сучасних умовах військових дій на території України БПЛА дозволяють проводити спостереження з високою точністю в реальному часі [42].

Джерела отримання інформації – основа інформаційного забезпечення ГІС.

2. 4.. Методи обробки та аналізу геоданих у ГІС

Використання геоінформаційних систем при здійсненні моніторингу водних об'єктів дає змогу виконувати одночасний збір та аналіз багатовимірних даних з використанням цифрових карт, спрощує процедури екологічного прогнозу та оцінку комплексного впливу на природне середовище, забезпечити наявність інформації щодо розташування об'єктів у просторі, їх форми. Також, допомагає оперативно виявити аномалії та прийняти необхідні заходи для їх усунення [43].

Обробка даних у ГІС розпочинається з налаштування візуального зображення на цифровій карті, зміни об'єкта зображення під час зміни його характеристик, масштабу та деталізації карти в залежності від завдань, наповнення даними.

На даний час не існує загальних для всіх ГІС методів інтелектуальної обробки даних. Методи залежать від того, яким чином було отримано об'єкт зображення. Застосовують виділення контурів об'єкта, яке ґрунтується на

точках цифрового зображення при зміні яскравості чи інших неоднорідностей, а також детекторів. Кількість оброблення даних зменшується у випадку виділення меж до зображення. Це значно пришвидшує етапи моніторингу [44].

Для того, щоб покращити якість детекторів кордонів, потрібно збільшити площу зображення в цілому, або виконання певних обчислень.

Для того, щоб створити карту моніторингу певного водного об'єкта необхідні наступні кроки:

- 1) збір інформаційного матеріалу;
- 2) створення електронної карти або вибір із запропонованих варіантів за допомогою наявних джерел і порталів;
- 3) наповнення створеної карти інформацією щодо об'єктів, які розташовані поруч;
- 4) здійснення обробки і аналізу інформації у часовому просторі, що дозволяє оцінити час і ресурси;
- 5) візуалізація даних та результатів досліджень, що включають (у разі необхідності) побудову карт і діаграм, тривимірних статичних та рухомих зображень.

Для аналізу даних у ГІС потрібно:

- 1) здійснити графічне виділення об'єкта за заданим списком ключових ідентифікаторів;
- 2) отримати або змінити координати об'єкту;
- 3) визначити відстані ламаних ліній, центрів взаємопов'язаних об'єктів, розрахувати периметри та їх площі;
- 4) побудувати буферні зони навколо об'єкта та ін [45].

Налаштування функцій ГІС також дозволяють завантажити набір цифрових даних, перетворення даних у різних форматах, зміна координат, налаштування персонального кабінету та здійснення інших картометричних операцій.

Кожен елемент у ГІС має свої координати. Для зручності аналізу даних

у ГІС зберігають бази даних із зв'язаними таблицями.

Запити і здійснення аналізу в ГІС здійснюються на різних рівнях складності. Серед важливих – є методи аналізу розташування та накладення об'єктів.

В результаті обробки інформації та аналізу даних утворюється повноцінна карта з доповненням у формі звітних документів тривимірних зображень, таблиць, діаграм, фотографій та відео.

2.5. Програмне забезпечення для ГІС-досліджень (ArcGIS, QGIS, Google Earth Engine).

Одним з найкращих інструментів ГІС з величезними можливостями є комерційне програмне забезпечення ArcGIS. Недоліками якого є вартість і об'ємність. Цей сервіс пропонує широке коло функцій професійного спрямування [46].

У переважній більшості зараз для оцінки стану поверхневих вод користуються зображеннями водних об'єктів у кольорах та індексами.

Для користування програмним забезпеченням потрібно створити обліковий запис з поштою gmail. На даному етапі є можливість придбання платного продукту, створення пробного облікового запису та публічного облікового запису. Пробне безоплатне навчання доступне лише для студентів, які навчаються у США. Після цього – увійти до облікового запису та створити карту.

ArcGIS – це хмарна геопросторова платформа для підприємств, пов'язана з іт-системами та інфраструктурою. Доступ надається усім працівникам підприємства. Для дослідження можливо обрати будь-яку точку у світі та побудувати карту з використанням власних даних, перенесених з різних джерел [47].

Серед недоліків програмного забезпечення – значний обсяг файлів та висока вартість ліцензії.

Серед переваг цієї системи – аналіз значного обсягу даних, можливість

працювати онлайн, 3D-інтеграція, удосконалене редагування, значна кількість інструментів. Потрібно додати лише місцезнаходження, узагальнити дані за регіонами, додати потрібну інформацію.

ArcGIS – лідер серед усіх ГІС для картографування і аналізу.

QGIS – це альтернативна програма ArcGIS, проте більш економічно вигідна. Користується попитом завдяки своїй універсальності, навіть серед новачків, підтриманню численних форматів даних і плагінів. Має менш зрозумілий інтерфейс для користувача-початківця [48].

Серед основних переваг варто виділити безкоштовне ліцензування, якісну 3D-інтеграцію, можливість швидкого редагування, аналізу та побудови карт, значний обсяг навчальних матеріалів, бази користувачів та набору інструментів.

Серед недоліків варто звернути увагу на відсутність окремих вузькоспеціалізованих інструментів, значно менша кількість вбудованої символіки, обмежені можливості у онлайн-картографуванні, повільніше впровадження оновлених можливостей онлайн-аналітики, роботи з значним обсягом даних.

QGIS надає доступ для всіх з метою поширення результатів.

Google Earth Engine – онлайн платформа для обробки наявних даних супутникового моніторингу та спостереження за землею. Надає можливість доступу до об'ємного сховища супутникових знімків і обчислювальних функцій Google [49].

Використовується для моніторингу глобальних проблем: зміни клімату, забруднення навколишнього середовища, катастрофи тощо на окремій платформі.

Поєднує дані супутникових джерел щодо земної поверхні, які поєднуються з інструментами обробки і аналізу інформації.

Основним недоліком користування являється відсутність у переліку користування української мови.

Дозволяє:

- обчислювати індекси вегетації (NDVI та EVI), фільтрувати, обрізувати та маскувати зображення; обчислювати статистичні дані регіонів, в тому числі аналізувати земну кору, обчислювати властивості об'єктів, середні значення на різні дати, площі, довжини, відстаней між точками;
- здійснювати дослідження і аналіз супутникових знімків (Landsat, Sentinel), зміни рельєфу земної поверхні, математичні та статистичні обчислення, фільтрацію чисел;
- візуалізувати та вивести дані і зображення на карті, створити графіки і діаграми відповідно до наявних даних;
- обробляти геодані.
- Google Earth Engine має значну кількість вбудованих функцій для користування геопросторовими даними [50].

У безоплатній формі також наявна можливість користуватися для візуалізації, обробки та аналізу екологічної інформації іншими цікавими платформами ГІС, такими як Copernicus, landviewer тощо.

2.6. Візуалізація та інтерпретація просторових даних.

У ГІС наявна особливість здійснення візуалізації та інтерпретації просторових даних шляхом налаштування окремих зображень на цифрових картах, зміни зображення об'єкта враховуючи зміни його характеристик, масштабів досліджень та деталізації на карті окремої інформації [51].

В екології та прийнятті рішень управління природними ресурсами ГІС надзвичайно важливі, бо дають знання про взаємне розташування і форми об'єктів у просторі тощо. З метою здійснення аналітичних досліджень, здійснення глибинного аналізу і пошуку шляхів попередження в майбутньому потенційних злочинів у сфері довкілля потрібно утворювати спеціальні просторові системи даних, що дають змогу розрахувати моделі за допомогою інтеграції різних шарів даних.

Одним із найцікавіших моментів безоплатної візуалізації даних у браузері earth.google.com за посиланням <https://earth.google.com/> являється

візуалізація даних у 3D форматі. Візуалізація озера Світязь у 3D форматі представлена на рис. 5.1. У даному браузері можливий перехід у режим перегляду вулиць - Google Street View, що представлено на рис. 2.8. [52]



Рис. 2.8. Візуалізація вулиці (фрагмент кругової панорами озера Світязь).

У браузері Sorapnicus наявна можливість візуалізувати індекс вологості озера Світязь, що представлено на рис. 2.9.

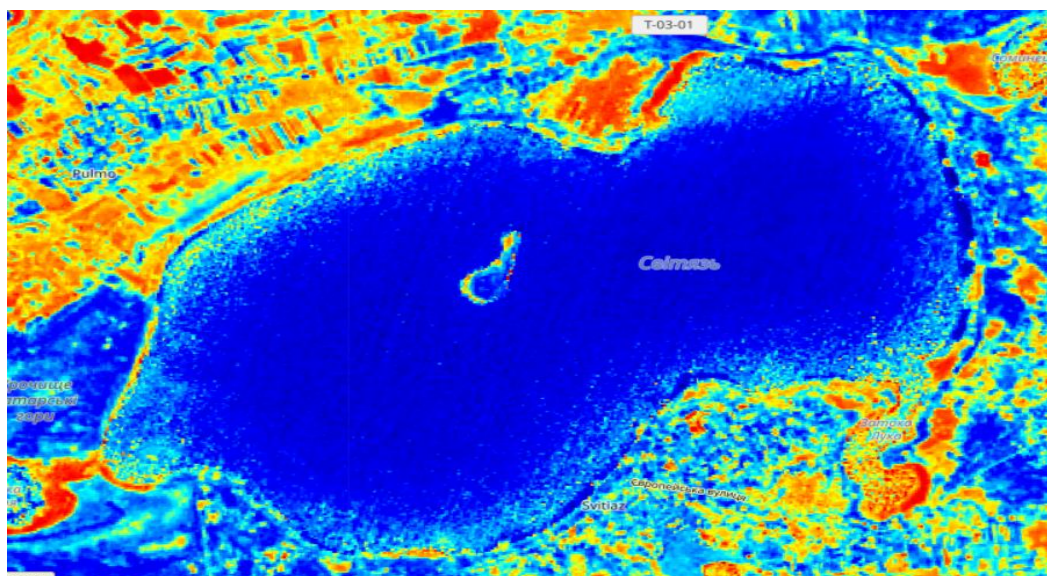


Рис. 2.9. Візуалізація індексу вологості озера Світязь.

Враховуючи вказаний показник, браузер здійснює аналітичні обрахунки на останню звітну дату. Станом на 03.05.2026 року має наступні обрахунки, що зображено на Рис. 2.10.

Sentinel-2 L2A - Moisture index

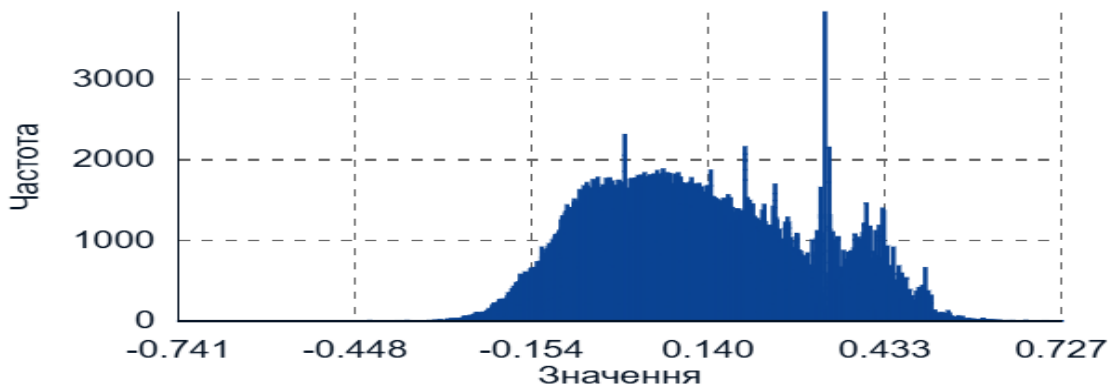


Рис. 2.10. Аналітичні значення індексу вологості озера Світязь.

Аналіз індексу вологості свідчить про наявність значної кількості відкритої водної поверхні, заболоченої прибережної смуги та території біля озера, водної рослинності. Тобто, переважна більшість території озера має стабільну вологість, домінування водних і вологих поверхонь.

Також у браузері наявна можливість візуалізації та обрахунку індексу рослинності. Візуалізація індексу НДВІ на основі комбінації каналів $(B3-B8)/(B3+B8)$ зображена на рис. 2.11.



Рис. 2.11 - Візуальне зображення індексу НДВІ озера Світязь.

Браузер дозволяє здійснити аналіз НДВІ, що представлено на рис. 5.5.

Sentinel-2 L2A - NDWI

Sentinel-2 L2A - NDWI

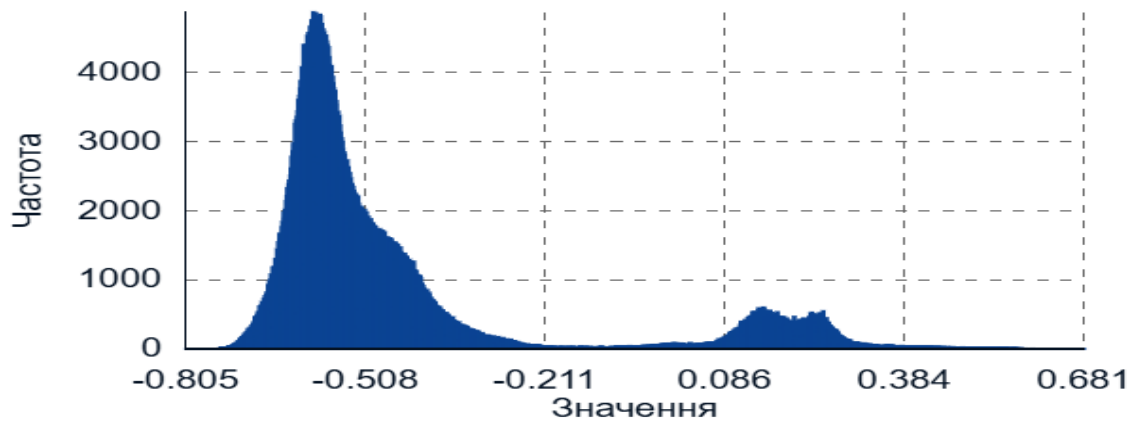


Рис. 2.12 - Аналіз індексу НДВІ озера Світязь.

Від’ємні значення відображають ліси, луки, рослинний покрив території. Навколо озера водні поверхні займають меншу площу, ніж саме озеро Світязь.

Водні об'єкти відображені лише на частині досліджуваної території озера та навколо нього. Це вказує на наявність достатнього співвідношення сухої поверхні та території, вкритої водою, у межах даної екосистеми [53].

Деякі інші візуальні зображення має індекс НДВІ на основі комбінації каналів $(B8 - B4)/(B8 + B4)$, що зображено на рис. 2.13.



Рис. 2.13 - Візуальне зображення індексу НДВІ озера Світязь.

Браузер дозволяє здійснити аналіз НДВІ, що представлено на рис. 5.7.

Sentinel-2 L2A - NDVI

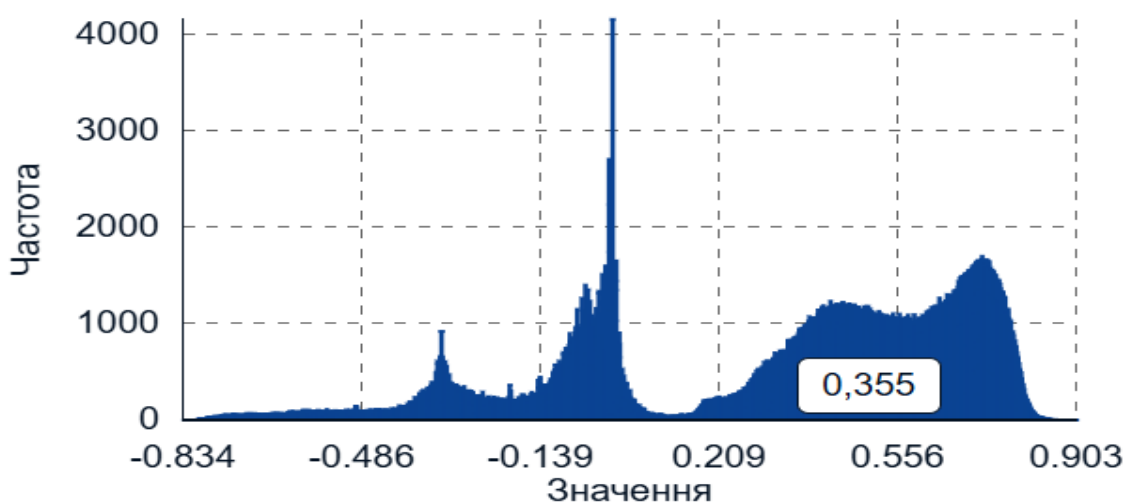


Рис. 2.14 - Аналіз індексу НДВІ озера Світязь.

Аналіз свідчить про істотне поширення рослинності, наявність значного рослинного покриву та активного фотосинтезу.

Це ознаки природної високо біопродуктивної системи. Територія має добре розвинені прибережну та болотну рослинність. Також наявні перехідні зони між водою і рослинністю, піщані ділянки прибережної захисної смуги.

Спостерігається значне поширення рослинного покриву, що свідчить про те, що рослинний покрив має задовільний екологічний стан. Природна екосистема являється з густою прибережною рослинністю з наявністю відкритих водних поверхонь.

Візуалізація та інтерпретація даних за допомогою ГІС забезпечують можливість отримання об'єктивної, актуальної інформації про стан водного об'єкта, ступінь його забруднення та просторової фіксації процесів, що безпосередньо відбуваються навколо нього [54].

2.7. Мета, завдання, об'єкт і предмет досліджень

Мета дослідження є структурування інформації, систематизація знань та розширення навичок щодо вирішення ефективного моніторингу водних екосистем за допомогою геоінформаційних технологій.

Завдання :

1. - здійснення аналізу наукової літератури у сфері водних екосистем;
2. - дослідження можливостей екологічного моніторингу із застосуванням ГІС;
3. - набуття вмінь аналізу супутникових знімків;
4. - розроблення картографічних матеріалів стану водного об'єкта.

Об'єкт дослідження є водні екосистеми, в тому числі озера Світязь та шацьких озер України, що складаються з поверхневих водних об'єктів, прибережних територій та пов'язані природними компонентами.

Предмет дослідження є методи та інструменти геоінформаційного моніторингу стану водних екосистем, в тому числі для аналізу просторових даних і змін у часі шляхом візуалізації та обробки геоінформаційних даних.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ (на прикладі озера Світязь)

3.1. Візуалізація джерел антропогенного навантаження поблизу водного об'єкта

Для здійснення антропогенного навантаження на такий водний об'єкт як озеро Світязь здійснено аналіз території самого водного об'єкта та прилеглої території радіусом 3 км. Оскільки потрібно здійснити повне дослідження, довелося використовувати кілька браузерів. Зокрема, при візуальному огляді карти OpenStreetMap встановлено, що у безпосередній близькості до озера Світязь наявні селище Шацьк, село Світязь, Пульмо, Підманове, Залісся, що відображено на рис. 3.1.

Візуальне дослідження можливе за умови безпосереднього наближення до об'єктів.

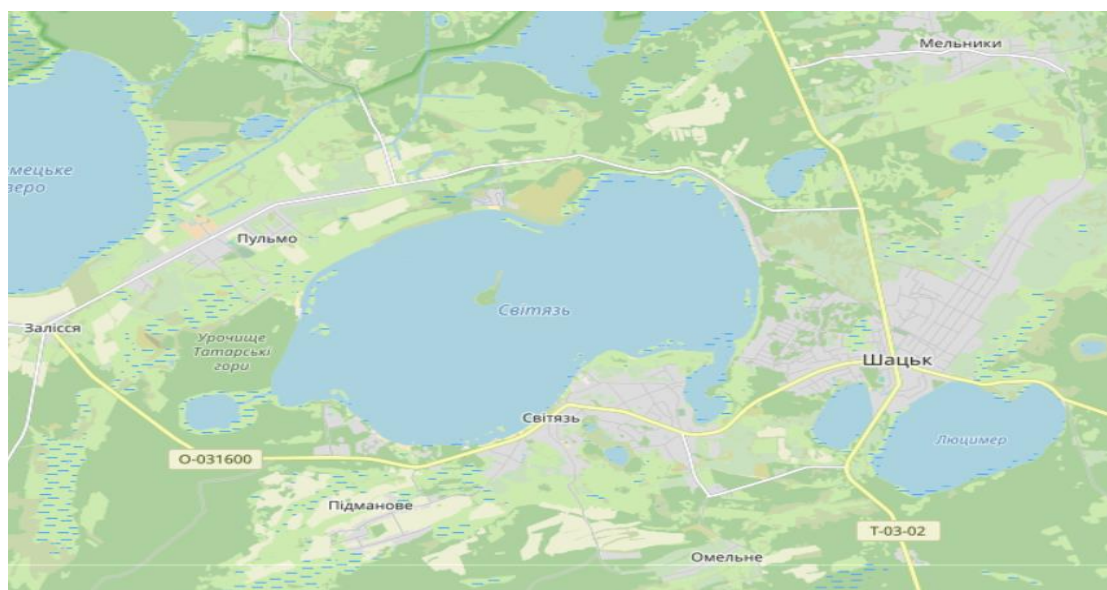


Рис. 3.1. – Візуальне зображення населених пунктів біля озера Світязь.

У першу чергу за допомогою ГІС досліджено наявність полігонів для захоронення твердих побутових відходів та сміттєзвалищ. Зокрема, біля селища Шацьк було виявлено сміттєзвалище орієнтовною площею 3 га, яке використовується як полігон для зберігання твердих побутових відходів. Відстань від урізу води озера Світязь і вказаної земельної ділянки складає

2,3 км (<https://earth.google.com/web>), що представлено на рис. 3.2.

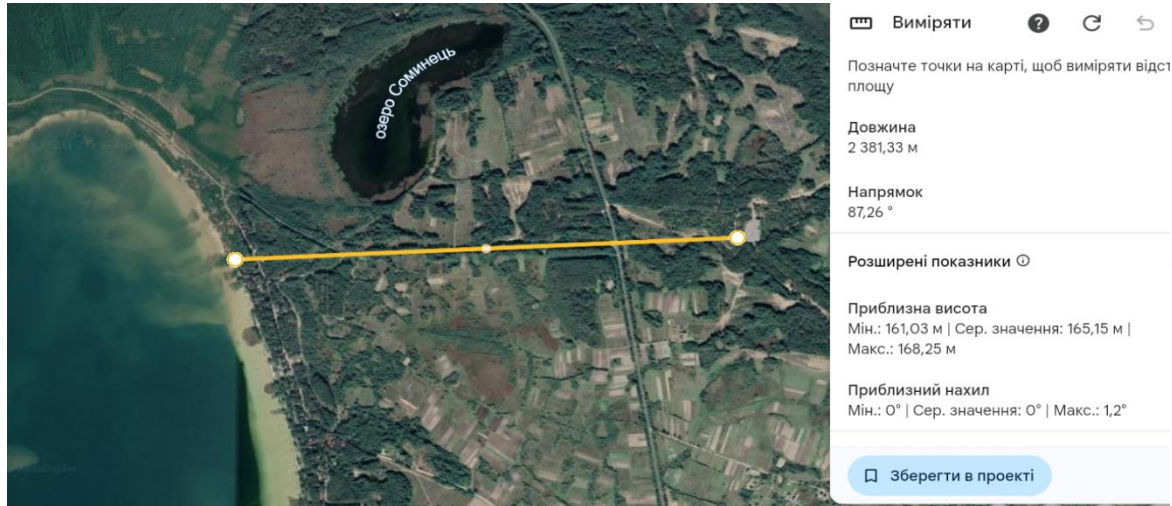


Рис. 3.2. – Відстань віз урізу води озера до сміттєзвалища.

За допомогою Публічно-кадастрової карти визначаємо законність користування, що представлено на рис. 3.3.

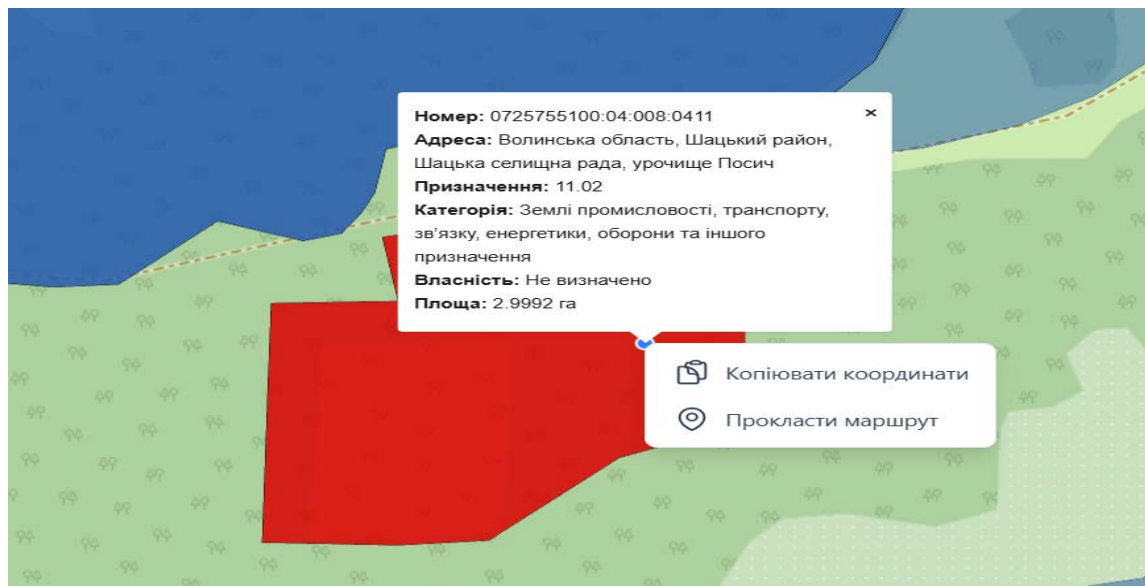


Рис. 3.3 – Полігон твердих побутових відходів на Публічно-кадастровій карті України.

Створюємо зображення по фактичному використанню за допомогою OpenStreetMap, що представлено на рис. 3.4.



Рис. 3.4. – Візуальне зображення полігону ТПВ на OpenStreetMap.

Виходячи з вищевикладеного, можливо зробити висновок, що полігон твердих побутових відходів (офіційно єдиний) знаходиться на безпечній відстані від озера Світязь та населених пунктів Шацької громади. Не здійснює прямого впливу та антропогенного навантаження на озеро.

Також за допомогою карти Earth.google.com спостерігається наявність сміттєзвалищ площею 1,4 га та 2,7 га поміж залісненої зони, поряд із територією природно-заповідного фонду, біля села Залісся у напрямку затоки Бужня.

Дані публічно-кадастрової карти та зовнішні контури зазначених земельних ділянок вказують на те, що вони являється стихійними. Зображення стихійного сміттєзвалища площею 1,4 га представлено на рис. 3.5.

Відстань від сміттєзвалища до затоки Бужня, що безпосереднього з'єднана з озером, складає 1,6 км. Від озера сміттєзвалище відділене повністю залісненим урочищем «Татарські гори». У зв'язку з чим, можливо зробити висновок, що прямого антропогенного навантаження на озеро стихійне сміттєзвалище також не здійснює. Аналогічна ситуація і з іншим сміттєзвалищем.



Рис. 3.5. – Стихійне сміттєзвалище біля с. Залісся.

Зазначена земельна ділянка відповідно до даних OpenStreetMap відноситься до саду, що представлено на рис. 3.6.



Рис. 3.6. – Візуальне зображення несанкціонованого сміттєзвалища на OpenStreetMap.

Більше за допомогою ГІС полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ у 3 км зоні навколо озера не виявлено.

Наступними цікавими об'єктами, що здійснюють антропогенне навантаження також, є кладовища.

Зокрема, безпосередньо у селищі Шацьк наявне кладовище площею 1,7 га, що знаходиться напряму від берегової лінії на відстані 2 км. Зображення представлено на рис. 3.7.



Рис. 3.7. – Візуальне зображення кладовища у с. Шацьк на OpenStreetMap.

Також наявне кладовище поза межами населених пунктів біля селища Шацьк площею 5,45 га, що представлено на рис. 3.8.

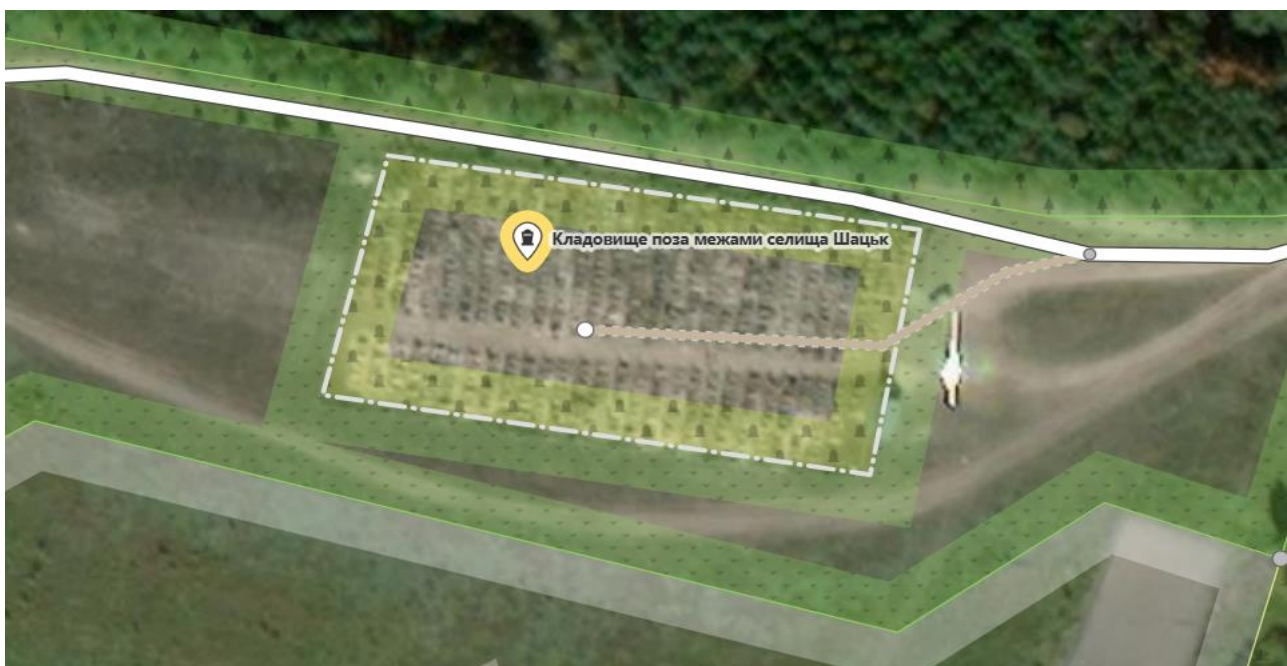


Рис. 3.8. – Візуальне зображення кладовища біля с. Шацьк на OpenStreetMap.

Відстань до урізу води складає 2,5 км, тому на озеро кладовище несе низьке антропогенне навантаження.

Також варто звернути увагу на кладовище біля с. Пульмо, що зображено на рис. 3.9.



Рис. 3.9. – Візуальне зображення кладовища біля с. Пульмо на OpenStreetMap.

Відстань від кладовища площею 4,5 га до урізу води складає 1,0 км. Між кладовищем та озером знаходяться пасовища та меліоративні канали місцями з дрібними ставками, потік води з яких потрапляє до озера. Тому можливо зробити висновок щодо саме це кладовище несе помірне навантаження на озеро.

Також наявне кладовище у с. Світязь. Відстань до урізу води складає 129 м., що знаходиться поряд із водним об'єктом та представлене на рис. 3.1.9.

Це кладовище створює помірне антропогенне навантаження, оскільки знаходиться близько до води. Наявна загроза потрапляння забруднень органічних, побутових та ритуальних відходів до ставка ґрунтовими водами, їх змив після танення снігу.

Переважає більшість частини прибережної смуги на північній стороні

озера вкрита травами, чагарниками та плавнями. Проте, на відстані 298,8 м від озера знаходиться сільськогосподарський масив, що представлено на рис. 3.10.



Рис. 3.10. – Візуальне зображення кладовища у селі Світязь на OpenStreetMap.

Також цікавими об'єктами являються сільськогосподарські масиви. Зокрема, сільськогосподарський масив біля с. Пульмо, що представлено на рис. 3.11.



Рис. 3.11. – візуальне зображення сільськогосподарського масиву біля озера Світязь на OpenStreetMap.

Зважаючи на відсутність місцями такого природного бар'єру як лісової смуги, яка б роз'єднувала масив і озеро, можна дійти до висновку, що поле

несе помірне антропогенне навантаження. Оскільки при наявності значної кількості опадів до озера можуть потрапляти отрутохімікати з полів, утворюватися ерозійні процеси, погіршуватися стан екологічної системи.

Аналогічна ситуація також наявна з городами на півдні озера, що зображено на рис. 3.12.



Рис. 3.12. – візуальне зображення городів на OpenStreetMap.

Проте, найбільше антропогенне навантаження на озеро складає житлова забудова та кількість туристів, яка зростає з кожним роком. І хоча у 2022-2023 роках на більшості території навколо озера за кошти ЄС було реалізовано будівництво та оновлення каналізаційних мереж та очисних споруд, роботи по запуску на повну потужність очисних систем для усіх без виключення абонентів поки не завершені. Є такі об'єкти, які мають водовідведення до вигрібних ям, зокрема, у прибережній захисній смузі озера.

Варто звернути увагу на житлову забудову у селищі Шацьк по вул. Центральній. Будинки розміщені на відстані від 30 до 70 м від озера, що відображено на рис. 3.13.

Аналогічна ситуація спостерігається у селі Світязь по вул. Набережній, що відображено на рис. 3.14.

Озеро Світязь входить до Національного природного парку «Шацький» з цільовим призначенням: для природоохоронного, рекреаційного та культурно-освітнього призначення.



Рис. 3.13. – Візуальне зображення будівель на OpenStreetMap.

Туристичні бази, які знаходяться на березі озера, створюють значне антропогенне навантаження, як на саме озеро, так і на прибережну територію.

Збільшення туристичного потоку сприяє збільшенню побутових відходів, навантаженню на пляжні зони прибережної захисної смуги озера, певні ризик забруднення водойми, збільшення деградації природної рослинності та очерету, розвиток ерозійних процесів внаслідок сільськогосподарського обробітку землі та погіршення екологічного стану водної екосистеми.



Рис. 3.14. – Візуальне зображення будівель на OpenStreetMap.

Антропогенне навантаження та екологічні наслідки від його впливу на озеро Світязь до цього часу вивчені не повністю, для цього потрібне прогнозування рекреаційної діяльності на майбутні роки.

У зв'язку з військовими діями на півдні та сході України, на сьогодні суттєво збільшилося рекреаційне навантаження на озеро Світязь в сезон відпочинку.

Тому істотну роль у антропогенному навантаженні відіграє рекреаційна діяльність.

3.2. Збір та підготовка вихідних даних для аналізу (космічні знімки за різні періоди)

Для візуального дослідження змін стану водної екосистеми потрібно розглянути знімки озера Світязь за різні періоди. Найпростіше це зробити за допомогою системи ГІС Copernicus Browser.

Найкраще для початку візуалізувати стан озера на основі індексу NDVI — нормалізованого диференційного індексу рослинності, що оцінює стані густоту рослинного покриву водного об'єкта за супутниковими знімками.

Відкриваємо браузер, проходимо ідентифікацію та налаштовуємо хмарність 10%, вибираємо індекс NDVI на основі комбінації каналів $(B8 - B4)/(B8 + B4)$ та місяць липень для візуалізації даних.

Встановлюємо дату 21.07.2018, натискаємо пошук та візуалізацію, що зображено на рис. 3.15.

Для доцільності аналізу інформації щодо водного об'єкта потрібно буде проаналізувати дані за кілька років. Тому на календарі у браузері обираємо 2020 рік. Для більш точного дослідження варто аналізувати дані за один і той самий місяць року. Обираємо липень, бо у цьому місця найбільш у році відвідування озера туристами і одна з найбільших температур води.

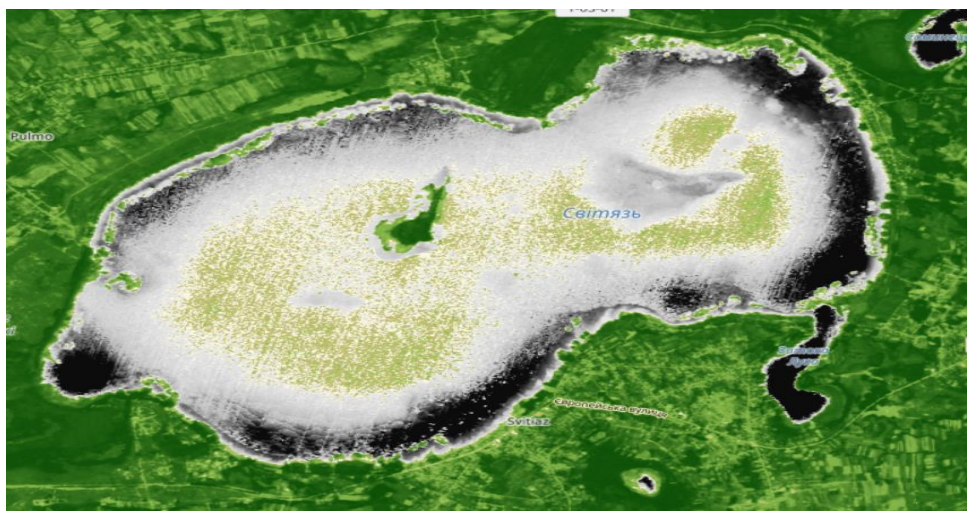


Рис. 3.15. – Візуалізація зображення озера по індексу NDVI станом на 21.07.2018.

Вибираємо дату 25.07.2020 і візуалізуємо, що представлено на рис. 3.16.

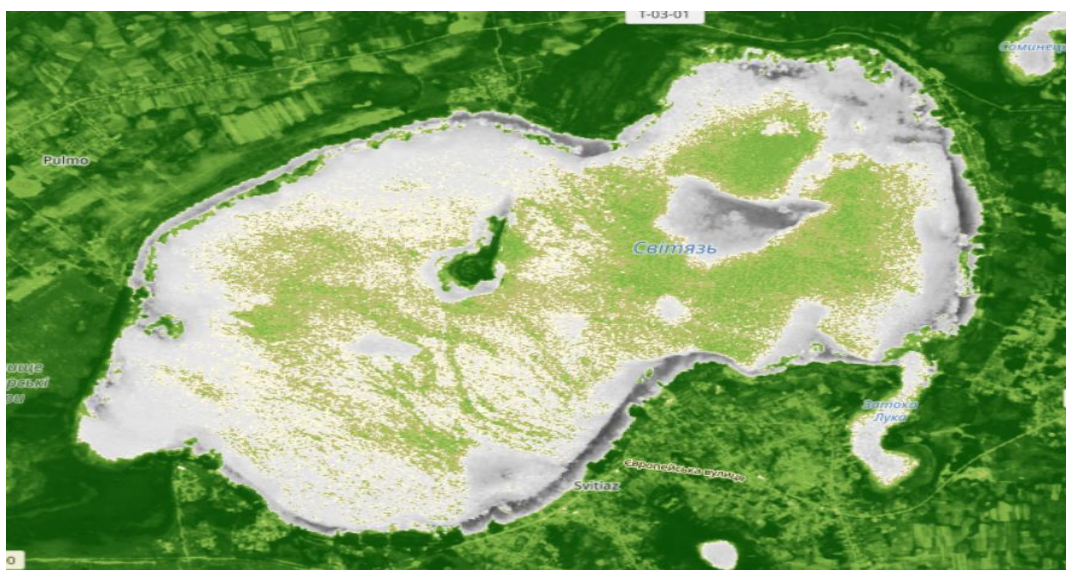


Рис. 3.16. – візуалізація зображення озера по індексу NDVI станом на 25.07.2020.

Аналогічно обираємо дату 05.07.2023 і візуалізуємо дані, що зображено на рис. 3.17.

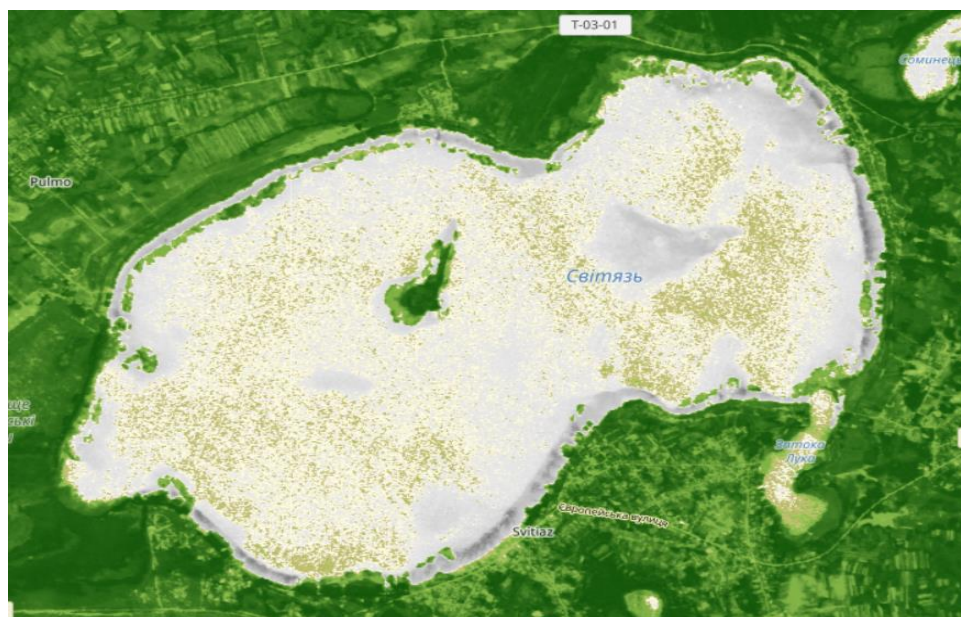


Рис. 3.17. – візуалізація зображення озера по індексу NDVI станом на 05.07.2023.

Аналогічно обираємо дату 02.07.2025 і візуалізуємо дані, що зображено на рис. 3.18.

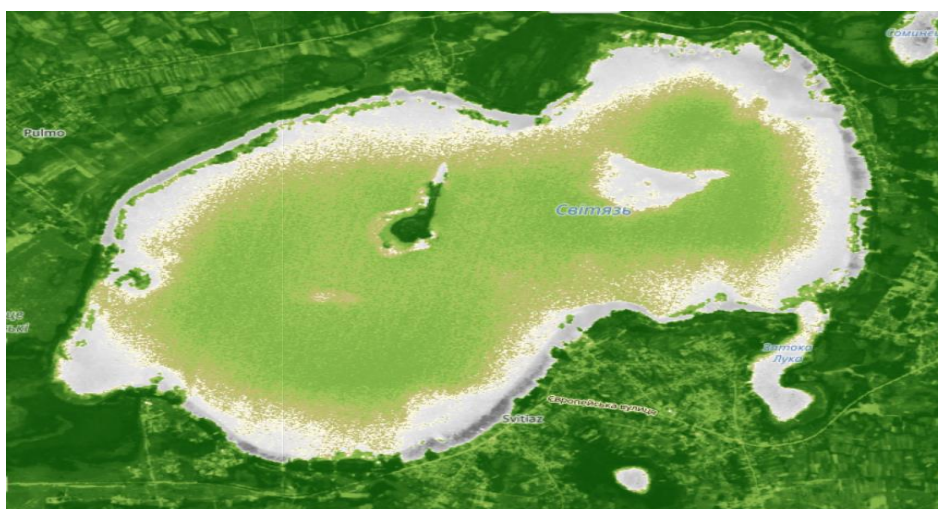


Рис. 3.18. – Візуалізація зображення озера по індексу NDVI станом на 02.07.2025.

NDWI – нормалізований диференційований індекс води, що дозволяє найбільш ефективно оцінити та картографувати водні об'єкти. Здійснимо підготовку вихідних даних на основі космічних знімків за допомогою даного індексу.

Вибираємо вказаний індекс, визначаємо дату - 21.07.2018, візуалізуємо дані, що зображено на рис. 3.19.

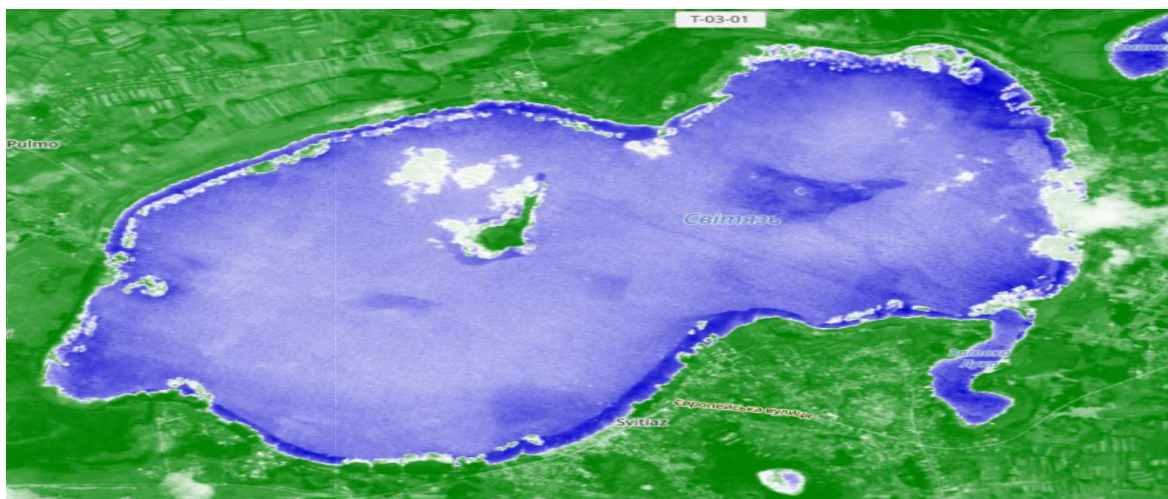


Рис. 3.19. – Візуалізація зображення озера по індексу NDWI станом на 21.07.2018

Аналогічно вибираємо дату - 25.07.2020, візуалізуємо дані, що зображено на рис. 3.20.

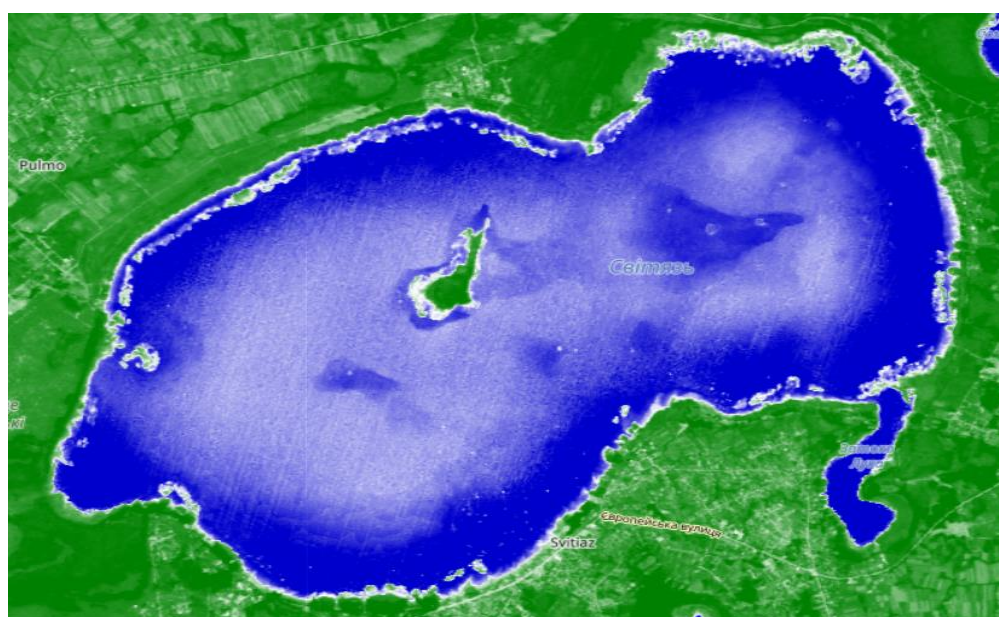


Рис. 3.20. – Візуалізація зображення озера по індексу NDWI станом на 25.07.2020.

Аналогічно вибираємо дату - 05.07.2023, візуалізуємо дані, що зображено на рис. 3.21.

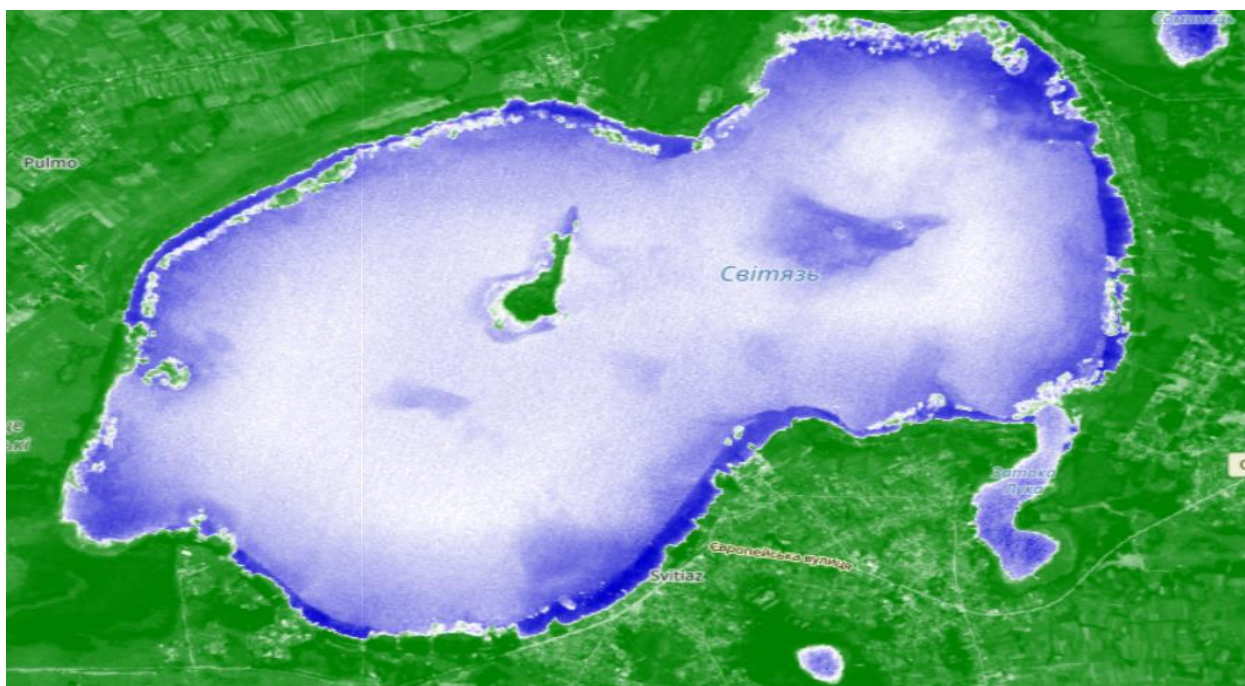


Рис. 3.21. – візуалізація зображення озера по індексу NDWI станом на 05.07.2023.

Також вибираємо дату - 02.07.2025. візуалізуємо дані. Що зображено на рис. 3.22.

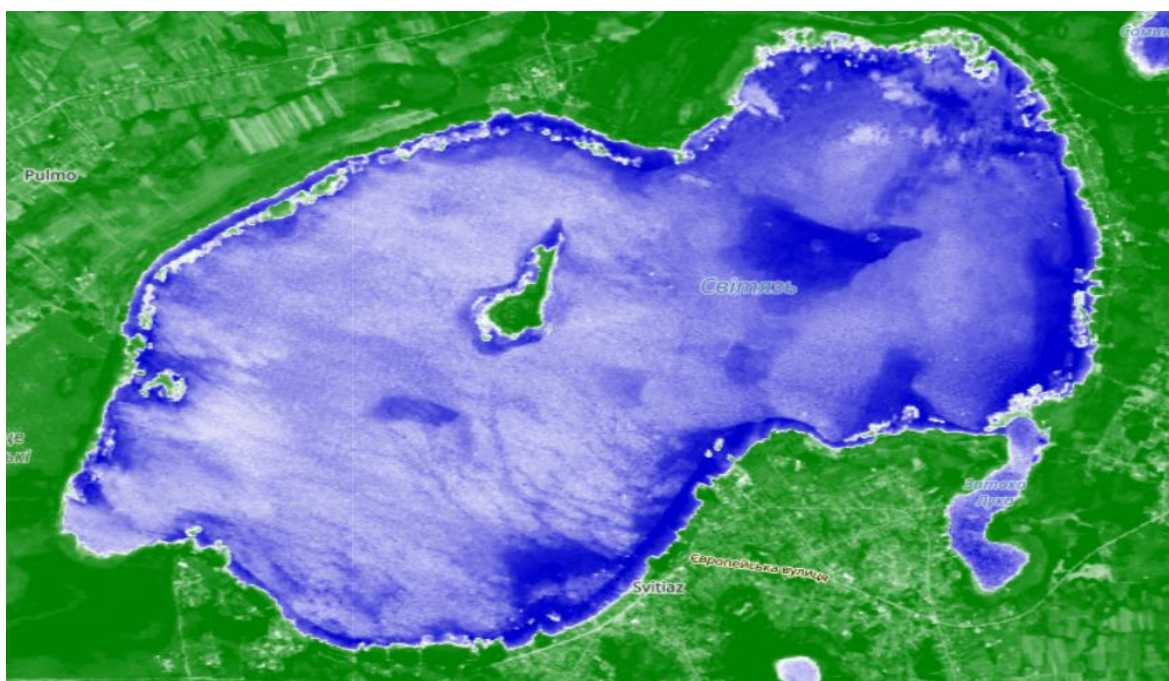


Рис. 3.22. – візуалізація зображення індексу NDWI станом на 02.07.2025.

Візуалізація індексів дозволяє отримати інформацію щодо наявності або збільшення рослинності на водному об'єкті, а також наявності кількості води та вологи, відповідно збільшення або зменшення вказаних показників.

3.3. Просторово-часовий аналіз змін стану водної екосистеми

Для аналізу змін стану водної системи озера Світязь потрібно проаналізувати індексні показники по датам, що були візуалізовані. Для зручності будуємо таблицю показників. Вихідні дані – аналітичні дані браузера Copernicus Browser, що представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. – просторово-часовий аналіз індексу NDVI за 2018-2025 роки.

Дата	Значення індексу	Що показує
21.07.2018	0,916	Спостерігається доволі високий показник наявності рослинності.
25.07.2020	0,948 ↑	Протягом 2 років рослинність збільшилася, спостерігається поширення очерету на незаглиблених прибережних ділянках.
05.07.2023	1,000 ↓	Максимальний показник. Озеро має дуже щільну рослинність.
02.07.2025	0,953	Деяке зниження показника. Проте, активність рослинності велика.

З огляду на зазначене, протягом 2018-2025 років показник рослинності на озері Світязь являється значним та стабільним. Спостерігається заростання водойми очеретом та іншою рослинністю з можливістю накопичення органічних речовин. Територія водойми характеризується наявністю стабільного поширення рослинності у прибережній захисній смузі, являється біологічно активною.

Також аналізуємо показники індексу NDWI без зміни дат, визначених у попередньому дослідженні. Вихідні дані – аналітичні дані браузера Copernicus Browser, що представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. – просторово-часовий аналіз індексу NDWI за 2018-

2025 роки.

Дата	Значення індексу	Що показує
21.07.2018	0,802	Наявна чітко визначена межа водного дзеркала, високий рівень вологості.
25.07.2020	1,000 ↑	Озеро наповнене водою максимально. Кількість води у нормі.
05.07.2023	0,815↓	Кількість води дещо зменшилася, збільшилася берегова лінія.
02.07.2025	0,909	Кількість води дещо збільшилася та становить стабільно високий рівень.

Аналіз показників індексу NDWI за 2018-2025 роки свідчить, що незважаючи на наявність високого рівня рослинності у мілководді прибережної території, озеро Світязь має стабільну наповненість водою. Ознаки пересихання відсутні, площа водного дзеркала протягом аналізованого періоду майже незмінна. На наповнення водного об'єкта водою дещо впливають кліматичні умови літнього періоду.

3.4. Створення цифрової карти водної екосистеми

Для створення цифрової карти потрібно завантажити програмне забезпечення QGIS на комп'ютер, встановити налаштування програмного забезпечення.

Після завершення усіх налаштувань відкриваємо програму QGIS, створюємо новий проєкт. Додаємо карту OpenStreetMap, після чого утворюється шар карти.

Знаходимо потрібний об'єкт шляхом пошуку на карті. За допомогою редактора проводимо вимірювання площі, що зображено на рис. 3.22.

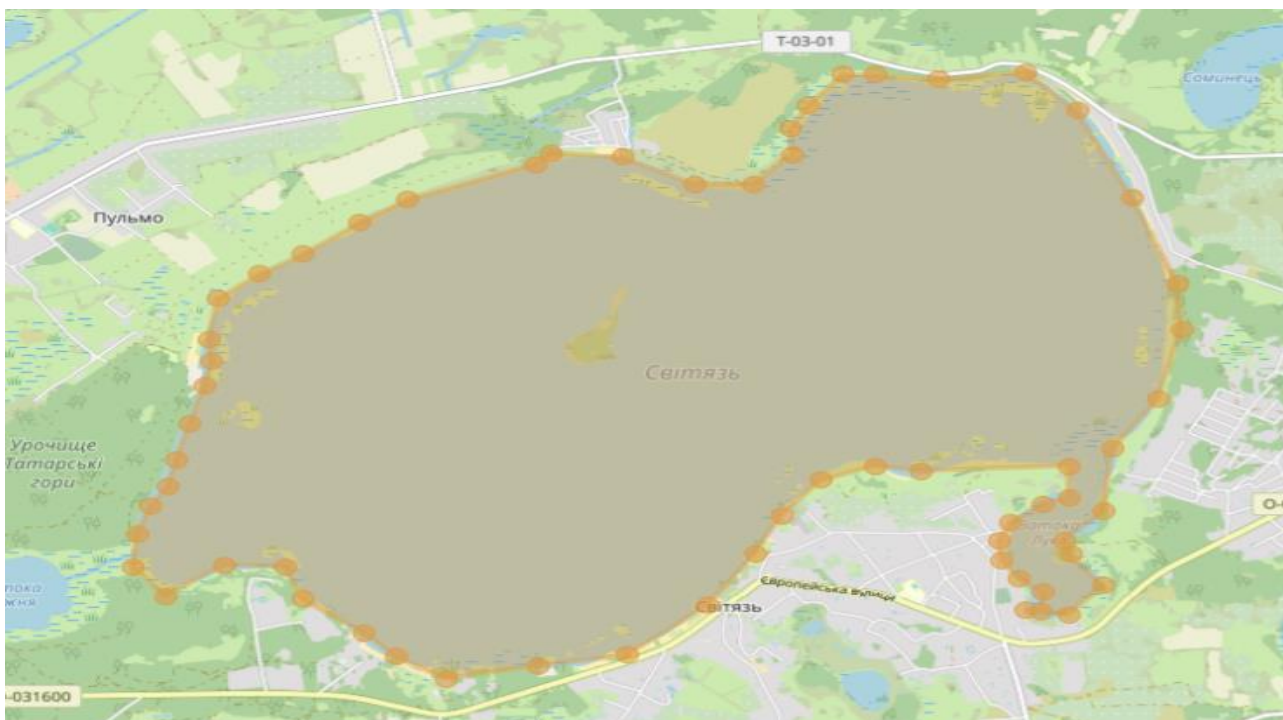


Рис. 3.23.- Вимірювання площі озера Світязь за допомогою QGIS.

Створюємо на карті шари населених пунктів, природно-заповідного фонду, озера Світязь, полігонів ТПВ, стихійних сміттєзвалищ, кладовищ, доріг та житлової забудови, що зображено на рис. 3.23.

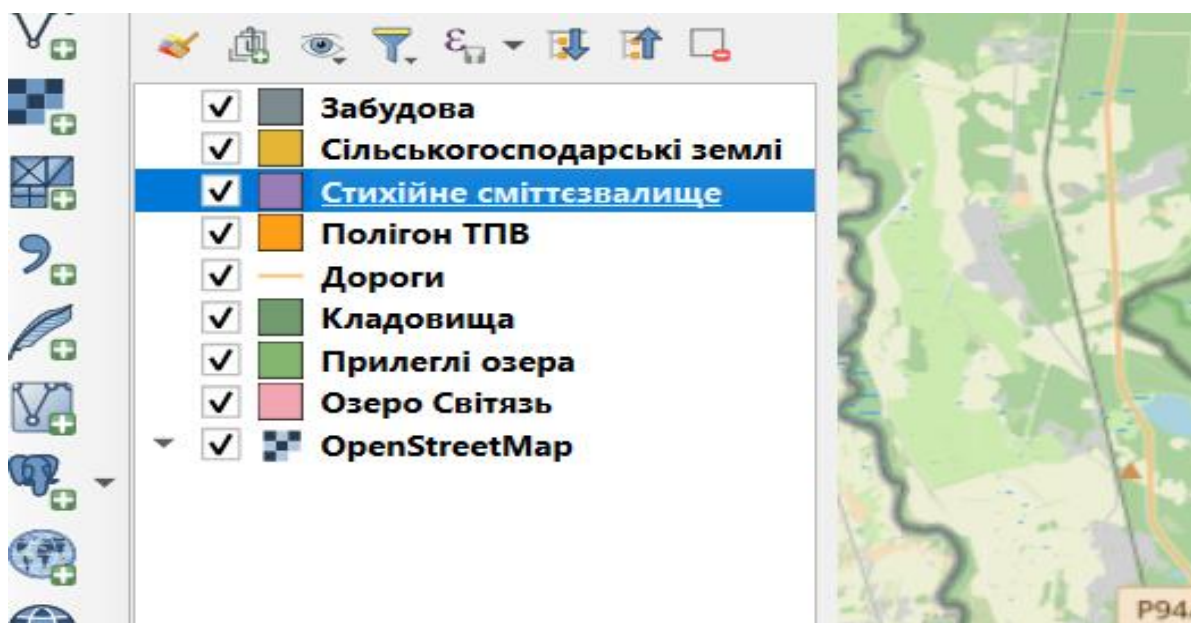


Рис. 3.24. – Створені шари цифрової карти за допомогою QGIS.

Вибираємо шар «Озеро Світязь», вмикаємо редагування, створюємо об'єкт. Зберігаємо. Зображення полігону озера Світязь на рис. 3.25. Колір фарбування вибрано браузером.

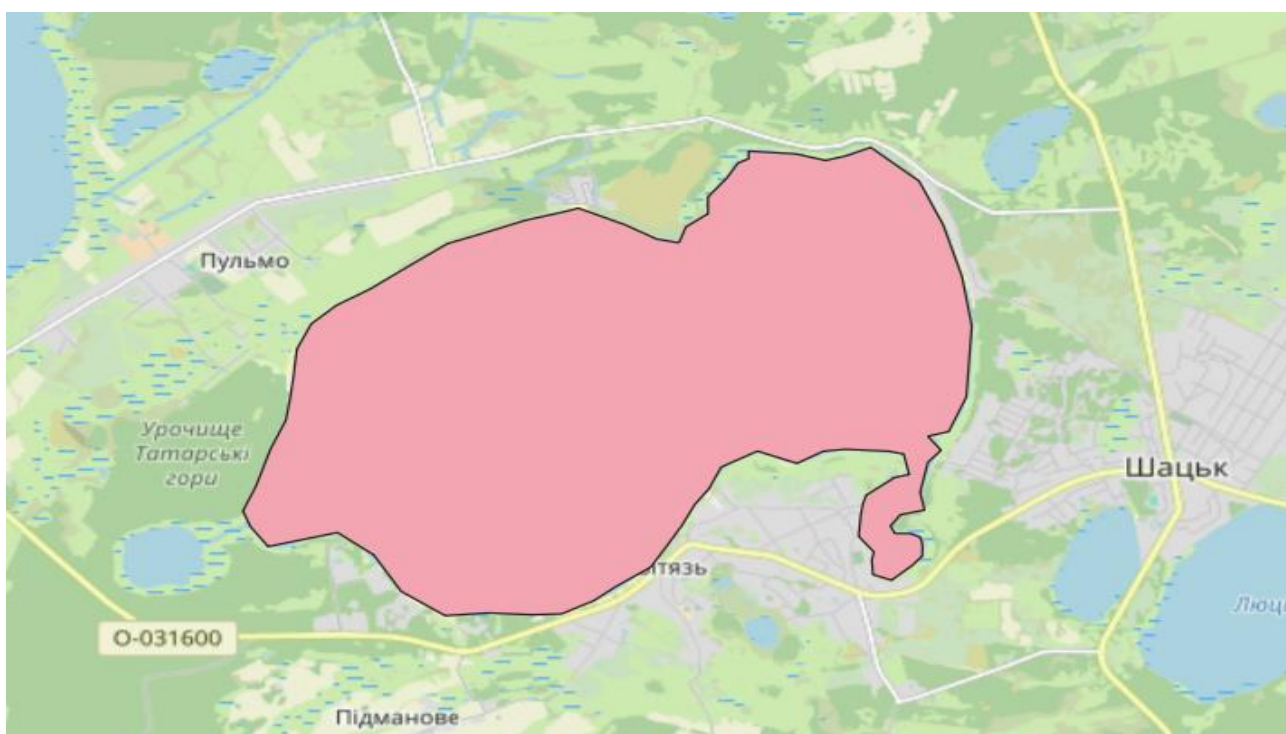


Рис. 3.25 - Зображення озера Світязь за допомогою QGIS.

Вимикаємо вказаний шар та продовжуємо редагування шару населені пункти. Аналогічно схематично зображаємо на карті населені пункти, які знаходяться біля озера.

Карта, на якій відображені усі об'єкти одночасно зображена на рис. 3.26.

Враховуючи зазначене, за допомогою браузерів Openstreetmap та QGIS вдалося побудувати цифрову карту озера Світязь та об'єктів, які його оточують.

ГІС дослідження дозволяють на відстані візуалізувати водні екосистеми, здійснювати аналіз, розрахунки навантаження, аналізувати зміни.

Враховуючи зазначене, за результатами дослідження вдалося встановити, що значне антропогенне навантаження на озеро Світязь несе рекреаційна діяльність. Озеро знаходиться у межах значної забудови населених пунктів. Навколо наявна сільськогосподарська діяльність, що

також негативно впливає на стан водойми. Пріоритетними завданнями органів місцевого самоврядування та держави в цілому мають полягати у збереженні перлини України.

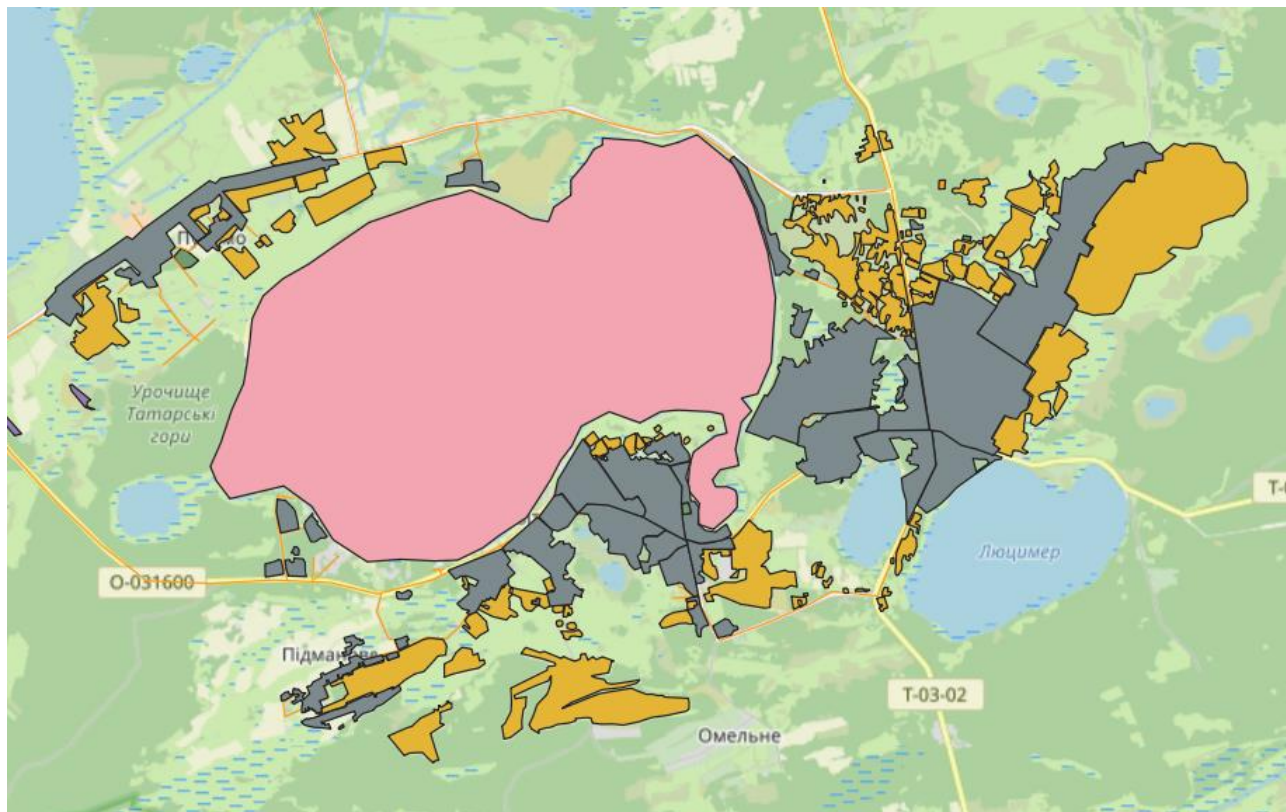


Рис. 3.26 – цифрова карта озера Світязь за допомогою QGIS.

За ГІС технологіями майбутнє екологічних досліджень, майбутнє державного управління у сфері екології. Вони мають бути першочергові у разі виникнення екологічних катастроф.

В умовах післявоєнного відновлення України за допомогою ГІС можливо буде розрахувати потреби та ризики у відновленні довкілля, звернути увагу на безпечність водних екосистем, оцифрувати дослідження.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що геоінформаційні системи є ефективним інструментом для здійснення моніторингу водних екосистем, оскільки забезпечують збір, обробку, аналіз та візуалізацію просторових даних про стан водних об'єктів.

Досліджено теоретичні основи застосування ГІС-технологій у сфері екологічного моніторингу та визначено їх роль у забезпеченні комплексного контролю за станом водних ресурсів. Встановлено, що використання геоінформаційних систем дозволяє інтегрувати дані дистанційного зондування Землі, картографічні матеріали та результати польових спостережень в єдиному інформаційному середовищі.

У ході роботи проаналізовано сучасні інструменти та сервіси для моніторингу водних екосистем та ГІС-платформи для обробки просторових даних. Визначено можливості використання супутникових знімків для оцінки екологічного стану водойм, виявлення змін берегової лінії, площі водного дзеркала, стану рослинного покриву та рівня антропогенного навантаження.

Проведено аналіз можливостей застосування спектральних індексів для оцінки стану водних екосистем. Встановлено, що використання індексів NDVI, NDSI та інших показників дозволяє отримувати оперативну інформацію про зміни природного середовища та своєчасно виявляти негативні екологічні процеси.

Проведені дослідження та побудова цифрової карти дозволила виявити шляхи забруднення озера, зміни стану водойми та біорізноманіття, виявити місця забруднювачів.

Результати роботи підтверджують, що використання ГІС та даних дистанційного зондування Землі є перспективним напрямом моніторингу водної екосистеми озера Світязь та сприяє підвищенню ефективності природоохоронної діяльності, збереженню біорізноманіття та забезпеченню сталого використання водних ресурсів регіону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Водні ресурси України : до Всесвітнього дня водних ресурсів – 22 березня : тематична виставка [Електронний ресурс] / Відділ комплексного бібліотечного обслуговування, сектор картографічних видань. – Режим доступу: (<http://www.nbuv.gov.ua/node/3972>). – Дата звернення: 01.02.2026.
2. Клименко О. М. Водні ресурси України // Екологічні науки. – 2020. – № 4. – URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/4/8.pdf>.
3. Водно-екологічні проблеми Донбасу: збірник наукових праць. – Київ, 2018. – URL: <https://sdbuvr.gov.ua/sites/sdbuvr.gov.ua/files/inline-files/vodecoproblemdon-1.pdf>.
4. Шерстюк Н. П., Ільєнко Т. В. Моніторинг водних екосистем із застосуванням ГІС-технологій : навчально-методичний матеріал. – Вінниця, 2021. – URL: https://docs.academia.vn.ua/bitstream/handle/123456789/2118/%D0%A8%D0%B5%D1%80%D1%81%D1%82%D1%8E%D0%BA_%D0%86%D0%BB%D1%8C%D1%94%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. Ковальчук І. П. Геоінформаційні технології у моніторингу водних ресурсів : навчальний посібник. – Полтава : НУПП, 2021. – URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/files/original/8/20317/1bc58776e1ce6a136a2fa910b2ed33bc6196f2f3.pdf>
6. Kreta, D., Klymenko, V., & Anpilova, Y. (2018). Засоби ДЗЗ та ГІС для просторового аналізу якості поверхневих вод та забруднення ґрунтів. Екологічна безпека та природокористування, 28(4), 120–127. (140).
7. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуська конвенція): міжнародний документ від 25.06.1998. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_015#Text
8. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>

9. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» від 19.09.2018 № 758. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text>
10. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем» від 13.06.2024 № 684. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/684-2024-%D0%BF#Text>
11. Директива 2010/75/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 24.11.2010 про промислові викиди (комплексне запобігання і контроль забруднення). – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/?uri=CELEX:32010L0075>
12. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем» від 12.07.2024 № 815. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/815-2024-%D0%BF#Text>
13. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 11.10.2021 № 1065. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1065-2021-%D0%BF#Text>
14. Екологічний моніторинг: навчальний посібник / В.М Боголюбов, А.В.Сальнікова, О.О. Ракоїд // за ред. проф. В.М. Боголюбова. – Київ: НУБіПУ, 2023. – 200 с.
15. Лукашов Д. В. Моніторинг довкілля : навчальний посібник. – Київ, 2022. – 352 с.
16. НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК «Моніторинг поверхневих вод» для студентів спеціальності 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітній ступінь «бакалавр» усіх форм навчання – Полтава: ПолтНТУ, 2017. – 82 с.
17. Добровольський В.В. Основи екології: Навчальний посібник. – Миколаїв: Видавництво ЧДУ ім. Петра Могили, 2009
18. Донченко М. В. Геоінформаційні системи : навчальний посібник / М. В. Донченко, І. І. Коваленко. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. – 132 с.

19. Геоінформаційні технології в екології : Навчальний посібник / Пітак І.В., Негадайлов А.А., Масікевич Ю.Г., Пляцук Л.Д., Шапорев В.П., Моїсєєв В.Ф/. – Чернівці:, 2012.– 273 с.
20. Поморцева О. Є. Геоінформаційні системи в задачах моніторингу : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / О. Є. Поморцева ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 242 с.
21. Шипулін В. Д. Ш63 Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник / В. Д. Шипулін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 313 с.
22. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Основи геоінформатики» для студентів напрямів підготовки: 6.090106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування; 6.090103 – Лісове і садово-паркове господарство; 6.090101 – Агрономія, спеціальність 8.09010104 – Плодівництво і виноградарство. – Умань : УНУС, 2011. – 138 с.
23. Геоінформаційні дослідження водних екосистем України: моніторинг та прогнозування. – ІваноФранківськ : Супрун В. П., 2022. – 212 с.
24. Шевченко Р. Ю. Геоінформаційні системи в екології : електронний підручник для здобувачів другого та третього рівня вищої освіти галузей знань: 10 – «Природничі науки», спеціальностей 101 – «Екологія», 103 – «Науки про Землю», 106 – «Географія»; 12 – «Інформаційні технології», спеціальність 126 – «Інформаційні системи та технології»; 18 – «Виробництво та технології», спеціальність 183 – «Технології захисту навколишнього середовища»; 19 – «Архітектура та будівництво», спеціальність 193 – «Геодезія та землеустрій». – Київ, 2022. – 224 с.
25. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2022», 6–8 квітня 2022 р., Львів–Яворів–Брюховичі. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022. – URL : http://zgt.com.ua/wp-content/uploads/2022/06/ТЕЗИ_ГЕОФОРУМ_2022.pdf.

26. Методичні рекомендації та навчальні матеріали з геоінформаційних систем і технологій : електронний ресурс. – Вінниця : ВНАУ, [б. р.]. – URL: <https://docs.academia.vn.ua/handle/123456789/1943>.
27. Демченко О. Екологічна характеристика сільських територій України: сучасні реалії // Економіка та суспільство. – 2024. – № 66. – URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-20>.
28. Карта водних об'єктів України : електронний ресурс. – URL: <https://emonitoring.davr.gov.ua>.
29. Публічна кадастрова карта України : електронний ресурс. – URL: <https://kadastrova-karta.com/>.
30. Річкова мережа України : електронний ресурс. – URL: <https://river.land.kiev.ua/atlas-rivers.php>.
31. Карта моніторингу та оцінки водних ресурсів України : електронний ресурс / Державне агентство водних ресурсів України. – URL: <https://monitoring.davr.gov.ua/>.
32. Світязь // Шацький національний природний парк : офіційний сайт. – URL: <https://shpark.com.ua/>
33. Шацькі озера // Вікіпедія. Вільна енциклопедія : електронний ресурс. – URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
34. Геоінформаційні дослідження водних екосистем України: моніторинг та прогнозування. – ІваноФранківськ : Супрун В. П., 2022. – 212 с.
35. Дистанційне зондування Землі : навчальний посібник / за ред. В. І. Лялька. – Київ : Арістей, 2008. – 292 с.
36. Лялько В. І. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи : підручник. – Київ : Наукова думка, 2011. – 576 с.
37. Google Earth Pro : програмне забезпечення для візуалізації та аналізу геопросторових даних / [Google Earth Pro](https://www.google.com/earth/about/versions/). – URL: <https://www.google.com/earth/about/versions/>.

38. Закон України «Про Державний земельний кадастр» : Закон України від 07.07.2011 № 3613-VI. – URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text>.
39. Шевченко Р.Ю. Геоінформаційні системи в екології : електронний підручник для здобувачів другого та третього рівня вищої освіти. – Київ, 2022. – 224 с.
40. Безпілотні літальні апарати у дистанційному зондуванні Землі та екологічному моніторингу : електронний ресурс. – URL: <https://www.researchgate.net/>.
41. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2022», 6–8 квітня 2022 р., Львів–Яворів–Брюховичі. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022. – URL: http://zgt.com.ua/wp-content/uploads/2022/06/ТЕЗИ_ГЕОФОРУМ_2022.pdf
42. Лялько В.І. Дистанційне зондування Землі : підручник. – Київ : Наукова думка, 2011. – 576 с.
43. Основи геоінформатики : електронний ресурс. – URL: <https://docs.academia.vn.ua/handle/123456789/1943>.
44. Донченко М.В., Коваленко І.І. Геоінформаційні системи : навчальний посібник. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. – 132 с.
45. Павленко Л.А. Геоінформаційні системи : навчальний посібник. – Харків : Вид. ХНЕУ, 2013. – 260 с.
46. ArcGIS: програмний комплекс для створення, аналізу та візуалізації геопросторових даних / [Esri Official Website](https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview). – URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>.
47. Price M. Mastering ArcGIS Pro. – 4th ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2023.
48. Застосування ГІС у природоохоронній справі на прикладі відкритої програми QGIS [Текст] : навч. посіб. / О. Часковський, Ю. Андрейчук, Т.Ямелинець. — Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, Вид-во Простір-М, 2021. — 228 с. — ISBN 978-617-7746-79-8.

49. Google Earth Engine : хмарна платформа для аналізу геопросторових даних / [Google Earth Engine](https://earthengine.google.com/). – URL: <https://earthengine.google.com/>.
50. Шара С. Ю. Проблеми моніторингу поверхневих вод басейну Дніпра // Водні біоресурси та аквакультура. – 2024.
51. Бурачек В. Г., Железняк О. О., Шевченко Т. Г. Основи геоінформаційних систем : навчальний посібник. – Київ : НАУ, 2011. – 512 с.
52. Google Earth : геоінформаційна система для візуалізації та аналізу просторових даних / [Google Earth Official Website](https://earth.google.com/). – URL: <https://earth.google.com/>.
53. Зацерковний В. І., Плічко Л. В. Аналіз підходів щодо створення бази геоданих ГІС моніторингу якості поверхневих вод. Наукоємні технології. 2018, № 37, с. 114–124.
54. Kraak M.-J., Ormeling F. Cartography: Visualization of Geospatial Data. – 3rd ed. – New York : Routledge, 2020. – 222 p.