

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ,  
ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Тамара ДУДАР  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 101 «ЕКОЛОГІЯ»,  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»

**Тема: «ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЗОННОЇ ЕВТРОФІКАЦІЇ ПІВДЕННОЇ  
ЧАСТИНИ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ЗА ДАНИМИ  
КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ»**

Виконавець: студентка групи ФЕБІТ-401Б Литовченко Марина Іванівна  
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: кандидат технічних наук Лубський Микола Сергійович  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Андріан ЯВНЮК  
(П.І.Б.)

КИЇВ 2023

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра екології

Спеціальність, освітньо-професійна програма: спеціальність 101 «Екологія»,  
ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Тамара ДУДАР

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Литовченко Марини Іванівни

1. Тема роботи «дослідження сезонної евтрофікації південної частини Київського водосховища за даними космічного знімання»

затверджена наказом ректора від «19» квітня 2023р. №594/од.

2. Термін виконання роботи: з 29.05.2022 по 25.06.2023р.

3. Вихідні дані роботи: багатоспектральні знімки Landsat-8

4. Зміст пояснювальної записки: дослідження проявів евтрофікації в Київському морі шляхом обробки багатоспектральних знімків супутника Landsat-8.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, графіки.

## 6. Календарний план-графік

| № з/п | Завдання   | Термін виконання       | Підпис керівника |
|-------|--|------------------------|------------------|
| 1     | Дослідження поняття евтрофікації її рушійних сил   | 12.05.2023-29.05.2023  |                  |
| 2     | Аналіз проблеми евтрофікації у Київському водосховищі  | 05.05.2023-20.05.2023  |                  |
| 3     | Відбір критеріїв та методів аналізу евтрофікації Київського водосховища за даними дистанційного зондування Землі | 26.05.2023             |                  |
| 4     | Картування та обчислення інтенсивності евтрофікації за даними дистанційного зондування Землі                     | 27.05. 2023-29.05.2023 |                  |
| 5     | Створення маски на готовому зображенні   | 29.05.2023-01.06.2023  |                  |
| 6     | Узагальнення всієї інформації, висновки до роботи  | 02.06.2023-09.06.2023  |                  |

7. Дата видачі завдання: « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Керівник дипломної роботи (проекту): \_\_\_\_\_ Микола ЛУБСЬКИЙ  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: \_\_\_\_\_ Марина ЛИТОВЧЕНКО  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Дослідження сезонної евтрофікації південної частини Київського водосховища за даними космічного знімання»: 42 сторінки, 26 рисунків, 1 таблиця, 19 використаних джерел.

Об'єкт дослідження: оцінити вплив сезонної евтрофікації Київського моря за допомогою супутникових багатоспектральних знімків Landsat-8 на водосховище.

Мета роботи: дослідити ступінь впливу евтрофікації за допомогою супутникових знімків в Київському водосховищі та показати динаміку прояву евтрофікації на протязі 2015-2022 років.

Методи дослідження: оброблення, аналіз супутникових знімків досліджуваного водоймища, дистанційний метод визначення NDVI, порівняння космічних знімків з 2015 року по 2022 рік.

Результати дипломної роботи рекомендується використовувати під час проведення наукових досліджень та в практичній діяльності фахівців-екологів.

ГІДРОЕКОСИСТЕМИ, СТІЙКІСТЬ ГІДРОЕКОСИСТЕМ, ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ІНДЕКС, ЕВТРОФІКАЦІЯ, КОСМІЧНІ ЗНІМКИ, LANDSAT, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ .....   | 7  |
| ВСТУП.....   | 8  |
| РОЗДІЛ 1. Явище евтрофікації.....  | 10 |
| 1.1. Поняття евтрофікації, основні рушійні сили, які спонукають виникнення<br>евтрофікації. ....   | 10 |
| 1.1.1. Основні рушійні сили евтрофікації.....  | 11 |
| 1.2. Викиди азотовмісних речовин, застій русла, температурний режим, викиди<br>азотовмісних речовин. ....  | 12 |
| 1.2.1. Застій русла. ....  | 13 |
| 1.2.2. Температурний режим. ....   | 13 |
| 1.3. Каскад водосховищ, взаємозв'язок з процесом евтрофікацій, зв'язок з<br>будуванням водосховищ, сповільнення русла річки через евтрофікацію. .... | 14 |
| 1.4. Про супутники дистанційного зондування Землі. ....  | 15 |
| 1.4.1. Програма LANDSAT.....   | 15 |
| 1.4.2. Геоінформаційна система QGIS.....   | 18 |
| Висновки до розділу .....  | 18 |
| РОЗДІЛ 2. Методика дослідження явища евтрофікації.....   | 20 |
| 2.1. Київське море, характеристика, опис, гідрологія. ....   | 20 |
| 2.2. Методика дослідження евтрофікації Київського водосховища .....  | 22 |
| 2.3. Чинники евтрофікації і їх прояв зеленої рослинності на супутникових знімках<br>.....  | 23 |
| 2.4. Вегетаційний індекс EVI .....   | 26 |
| Висновки до розділу .....  | 27 |
| РОЗДІЛ 3. Реалізація дослідження евтрофікації за даними космічного знімання  |    |

|   |    |
|---|----|
| Landsat .....   | 29 |
| 3.1. Розрахунок вегетаційного індексу EVI .....                                 | 29 |
| 3.2. Оцінка ступеню евтрофікації на основі значення вегетаційного індексу ..... | 30 |
| 3.3. Обчислення площі евтрофікації .....  | 34 |
| Висновки до розділу .....   | 37 |
| ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ.....   | 39 |
| СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                        | 42 |

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі;

ПС – природне середовище;

LANDSAT – назва серії космічних супутників USGS;

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (нормалізований диференційний вегетаційний індекс);

USGS – US Geological Survey;

ГІС – геоінформаційна система;

ІЧ – інфрачервоний;

СІ – Chlorophyll-a Index;

ЕVІ – Enhanced Vegetation Index (Покращений індекс вегетації).

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Дослідження сезонної евтрофікації Київського водосховища з використанням даних космічного знімання має велике значення в контексті збереження довкілля та ефективного використання водних ресурсів.

Водосховища є важливими джерелами питної води, рибного господарства та рекреаційної діяльності. Проте, надмірне накопичення поживних речовин, таких як азот і фосфор, спричиняє процес евтрофікації, який серйозно підриває екологічний баланс водних екосистем. Це призводить до зменшення різноманіття водних організмів, погіршення якості води та загрози здоров'ю людей.

Використання космічного знімання, зокрема дані від супутників серії Landsat, які є потужним інструментом для вивчення стану екосистем, дозволяють аналізувати зміни в рослинному покриві та концентрації поживних речовин, пов'язаних з евтрофікацією.

Дослідження сезонної евтрофікації Київського водосховища з використанням космічного знімання має велику актуальність для розуміння масштабів та причин цього явища, а також для розробки стратегій управління та моніторингу водних ресурсів. Результати цього дослідження можуть сприяти розробці екологічно орієнтованих рішень та заходів для збереження екологічної стійкості водосховища та забезпечення якості води.

Дослідження сезонної евтрофікації та використання даних космічного знімання в контексті Київського водосховища можна знайти у роботах таких вчених та вчених груп: Бобровицької Н.С., Євсєєва Т.І., Запорожця О.П., Васильєва О.М., Кравченко О.С., Литвинчука Л.М., Грищенка А.О., Сала А.Ю., Сингаївського І.В. та інших вітчизняних і зарубіжних вчених.

"Дослідження евтрофікації Київського водосховища з використанням даних супутникового зондування" – автори Бобровицька Н.С., Євсєєва Т.І., Запорожець О.П.;

"Оцінка впливу евтрофікації на водну рослинність Київського водосховища за



допомогою даних космічного зондування" – автори Васильєва О.М., Кравченко О.С., Литвинчук Л.М.;

"Аналіз динаміки евтрофікації Київського водосховища на основі даних супутникового зондування" – автори Грищенко А.О., Сала А.Ю., Сингаївський І.В.

***Мета і завдання виконання дипломної роботи.***

Мета роботи – оцінити ступінь впливу евтрофікації на Київське водосховище та показати сезонні зміни в прояву евтрофікації за даними космічних багатоспектральних знімків.

Завдання роботи:

1. Дослідити і оцінити ступінь евтрофікації Київського водосховища;
2. Виконати розрахунок сезонної евтрофікації і показати динаміку цвітіння водойм;
3. Зробити висновок щодо негативного впливу проявів евтрофікації

***Об'єкт дослідження*** – південна частина Київського водосховища

***Предмет дослідження*** – евтрофікація південної частини Київського водосховища

***Методи дослідження*** – оброблення, компонування даних та аналіз супутникових знімків досліджуваної території, дистанційний метод визначення NDVI, побудова часового ряду зміни вегетаційної активності на поверхні водосховища, порівняння космічних знімків з 2015 року по 2022 рік.

***Особистий внесок випускника:*** за допомогою не прямого (дистанційного методу) проводився аналіз зміни рослинності території Київського водосховища який показав деградацію рослинного покриву.

# РОЗДІЛ 1

## ЯВИЩЕ ЕВТРОФІКАЦІЇ

### 1.1. Поняття евтрофікації, основні рушійні сили, які спонукають виникнення евтрофікації

Евтрофікація - це процес надмірного збагачення водних екосистем поживними речовинами, зокрема азотом і фосфором. Ці поживні речовини можуть потрапляти в водойми через природні джерела (наприклад, витоки або вивідні води) або внаслідок людської діяльності (забруднення стічними водами, використання добрив у сільському господарстві, інтенсивна промислова діяльність тощо)[18].

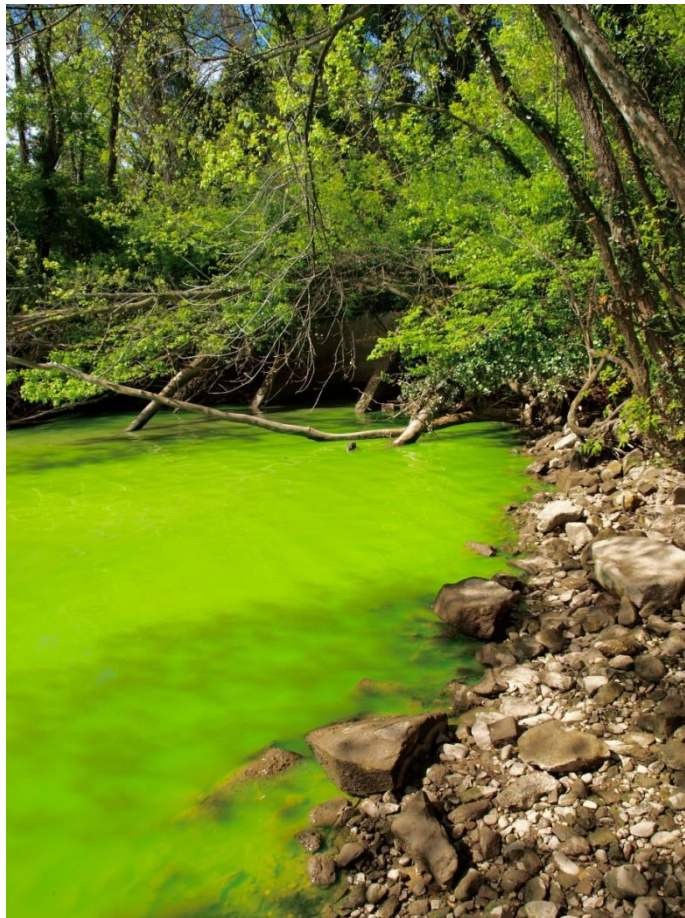


Рис. 1.1. Приклад евтрофікації

Надмірна концентрація поживних речовин викликає швидке зростання водоростей і рослин, таких як водяна кропива і водорість, водяна кульбаба. Це явище може призводити до утворення густих покривів водних рослин, що негативно впливає на екологічний баланс водних екосистем.

Наслідком евтрофікації є зниження концентрації кисню у воді, особливо вночі, коли рослини виробляють менше кисню через відсутність світла. Це може спричинити смерть риби та інших водних організмів, які потребують достатньої кількості кисню для життєдіяльності [14].

Евтрофікація є серйозною проблемою, яка впливає на якість води, різноманіття видів та екологічну стійкість водних екосистем. Дослідження цього явища є важливим для розуміння його механізмів, виявлення причин та розробки ефективних стратегій управління водними ресурсами з метою запобігання евтрофікації та збереження природного середовища [1, 12].

#### 1.1.1. Основні рушійні сили евтрофікації.

Основні фактори, що сприяють евтрофікації, включають:

- **Поживні речовини (азот і фосфор):** Зайве накопичення азоту і фосфору у водних екосистемах є головною причиною евтрофікації. Ці речовини можуть походити як з природних джерел, таких як ґрунти і річки, так і від антропогенної діяльності, наприклад, використання добрив у сільському господарстві або стічних вод.
- **Забруднення стічними водами:** Викиди стічних вод з міських та промислових джерел можуть містити велику кількість поживних речовин, які потрапляють у водні системи і сприяють евтрофікації. Це можуть бути стічні води з комунальних систем, промислові відходи або несанкціоноване викидання відходів у водойми.
- **Зміни використання земель:** Зміна використання земель, наприклад, зменшення лісових площ, розорання ґрунту для сільського господарства або

забудова, може призводити до змиву поживних речовин з ґрунту до річкових систем, збільшуючи їх концентрацію і сприяючи евтрофікації.

- Кліматичні зміни: Зміни в кліматі, такі як збільшення температури повітря і зміна розподілу опадів, можуть впливати на рух поживних речовин у водних системах. Наприклад, збільшення випаровування і зниження рівня води в річках може сприяти накопиченню поживних речовин та евтрофікації.

- Інтродукція інвазивних видів: Введення інвазивних видів рослин або тварин, які швидко розмножуються і споживають багато поживних речовин, може призводити до евтрофікації. Ці види змінюють балансову систему, використовуючи поживні речовини, які інші організми не встигають використовувати.

Розуміння цих основних факторів, що сприяють евтрофікації, є важливим для розробки ефективних стратегій управління та запобігання цьому процесу у водних екосистемах [1, 14].

## **1.2. Викиди азотовмісних речовин, застій русла, температурний режим, викиди азотовмісних речовин**

Евтрофікація водойм може призводити до збільшення концентрації азотовмісних речовин, таких як амоній, нітрити та нітрати, в воді. Це може статися через викиди забруднень від промислових та сільськогосподарських ділянок, необроблені стічні води, відходи тваринництва, забруднення атмосфери, та інші рушійні сили.

Азотовмісні речовини можуть бути використані рослинами для свого росту, включаючи водорості, які часто домінують в евтрофікованих водоймах. Проте, якщо їх надмірно, то це може призвести до серйозних наслідків для екосистем водойм та здоров'я людей.

Збільшення концентрації азотовмісних речовин може сприяти збільшенню кількості водоростей та інших рослин, які використовують ці речовини для свого росту. Надмірне збагачення поживними речовинами може призводити до виснаження кисню у воді, що може спричинити смерть риб та інших водних

організмів.

Крім того, велика кількість азоту у воді може призвести до утворення небезпечних токсинів, таких як ціанобактерії (синьо-зелені водорості), які можуть бути шкідливими для людського здоров'я та тварин. Такі токсини можуть входити до харчових ланцюгів через забруднену воду або від риб та інших тварин, що живуть в такій воді [2, 3].

#### 1.2.1. Застій русла.

Евтрофікація може призводити до застою русла річок та інших водойм, що має серйозні наслідки для водної екосистеми.

Накопичення водоростей та інших рослин у воді може зменшити притік кисню до води, особливо вночі, коли рослини не проводять фотосинтез. Це може призвести до того, що водні організми не зможуть дихати, що може призвести до їхньої смерті. Застій русла також може призводити до зменшення видів риб та інших водних організмів, що може вплинути на екосистему в цілому.

Крім того, застій русла може сприяти розвитку шкідливих бактерій та інших мікроорганізмів, що може призвести до забруднення води та негативно вплинути на здоров'я людей, які використовують цю воду для пиття або інших цілей.

Одним з прикладів застою русла внаслідок евтрофікації є Мертве море, яке знаходиться на кордоні Ізраїлю та Йорданії. Воно є одним з найбільш солоних водойм на Землі, але через накопичення хімічних речовин та інших забруднювачів в його воді, рівень солі у воді збільшується, що призводить до застою русла та інших негативних наслідків для водної екосистеми [3].

#### 1.2.2. Температурний режим.

Евтрофікація може впливати на температурний режим водойму. Зазвичай, у водоймах з високим рівнем евтрофікації температура води може збільшуватися, особливо влітку, коли рослини та водорості активно ростуть і забирають більше

кисню з води.

Накопичення органічних речовин у воді також може сприяти зменшенню притоку кисню в воду, що може призвести до збільшення температури води в межах термокліни, де більш тепла вода лежить на верхніх шарах, а більш холодна вода - на дні водойми.

Крім того, розпад водоростей та інших рослин у воді може також вплинути на температуру води. Під час розпаду органічних речовин виділяється тепло, що може призвести до збільшення температури води в місцях їх розпаду.

Однак, слід зазначити, що вплив евтрофікації на температурний режим водойму може бути різним і залежить від багатьох чинників, таких як погодні умови, глибина води, склад та кількість органічних речовин у воді та інші фактори [3].

### **1.3. Каскад водосховищ, взаємозв'язок з процесом евтрофікацій, зв'язок з будівництвом водосховищ, сповільнення русла річки через евтрофікацію**

Каскад водосховищ може стати жертвою евтрофікації, що призводить до заростей водоростей та рослин. Це може негативно впливати на роботу каскаду, зменшувати пропускну здатність та кисневий режим води. Запобігання евтрофікації включає зменшення викидів нутрієнтів, встановлення систем очистки води та видалення заростей. Будівництво водосховищ також може сприяти евтрофікації шляхом зниження рівня кисню та зміни гідрологічного режиму. Зменшення впливу включає встановлення систем очистки, видалення заростей та моніторинг якості води. Для існуючих водосховищ можна використовувати системи аерації та правильне управління водною системою для збереження якості води та гідрологічного режиму. Моніторинг допомагає виявляти ознаки евтрофікації та коригувати заходи за необхідності [6, 14].

Евтрофікація може сповільнювати русло річки через збільшення рослинності та утворення осадів на дні. Це можна запобігти шляхом зменшення викидів речовин та контролю за використанням добрив на землі. Евтрофікація також зменшує глибину русла та швидкість течії. Накопичення біомаси на дні річки також

призводить до сповільнення течії. Це явище залежить від різних факторів, таких як клімат та розмір річки [6, 7].

#### **1.4. Про супутники дистанційного зондування Землі**

Супутники дистанційного зондування землі (ДЗЗ) - це штучні супутники, які обертаються навколо Землі та призначені для збору інформації про земну поверхню. Супутники ДЗЗ дозволяють отримувати інформацію про земну поверхню у великих масштабах, що дозволяє вивчати процеси, які відбуваються на ній. Ці дані можуть бути використані для розробки стратегій збереження природних ресурсів та охорони навколишнього середовища [13].

Зокрема, дані, отримані з супутників ДЗЗ, можуть бути використані для моніторингу процесу евтрофікації водойм та річок. Супутники ДЗЗ можуть допомогти визначити рівень забруднення води, вміст поживних речовин та інших хімічних речовин у воді, а також дозволяють відслідковувати зміни в ландшафтах та місцевих екосистемах:

- NASA Earth Observations;
- European Space Agency;
- USGS EarthExplorer;
- Copernicus;
- Landsat;
- Sentinel Hub;
- Google Earth Engine;
- Remote Sensing Technologies Center of Japan;
- Indian Remote Sensing;
- China Centre for Resources Satellite Data and Application.

##### **1.4.1. Програма LANDSAT.**

Програма супутників Landsat - це довготривала програма, яка була розпочата у



1972 році американськими урядовими агентствами, щоб створити систему наземного спостереження Землі за допомогою супутників.

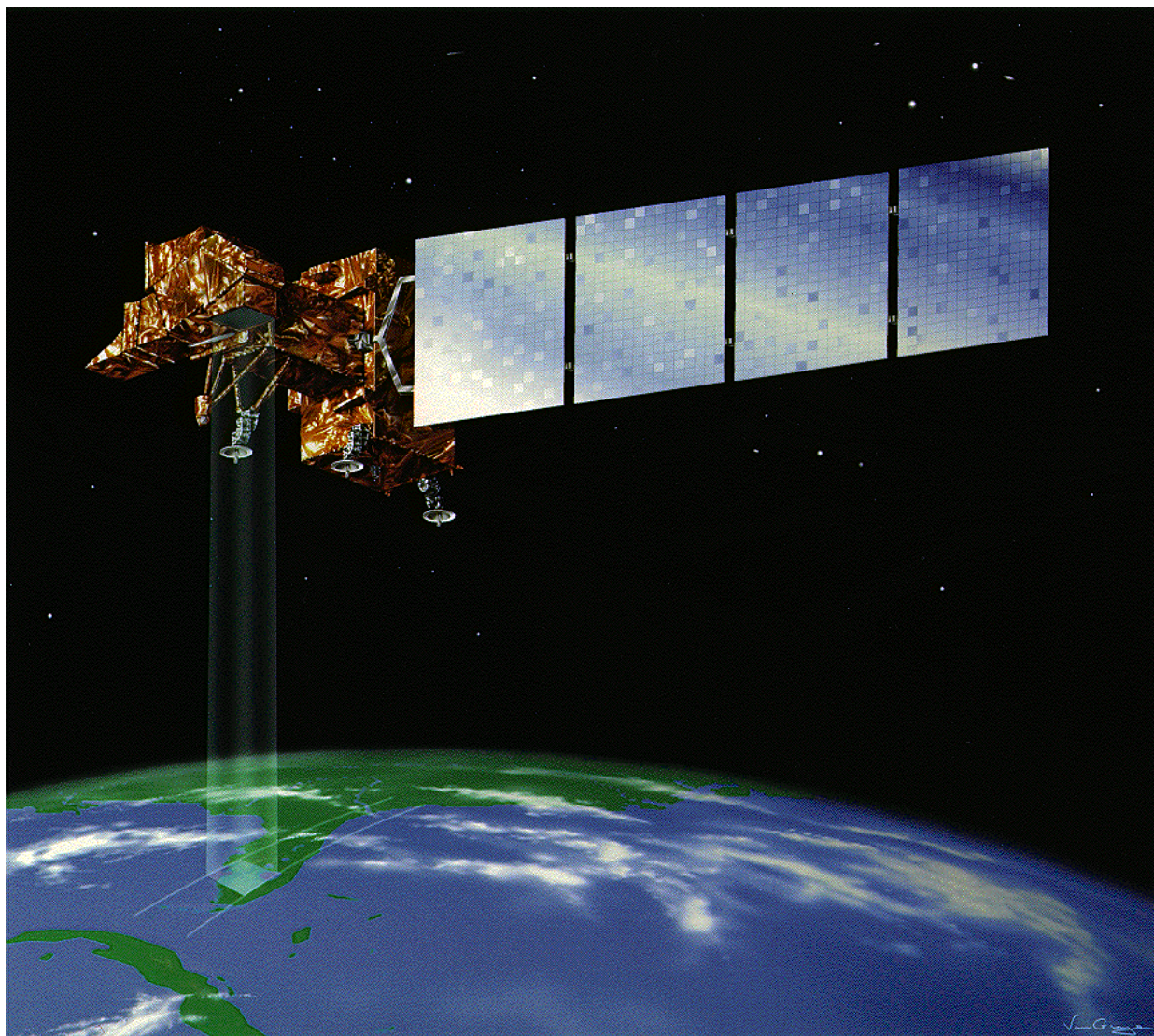


Рис. 1. 2. Система Landsat

Супутники Landsat були створені для збору даних про Землю та дозволяють наочно досліджувати певні території в різний час. Вони здатні збирати зображення у видимому та інфрачервоному спектрах, що дає можливість отримувати багато інформації про поверхню Землі. Зображення отримуються на основі обробки інформації, зібраної за допомогою радіометрів на борту супутника, які дозволяють визначати характеристики поверхні, такі як рельєф, висота рослинності та їхній тип.

Програма Landsat стала однією з найважливіших програм для дослідження та



моніторингу змін на поверхні Землі, оскільки дозволяє досліджувати території в різних масштабах, від окремих полів до великих регіонів та континентів. Ця програма дозволяє вченим вивчати та аналізувати різні екологічні та геологічні процеси, такі як зміни лісового покриву, ерозія ґрунту, повені та інші.

Програма Landsat є однією з найстаріших та найбільш успішних програм спостереження за Землею. Її запуск був ініційований у 1972 році, і з того часу було запущено вже більше 8 супутників. Кожен супутник відправляє дані на Землю, які можуть бути використані для аналізу змін на поверхні Землі.

Основна мета програми Landsat - забезпечення глобальної інформації про зміни на поверхні Землі. Це досягається завдяки тому, що дані Landsat охоплюють всю поверхню Землі, що дозволяє відслідковувати зміни в різних регіонах світу.

Одна з особливостей програми Landsat полягає в тому, що вона забезпечує дані у різних спектральних діапазонах - від видимого світла до інфрачервоного. Це дозволяє отримати інформацію про різні аспекти змін на поверхні Землі - від змін в рослинному покриві до змін у складі ґрунту [13].

Усі дані Landsat зберігаються у відкритому доступі на сайті US Geological Survey (USGS) та можуть бути використані всіма зацікавленими користувачами для наукових досліджень, промислових потреб, а також для громадських проектів з охорони навколишнього середовища.

Програма Landsat є важливим інструментом для вивчення та моніторингу змін на поверхні Землі, що дозволяє зрозуміти вплив природних та людських факторів на довкілля. Її дані є відкритими та доступними для всіх, що дозволяє використовувати їх для вирішення різних наукових, промислових та громадських завдань.

Дані Landsat допомагають в різних проектах з моніторингу змін клімату та оцінки екологічної стійкості. Інформація, зібрана програмою, може бути використана для прогнозування ризиків повеней та зсувів ґрунту, оцінки стану екосистем та визначення оптимальних стратегій збереження біорізноманіття.

Також дані Landsat можуть бути використані для забезпечення інформації про зміни використання землі, такі як зміни в землеробстві та розвиток міських територій. Це дає змогу оцінити вплив людської діяльності на природні екосистеми

та допомагає у плануванні та впровадженні ефективних стратегій розвитку та охорони навколишнього середовища [13].

#### 1.4.2. Геоінформаційна система QGIS.

QGIS, що раніше відомий як «Quantum GIS», є безкоштовною кросплатформеною геоінформаційною системою (ГІС). Це одна з найбільш функціональних та зручних ГІС, що динамічно розвивається.

Основне призначення QGIS полягає в обробці та аналізі просторових даних, а також у створенні картографічної продукції. Інтерфейс системи QGIS побудований на базі бібліотеки Qt, а пакет має гнучку систему розширень, які можуть бути створені на мовах C++ і Python. У системі QGIS підтримуються різноманітні векторні та растрові формати, включаючи ESRI Shapefile і GeoTIFF. Користувачі GIS QGIS можуть створювати карти з безліччю шарів і використовувати різні картографічні проєкції. Карти можуть бути зібрані в різні формати та використовуватися для різних цілей. У системі QGIS карти можуть складатися з растрових або векторних шарів, які зберігаються у вигляді точок, ліній або полігонів. Для растрових зображень підтримуються різноманітні формати. Крім того, програмне забезпечення може виконувати геоприв'язку зображень [1].

У QGIS підтримуються різноманітні формати, включаючи DXF, шейп файли, покриття та персональні бази геоданих, а також MapInfo, PostGIS і інші формати. Крім того, система QGIS підтримує вебсервіси, такі як Web Map Service та Web Feature Service, що дозволяють використовувати дані з зовнішніх джерел.

### 1.5. Висновки до розділу

В розділі визначено поняття евтрофікації та основні чинники, що сприяють її розвитку, розглянули окремі аспекти, які впливають на розвиток евтрофікації, зокрема викиди азотовмісних речовин, стан русла водоймища та вплив

температурного режиму; розглянули взаємозв'язок між процесом евтрофікації та будівництвом водосховищ, а також вплив евтрофікації на сповільнення русла річки; використання супутників, зокрема програми LANDSAT, для аналізу евтрофікації та інших процесів. Також згадали програмне забезпечення QGIS, яке використовується для обробки та аналізу даних з супутників. Окремо зазначили про формати даних, що використовуються в цьому контексті.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ЕВТРОФІКАЦІЇ

#### 2.1. Київське море, характеристика, опис, гідрологія

Київське водосховище, відоме як Київське море, - одне з найбільших водосховищ на річці Дніпро.



Рис. 2.1. Евтрофікація Київського водосховища в районі греблі

Київське водосховище, створене у 1964—1966 рр., є передостаннім з великих водосховищ на річці Дніпро. Гребля розташована близько міста Вишгород, на верхній ділянці Дніпра. Водосховище простягається від Вишгорода до села Дніпрове на Дніпрі, і від гирла Прип'яті до Чорнобиля, а також на Тетереві до села Богдани. Його площа - понад 922 км<sup>2</sup>, довжина - близько 110 км, ширина - до 12 км, але іноді

звужується до 3 км. Глибина найбільша біля греблі (до 15 м), середня глибина - 4,1 м, а мілководдя (до 2 м) охоплює більшу частину площі водосховища. Київська гідроелектростанція використовує перепад висот для виробництва електроенергії.

В 1964-1966 рр. було створено Київське водосховище шляхом побудови греблі для Київської ГЕС. Водосховище має такі характеристики:

- Нормальний підпірний рівень - 103,0 м, рівень мертвого об'єму - 101,5 м.
- Площа за умов НПР - 922 км<sup>2</sup>, об'єм - 3,73 км<sup>3</sup>.
- Довжина - 110 км, максимальна ширина - 20 км.

З часом площа водосховища зменшилася до 824 км<sup>2</sup>, а довжина - до 96 км, через замулення та заростання. Рівень води коливається до 1,5 м через сезонне регулювання стоку. Води річок Тетерів, Ірпінь та Прип'ять впадають в водосховище з правого берега.

Київське водосховище використовується для покращення умов судноплавства, регулювання стоку, гідроенергетики, рибного господарства та рекреації. Воно поділяється на декілька ділянок з різними характеристиками. Дніпровське та Прип'ятське плеса є мілководними і відрізняються кольором води. Верхні частини плеса мають схожі властивості з річками Дніпра та Прип'яті. Нижні розширені частини плеса мають озероподібний характер і заростають рослинами й водоростями. Води Тетерівського плеса менш впливають на водний режим та рослинний і тваринний світ водосховища, але можуть спричиняти цвітіння води. Основне водосховище можна поділити на три частини: верхня частина з мілководдям, середня частина з глибоководними ділянками і нижня частина, яка є найглибшою та майже без мілководдя.

Протягом року рівень води в водосховищі змінюється. Знижується з січня до середини березня, підвищується до середини квітня під впливом паводкових вод, а потім знову падає до квітня-червня. Підвищення рівня спостерігається на початку зими під впливом осінніх дощів, але потім знову знижується.

Водосховище поділяється на зону постійного затоплення і осушувану зону, яка містить дві підзони. Верхня підзона тимчасового затоплення триває з середини березня до кінця червня і має луки. Нижня підзона тимчасового осушення відводить

воду на початку вересня і має переважно земноводні рослини [6].

## **2.2. Методика дослідження евтрофікації Київського водосховища**

Дослідження евтрофікації є важливим напрямком наукових досліджень в галузі екології та охорони водних ресурсів. Евтрофікація є процесом збільшення концентрації поживних речовин (наприклад, азоту та фосфору) у водоймах, що призводить до надмірного росту водних рослин, водоростей та інших організмів.

Дослідження евтрофікації включають в себе різноманітні аспекти. По-перше, проводяться вимірювання та аналіз хімічного складу води, зокрема рівнів поживних речовин, щоб встановити наявність евтрофікації та оцінити її ступінь. Це може включати збір проб води з різних точок водойм та їх лабораторний аналіз.

Дослідники також здійснюють моніторинг екологічних показників, які свідчать про наслідки евтрофікації. Це може включати оцінку росту водоростей, водних рослин та інших організмів, визначення кисневого режиму, вимірювання турбідності води, аналіз мікробіологічних показників тощо.

Сучасні технології дистанційного зондування, такі як супутникові знімки, є важливим інструментом для дослідження евтрофікації. Вони дозволяють отримувати інформацію про широкі території та динаміку змін у водних ресурсах. Аналіз супутникових знімків дозволяє виявляти зони евтрофікації, визначати їх розміри та інтенсивність, а також встановлювати зв'язки з іншими факторами, такими як викиди азотовмісних речовин чи зміни використання землі.

Дослідження евтрофікації включають аналіз хімічного складу води, моніторинг екологічних показників, моделювання та аналіз даних, а також використання супутникового зондування. Ці дослідження спрямовані на розуміння процесів, що відбуваються в водних екосистемах, прогнозування майбутніх змін та розроблення стратегій управління та збереження водних ресурсів для запобігання негативним наслідкам евтрофікації.

В даній роботі розглянута багаторічна евтрофікація Київського водосховища за

даним космічного знімання супутника Landsat-8 Період, за який реалізовано знімання та кольорове зображення водосховища із максимумом евтрофікації.

### **2.3. Чинники евтрофікації і їх прояв зеленої рослинності на супутникових знімках**

Евтрофікація пов'язана з викидами азоту у водойми та застоями русла. Супутникові знімки виявляють зони з високою зеленою рослинністю, що свідчить про евтрофікацію. Також аналіз знімків допомагає встановити залежність від температури. Дослідження евтрофікації знімками дає змогу розуміти розподіл та виявляти проблемні ділянки для подальшого управління водними екосистемами [11].

Евтрофікація може бути виявлена за допомогою вегетаційних індексів, таких як індекс EVI та других подібних показників. Цей індекс використовується для вимірювання активності фотосинтезу та кількості зеленої рослинності.

Під час евтрофікації водних систем внаслідок викидів азотних сполук та інших поживних речовин, спостерігається збільшення зеленої рослинності, зокрема водоростей та водних рослин. Це призводить до зміни спектральних характеристик води, що відображається в вегетаційних індексах.

За допомогою вегетаційних індексів, таких як EVI, можна виявляти зони з високою концентрацією зеленої рослинності, що може свідчити про евтрофікацію. Високі значення EVI вказують на збільшену активність фотосинтезу та біомаси рослин.

Аналізуючи зміни в значеннях вегетаційних індексів на різних часових відрізках, можна спостерігати динаміку евтрофікації та встановлювати залежності між рівнями поживних речовин та інтенсивністю зеленої рослинності.

Веgetаційні індекси є корисним інструментом для виявлення та моніторингу евтрофікації водних систем, допомагаючи встановлювати зв'язки між концентрацією поживних речовин та зеленою рослинністю.

Рослинність проявляється у спектральному ІЧ каналі супутникових знімків.

Цей канал використовується для оцінки фізіологічного стану рослин і виявлення їхньої ростої активності. Він відображає властивості рослин, такі як їхня поглинна здатність в ІЧ діапазоні, різниця у випромінюванні порівняно з нерослинними об'єктами та індекси вегетації, такі як NDVI і EVI. Це дозволяє отримати точну інформацію про рослинний покрив та наявність водних тіл.

Спектральні властивості рослинності в ІЧ каналі є важливими для вивчення фізіологічного стану рослин і визначення їхнього типу та розподілу на супутникових знімках. Рослини випромінюють тепло у ІЧ діапазоні, що може бути використане для оцінки теплового стану та розрізнення рослинних і нерослинних об'єктів. Рослини також мають характеристики поглинання та відбивання ІЧ випромінювання, які залежать від їхнього стану та типу. ІЧ канал також використовується для розрахунку індексів вегетації, які відображають фізіологічний стан та активність рослинності. Можливість використання інфрачервоних даних для аналізу рослинного покриву обумовлена тим, що у видимому зеленому діапазоні рослинністю відбивається близько 10% сонячного світла, в той час як у ближній ІЧ області близько 50%, що робить його дуже інформативним для дослідження вегетаційної активності.



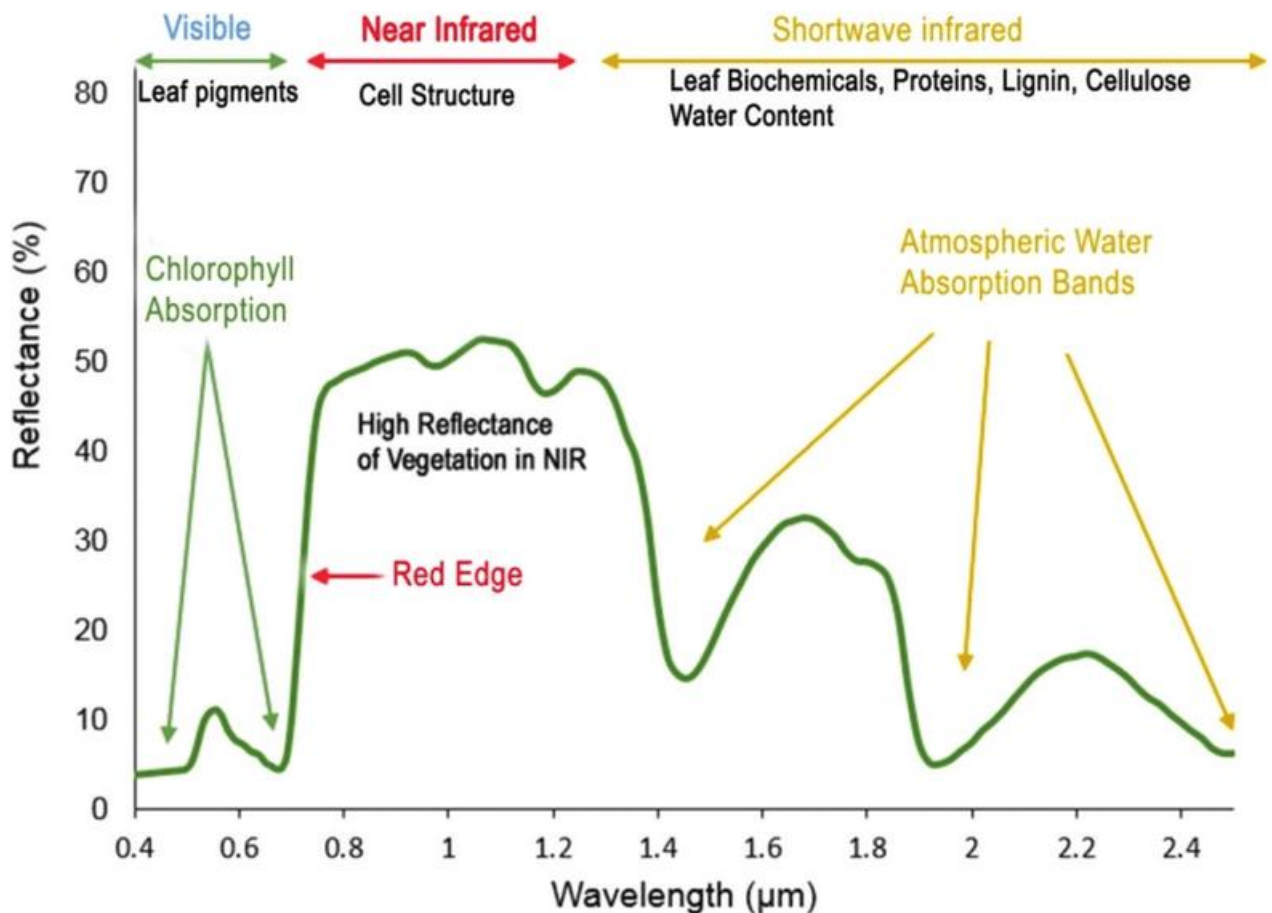


Рис. 2.2. Оптичний спектр рослинності [14].

Евтрофікація є процесом збільшення концентрації поживних речовин у водоймах і може мати помітні прояви на індексних зображеннях. Індексні зображення використовуються для аналізу рослинності та водного середовища, і деякі індекси можуть допомогти виявити евтрофікацію. Ось деякі прояви евтрофікації на індексних зображеннях:

**Зміна кольору води:** У евтрофікованих водоймах може спостерігатись зміна кольору води на індексних зображеннях. Зазвичай, вода з високою концентрацією водоростей або інших рослинних організмів має більш зелений або темно-синій відтінок на зображеннях.

**Зміна індексів вегетації:** Індекси вегетації, такі як NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) або EVI (Enhanced Vegetation Index), можуть відображати зміни в рослинному покриві, що можуть бути пов'язані з евтрофікацією. У евтрофікованих водоймах може спостерігатись зниження цих індексів через зменшення здорової

зеленої біомаси рослин.

Збільшення концентрації хлорофілу: Індекси, які вимірюють концентрацію хлорофілу, наприклад Chl-a (Chlorophyll-a), можуть вказувати на евтрофікацію. Збільшена концентрація хлорофілу може свідчити про розквіт водоростей у водоймах з високими рівнями поживних речовин.

Зміна прозорості води: В евтрофікованих водоймах може спостерігатись зниження прозорості води на індексних зображеннях. Висока концентрація водоростей або інших рослинних матеріалів може призводити до мутності або менш прозорої води.

Ці прояви на індексних зображеннях можуть допомогти виявити евтрофікацію та оцінити стан рослинності та якості водного середовища у водоймах.

Евтрофікація, збільшення концентрації поживних речовин у водоймах, має візуальні прояви на космічних знімках. Основні прояви евтрофікації включають зміну кольору води, видимі плями або скупчення водоростей, зміну прозорості води, зміну розташування берегових зон та зміну водної текстури.

#### **2.4. Вегетаційний індекс EVI**

Розширений індекс рослинності ( EVI ) — це «оптимізований» індекс рослинності , призначений для посилення сигналу рослинності з покращеною чутливістю в регіонах із високою біомасою та покращеним моніторингом рослинності за рахунок відокремлення фонового сигналу навісу та зменшення впливу атмосфери. EVI обчислюється за цим рівнянням 2.1:

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C_1 \times Red - C_2 \times Blue + L)}$$

2.1

де:

NIR, Red і Blue – це коефіцієнти відбиття поверхні, скориговані за атмосферою та частково (за Релеєм і поглинанням озону); L – це налаштування фону купола, яке

враховує нелінійний, диференціальний NIR та передачу червоного випромінювання через купол;  $C_1$ ,  $C_2$  – це коефіцієнти до аерозольного опору, який використовує синю смугу для поправки на вплив аерозолу в червоній смузі;  $G$  — коефіцієнт посилення.

Коефіцієнти, прийняті в алгоритмі MODIS-EVI:  $L=1$ ,  $C_1 = 6$ ,  $C_2 = 7,5$  і  $G = 2,5$ .

У той час як нормалізований індекс різниці рослинності (NDVI) чутливий до хлорофілу, EVI більше реагує на структурні варіації пологів, включаючи індекс площі листя (LAI), тип пологів, фізіономію рослини та архітектуру пологів. Два індекси рослинності доповнюють один одного в глобальних дослідженнях рослинності та покращують виявлення змін рослинності та вилучення біофізичних параметрів навісу [4, 9].

Ще одна відмінність між нормалізованим індексом різниці рослинності (NDVI) і EVI полягає в тому, що за наявності снігу NDVI зменшується, а EVI збільшується (Huete, 2002).

Починаючи з 2000 року та після запуску NASA двох датчиків MODIS на Terra (супутник) і Aqua (супутник), EVI був прийнятий NASA як стандартний продукт і став надзвичайно популярним серед користувачів завдяки своїй здатності усувати фонові та атмосферні шуми, а також його ненасиченість, типова проблема NDVI . Зараз EVI безкоштовно розповсюджується USGS LP DAAC [4, 17].

## **2.5. Висновки до розділу**

В розділі дізналися про Київське водосховище, його розташування, параметри і характеристики. Водосховище було створено у 1964-1966 роках за допомогою побудови греблі для Київської гідроелектростанції. Воно має велику площу, довжину і ширину, а його глибина варіюється від 2 до 15 метрів. З часом площа водосховища зменшилася через замулення і заростання. Київське водосховище має велике значення для різних сфер діяльності, таких як судноплавство, регулювання стоку,

гідроенергетика, рибне господарство та рекреація.

Водосховище поділяється на кілька ділянок з різними характеристиками. Дніпровське та Прип'ятське плеса є мілководними, в той час як нижні розширені частини плеса мають озероподібний характер. Також, водосховище відрізняється зміною рівня води протягом року. Водний режим водосховища залежить від сезонних факторів, таких як дощі та паводки.

Київське водосховище є важливим об'єктом інженерії та природи, що виконує різноманітні функції і має значний вплив на соціально-економічний розвиток регіону.

Дослідження евтрофікації є важливим напрямком в галузі екології та охорони водних ресурсів. Евтрофікація, процес збільшення концентрації поживних речовин у водоймах, має наслідки, такі як: надмірний ріст водних рослин та водоростей.

Дослідження евтрофікації включають вимірювання та аналіз хімічного складу води, моніторинг екологічних показників, використання супутникового зондування та аналіз даних. Ці методи дозволяють встановити наявність евтрофікації, оцінити її ступінь, виявити зони евтрофікації та з'ясувати їх розміри та інтенсивність.

Дослідження евтрофікації проведені з використанням супутникових знімків, виявили наявність інтенсивної евтрофікації протягом певного періоду. Це свідчить про значний ріст концентрації поживних речовин у водоймі, що може мати негативний вплив на екологію водних систем.

Такі дослідження є важливими для розуміння процесів, що відбуваються в водних екосистемах, прогнозування майбутніх змін та розроблення стратегій управління та збереження водних ресурсів з метою запобігання негативним наслідкам евтрофікації. Дані дослідження є важливим внеском у вивчення евтрофікації і можуть бути використані для подальшого розвитку стратегій охорони та управління водними ресурсами, зокрема Київським водосховищем.

## РОЗДІЛ 3

### РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЇ ЗА ДАНИМИ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ LANDSAT

#### 3.1. Розрахунок вегетаційного індексу EVI

При даному розрахунку відокремили групу зображень: 2015; 2016; 2017; 2018; 2019 для подальшого розрахунку.

Також, відділили від роботи зображення на яких проявів евтрофікації не було виявлено: 2020; 2021; 2022.

Встановлюємо на зображенні синтез природних кольорів для коректної послідовності. Для цього ми використовуємо дані Landsat-8:

Таблиця 3.1

Дані спектральних каналів Landsat

| Bands                                | Wavelength (micrometers) | Resolution (meters) |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Band 1 - Coastal aerosol             | 0.43-0.45                | 30                  |
| Band 2 - Blue                        | 0.45-0.51                | 30                  |
| Band 3 - Green                       | 0.53-0.59                | 30                  |
| Band 4 - Red                         | 0.64-0.67                | 30                  |
| Band 5 - Near Infrared (NIR)         | 0.85-0.88                | 30                  |
| Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1 | 1.57-1.65                | 30                  |
| Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2 | 2.11-2.29                | 30                  |
| Band 8 - Panchromatic                | 0.50-0.68                | 15                  |
| Band 9 - Cirrus                      | 1.36-1.38                | 30                  |
| Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1  | 10.6-11.19               | 100                 |
| Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2  | 11.50-12.51              | 100                 |

На зображенні змінюємо спектральні канали на необхідні, використовуючи дані Landsat-8 і отримуємо результат:

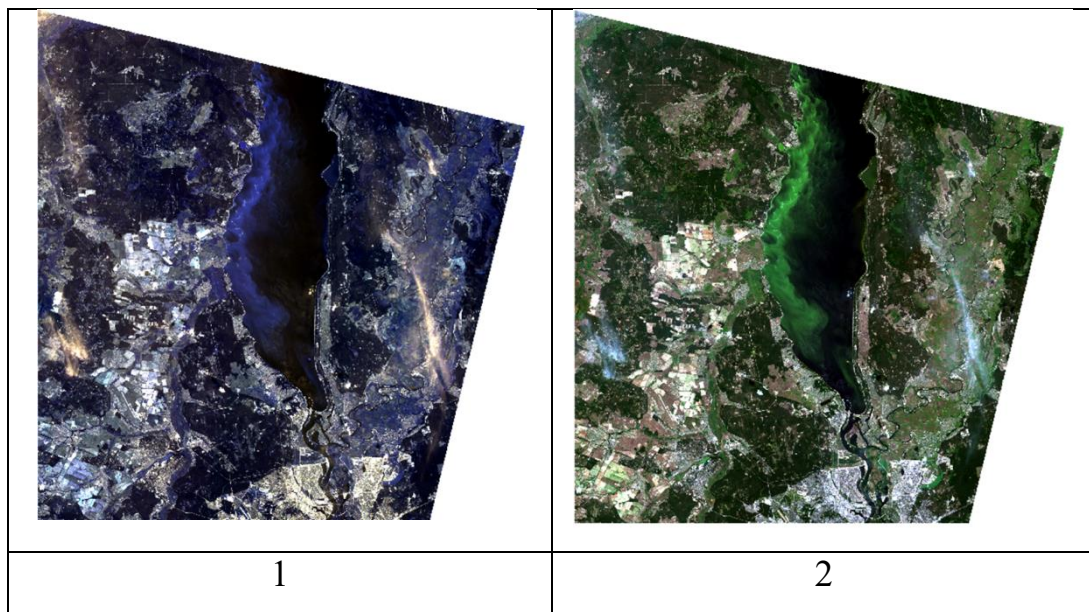


Рис. 3.2. Зображення 03.08.2015 до зміни спектральних каналів (1) і після зміни спектральних каналів (2).

Таким чином оброблюємо всі зображення для подальшого розрахунку.

### 3.2. Оцінка ступеню евтрофікації на основі значення вегетаційного індексу

Розраховуємо вегетаційний індекс. Для цього було використано формулу:

$$2.5 * ((\text{Band } 5 - \text{Band } 4) / (\text{Band } 5 + 6 * \text{Band } 4 - 7.5 * \text{Band } 2 + 1))$$

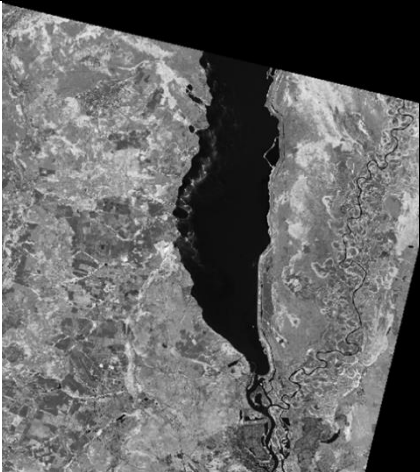




В якій:

Band 5 – інфрачервоний канал (NIR);

Band 4 – червоний канал (red);

Band 2 – блакитний спектральний канал (blue).

Отримуємо такий результат:

|  |   |   |
|--|---|---|
|   |   |  |
| <p>03.08.2015</p>  | <p>29.07.2016</p>   | <p>17.08.2017</p>   |
|  |  |   |

|            |            |
|------------|------------|
| 21.09.2018 | 24.09.2019 |
|------------|------------|

Рис. 3.3. Результат проведеного розрахунку вегетаційного індексу.

Знаходимо діапазон інтенсивності який відповідає за певну інтенсивність евтрофікації. В даній роботі буде три ступені інтенсивності: слабка, середня, сильна і відсутність будь-якої евтрофікації.

Для реалізації необхідно визначити діапазон індексів, шляхом визначення значень через інструмент «визначити об'єкт» в програмі QGIS. Визначаємо індекси до кожної умови, які вказують на інтенсивність евтрофікації.

Умовно для чистої води індекс завжди буде мати значення 0, однак і всі значення індексів також будуть умовними, визначеними досліджувачем [15, 16].

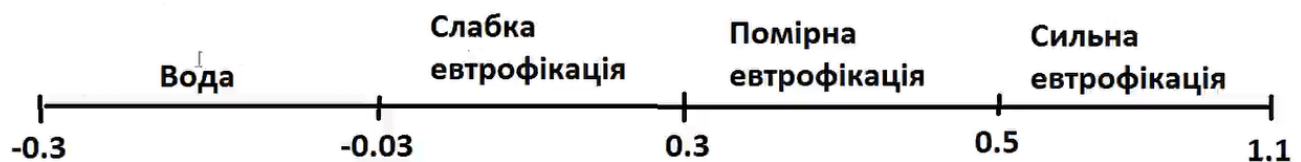


Рис. 3.4. умовні індекси

```

{"20180921_EVI@1" < -0.03)*1 + ({"20180921_EVI@1" >= -0.03) + {"20180921_EVI@1" < 0.3})*2 +
({"20180921_EVI@1" >= 0.3) + {"20180921_EVI@1" < 0.5})*3 + {"20180921_EVI@1" > 0.5)*4

```

Рис. 3.5. Візуальний приклад проведеного розрахунку

Опис методу переходу від значення індексу до відносної оцінки ступеня евтрофікації



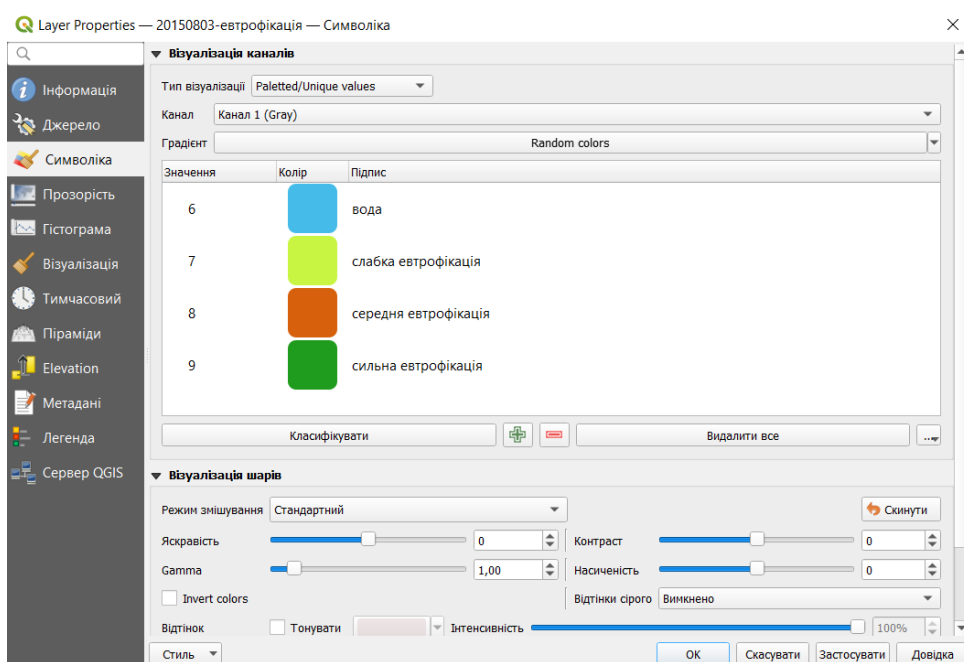
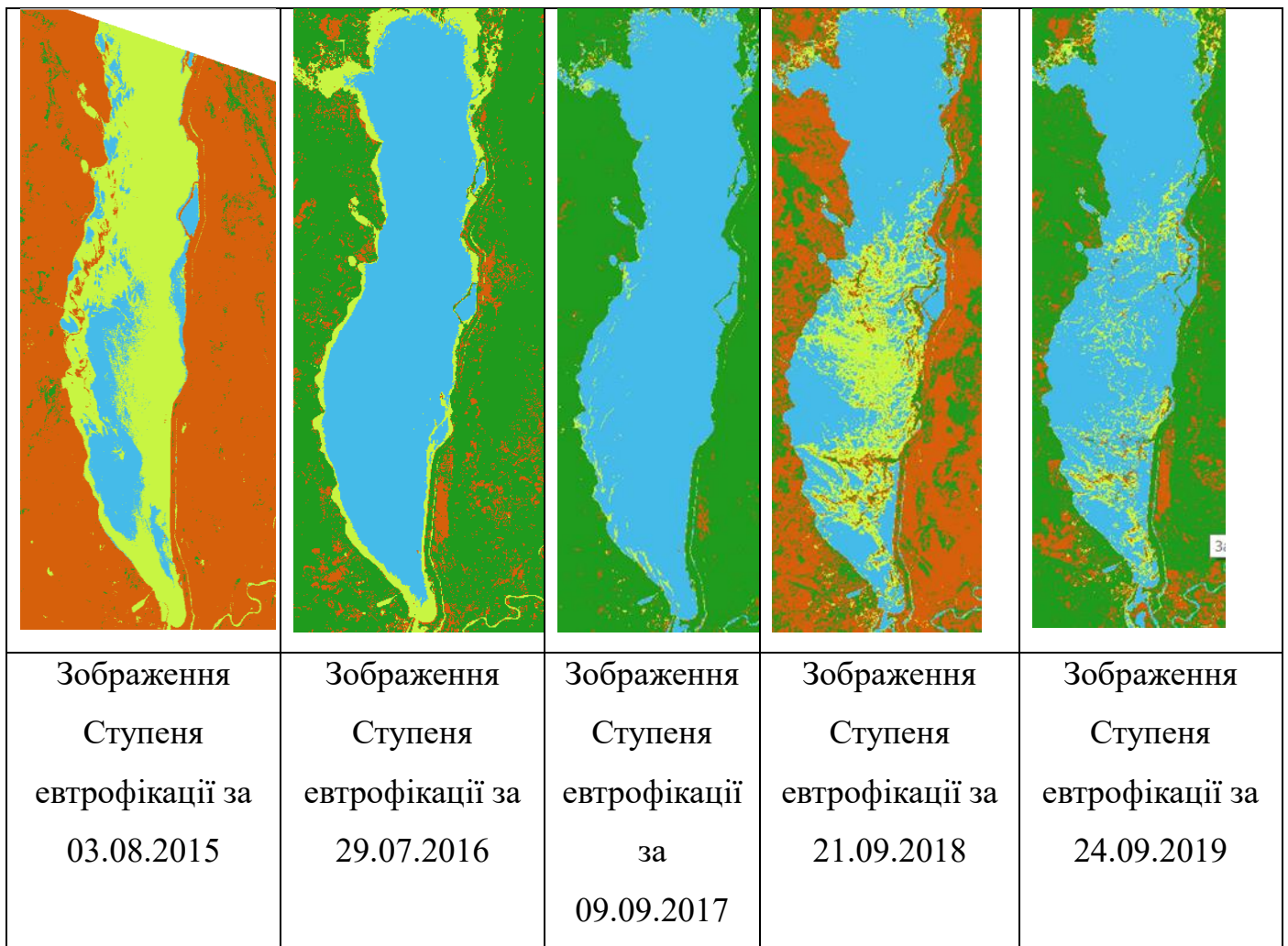


Рис. 3.6. Візуалізація евтрофікації на розрахунку

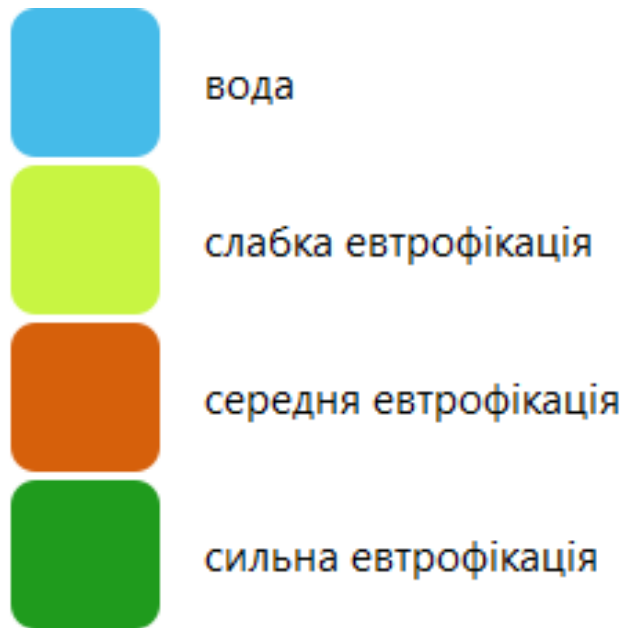


Рис. 3.7. Відповідність кольорів евтрофікації до кольорів зображення оцінки ступенів евтрофікації

### 3.3. Обчислення площі евтрофікації

Відкриваємо програму QGIS і завантажуюємо необхідний векторний шар, на основі якого плануємо створити маску.

За необхідності підготовлюємо початковий шар, наприклад, видаляємо непотрібні або неузгоджені об'єкти або виконайте геометричні перетворення.

Створюємо маску вручну, використовуючи інструмент «малювання полігонів».

Виконуємо вибірку та застосовуємо фільтри для створення маски. Ця опція може включати вибірку за значеннями атрибутів, діапазонами значень, просторовими обмеженнями тощо.

Зберігаємо створену маску в форматі, який відповідає потребам. В нашому випадку це окремий растровий файл з двома значеннями (наприклад, чорний/білий), де одне значення представляє маску, а інше - відсутність маски [16].

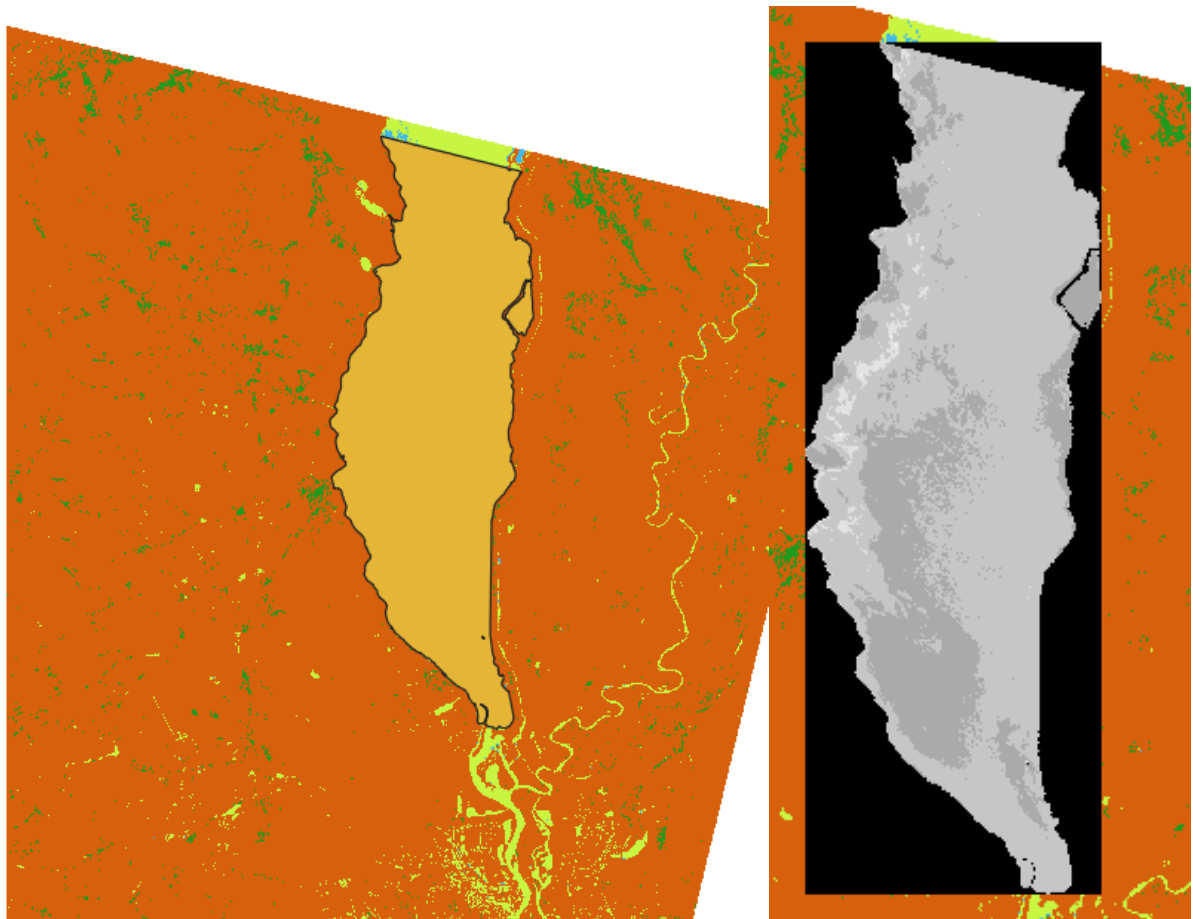


Рис. 3.8. Накладення маски на досліджувану зону

Далі виконано підрахунок унікальних значень за результатами розподілу в межах сформованих масок для оцінки площі евтрофікації різного ступеня та відкритої водної поверхні, результати якої наведено у Таблиці 1.

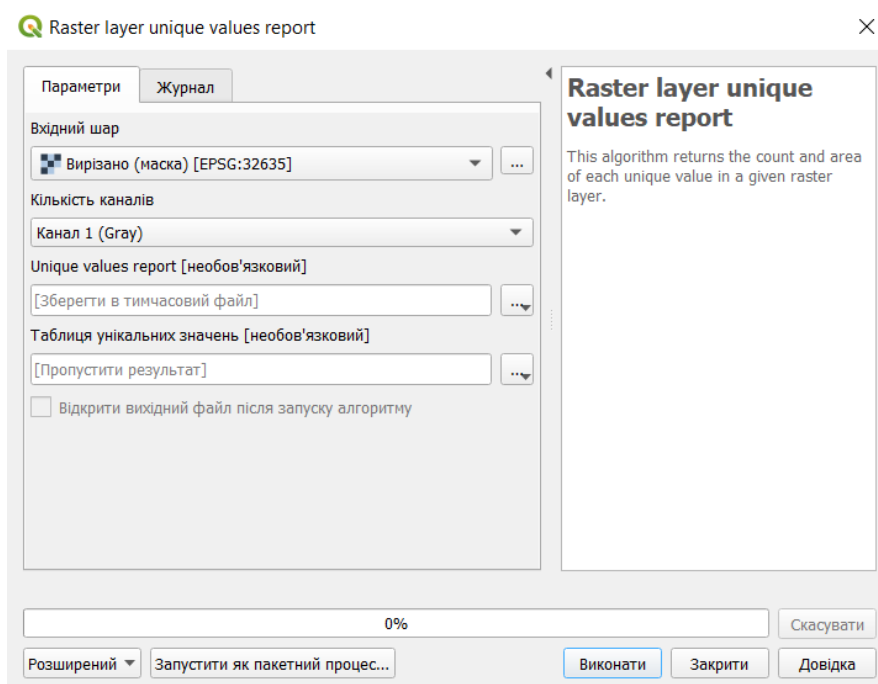


Рис. 3.9. Діалогове вікно розрахунку поверхневого розподілу інтенсивності евтрофікації досліджуваної зони

Таблиця 3.2

Розрахунок поверхневого розподілу інтенсивності евтрофікації

| Рік/ступінь евтрофікації | Чиста вода (кв.м) | Слабка евтрофікація (кв.км) | Середня евтрофікація (кв.км) | Сильна евтрофікація (кв.км) |
|--------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 2015                     | 92,462400         | 265,063500                  | 6,422400                     | 0,077400                    |
| 2016                     | 326,662200        | 36,998100                   | 0,086400                     | 0,027000                    |
| 2017                     | 355,317300        | 7,914600                    | 0,324900                     | 0,216900                    |
| 2018                     | 192,645000        | 142,886700                  | 21,034800                    | 7,207200                    |
| 2019                     | 176,540400        | 183,916800                  | 3,273300                     | 0,036000                    |

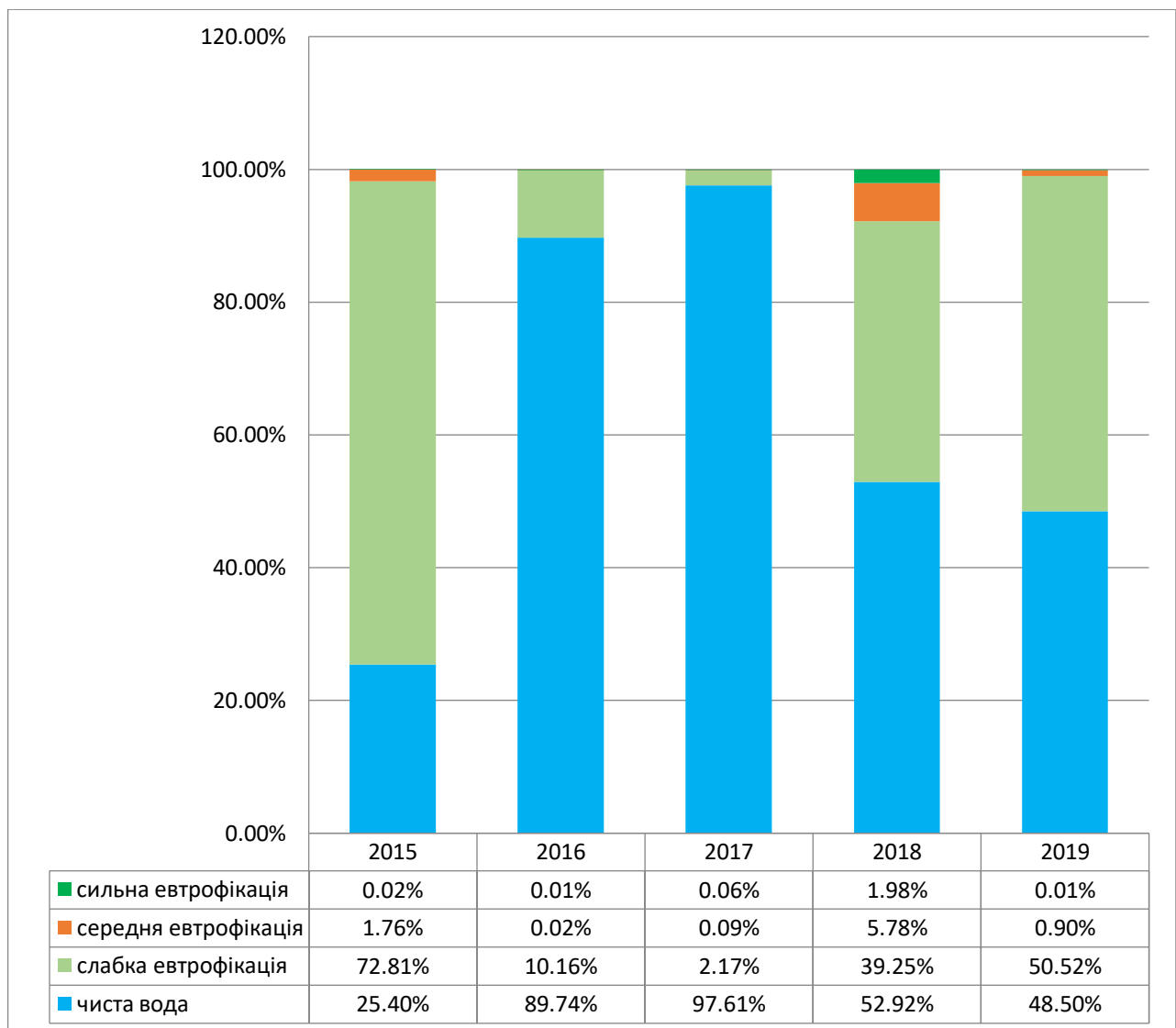


Рис. 3.10. відсоткове співвідношення розрахунку поверхневого розподілу інтенсивності евтрофікації

### 3.4. Висновки до розділу

У даному розділі було проведено розрахунки та досліджено евтрофікацію в Київському водосховищі. На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що евтрофікація в даному водному об'єкті не є постійним явищем і може не проявлятися кілька сезонів поспіль.

Розрахунки та аналіз хімічного складу води показали, що рівні поживних речовин, зокрема азоту та фосфору, у водоймі не завжди досягають значень, що

вказують на евтрофікацію. Було виявлено, що концентрація поживних речовин варіюється залежно від сезону та інших факторів.

Це свідчить про те, що евтрофікація в водосховищі може бути періодичним явищем, яке залежить від різних факторів, таких як кліматичні умови, використання землі та інші впливи. Недостатня концентрація поживних речовин у воді протягом деяких сезонів може призводити до відсутності помітного росту водних рослин, водоростей та інших організмів, які зазвичай пов'язані з евтрофікацією.

Отримані результати мають важливе значення для управління та збереження водних ресурсів. Розуміння того, що евтрофікація не є постійним явищем, дозволяє розробити більш гнучкі та ефективні стратегії управління, зокрема щодо контролю над використанням ресурсів та моніторингу водних екосистем.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення причин і механізмів, які впливають на періодичність прояву евтрофікації в даному водному об'єкті. Такі дослідження допоможуть розширити наше розуміння екологічних процесів та розробити ефективніші стратегії управління водними ресурсами для збереження екологічної рівноваги.

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі оцінили ступінь впливу евтрофікації на Київське водосховище та показали сезонні зміни в прояву евтрофікації за даними космічних багатоспектральних знімків; виконали розрахунок сезонної евтрофікації і показали динаміку цвітіння водойм та зробили висновок щодо негативного впливу проявів евтрофікації.

Дослідження проводилось на південній частині Київського водосховища за допомогою методів оброблення, компонування даних та аналізу супутникових знімків досліджуваної території, дистанційного методу визначення EVI, побудови часового ряду зміни вегетаційної активності на поверхні водосховища та порівнянні космічних знімків з 2015 року по 2022 рік.

За допомогою не прямого (дистанційного методу) проводився аналіз зміни рослинності території Київського водосховища який показав деградацію рослинного покриву.

Застій русла, або зменшення протоки води, може мати вплив на вегетацію Київського водосховища. Вегетація водних екосистем залежить від доступності світла, поживних речовин, температури, а також рівня та якості води.

Зменшення протоки води може призвести до збільшення концентрації поживних речовин у водоймі, що може сприяти зростанню водоростей та інших рослин. Це може призвести до зміни складу видів, конкуренції між ними та зменшення різноманітності. Застій русла також може призвести до утворення мертвих зон у водоймі, де кисень стає недостатнім для життя риб та інших організмів.

Вплив застою русла на вегетацію може бути складним і залежить від багатьох факторів, включаючи тривалість застою, наявність інших джерел поживних речовин, режими води та інше.

Спостерігали прояви евтрофікації в роках: 2015; 2016; 2017; 2018; 2019. І проявів евтрофікації не було виявлено в роках: 2020; 2021; 2022. Також під час

проведення дослідження було виявлено що на зображеннях «2016» та «2017» евтрофікація була набагато меншою в порівнянні з іншими роками (евтрофікація була виявлена безпосередньо біля ГЕС та біля берегів водосховища відповідно).

Встановлюючи зв'язок між погодою та досліджуваними зображеннями було виявлено що у 2015; 2018; 2019 роках погода була дуже примхливою і не дуже спекотною, а у 2016 та 2017 роках навпаки дуже спекотною, але варто зазначити що погода не є причиною евтрофікації, а може бути одним із чинників які впливають на розвиток рослинності.

Спостереження евтрофікації через систему супутників Landsat мають деякі недоліки, які можуть впливати на точність та повноту отриманих результатів:

- Просторова роздільна здатність: Система супутників Landsat має обмежену просторову роздільну здатність, що означає, що вона не завжди може забезпечити достатньо деталізовані зображення для виявлення малих водойм або локальних зон евтрофікації.
- Часова роздільна здатність: Часова роздільна здатність супутників Landsat також може бути обмеженою. Частота проходження супутника над конкретною областю може бути недостатньою для виявлення швидких змін у стані евтрофікації.
- Вплив хмарності: Зображення, отримані з супутників, можуть бути ускладненими хмарами, особливо в зоні з високою хмарністю. Це може обмежити доступність зображень і знизити точність аналізу евтрофікації.
- Вимоги до експертної оцінки: Аналіз даних, отриманих з супутників Landsat, вимагає експертної оцінки та інтерпретації. Іноді може бути складно однозначно визначити, чи піддалась певна зона евтрофікації лише на основі зображень, і потрібна додаткова підтримка на місцевому рівні для підтвердження результатів.

Урахування цих недоліків є важливим при використанні даних з супутників Landsat для спостереження евтрофікації. Комбінація даних з супутників з іншими джерелами інформації та місцевими спостереженнями може допомогти отримати більш повну картину евтрофікації в конкретній області.



Дослідження евтрофікації водойм в залежності від погодних умов є важливим аспектом вивчення цього процесу. Погодні умови можуть впливати на рівень забруднення та евтрофікацію водних екосистем, і вивчення цього зв'язку може допомогти зрозуміти причинно-наслідкові зв'язки та прийняти ефективні заходи для управління цим процесом. Аспекти, які можуть бути враховані в дослідженні:

*Збір даних.* Для проведення дослідження потрібно зібрати якісні дані про рівень евтрофікації та погодні умови. Це може включати дані про концентрацію поживних речовин у воді, рівень води, температуру, опади тощо.

*Аналіз статистичних зв'язків.* Після збору даних можна провести аналіз, щоб встановити статистичні зв'язки між погодними умовами та евтрофікацією. Можуть використовуватися методи кореляції, регресії та інші статистичні підходи для виявлення залежностей.

*Врахування інших факторів.* При дослідженні евтрофікації потрібно також врахувати інші фактори, які можуть впливати на стан водних екосистем, наприклад, використання землі, стічні води, технічні фактори та інші. Врахування цих факторів може допомогти усунути спотворення та зрозуміти реальну роль погодних умов у процесі евтрофікації.

*Моделювання.* Модельні підходи можуть бути корисними для розуміння впливу погодних умов на евтрофікацію та прогнозування її розвитку. Моделі можуть допомогти встановити каузальні зв'язки та оцінити ефективність різних сценаріїв управління.

*Узагальнення результатів.* Після проведення дослідження необхідно узагальнити результати та зробити висновки про взаємозв'язок між погодними умовами та евтрофікацією водойм. Це може включати формулювання рекомендацій для управління та збереження водних екосистем.

Дослідження евтрофікації водойм в залежності від погодних умов є складним завданням, оскільки вони включають в себе багато змінних. Однак, з правильною методологією, збором якісних даних та аналізом, можна отримати цінні висновки щодо цього процесу та внести внесок у його управління.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беленок В. Ю., Фролова А. А. Космічний моніторинг змін площ водних об'єктів кийвської області впродовж 1990–2020 РР.: журнал, Київ: випуск 2, 2023. 4 стр.
2. United States Environmental Protection Agency: Nutrient Pollution. URL: <https://www.epa.gov/nutrientpollution/problem> (дата звернення: 13.03.2023)
3. Всесвітній фонд дикої природи: Diving Into the Freshwater Component of Science-Based Targets for Nature. URL: <https://sciencebasedtargetsnetwork.org/how-it-works/set-targets/> (дата звернення: 01.06.2023)
4. Вегетаційні індекси NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color. URL: <https://www.soft.farm/uk/blog/vegetacijni-indeksi-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140> (дата звернення: 23.04.2023)
5. Water Framework Directive: Setting out rules to halt deterioration in the status of EU water bodies and achieve good status for Europe's rivers, lakes and groundwater. 22 жовтня 2022, стаття 4.
6. Findway: Київське море, Лютеж. URL: <https://findway.com.ua/oblast/kyivska/kyivske-more-liutezh> (дата звернення: 03.05.2023)
7. L. Kamp-Nielsen. Encyclopedia of Ecology: Empirical Models. 2008, Pages 1239-1246
8. Y. Kaufman, and D. Tanre, "Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, no. 2, pp. 261-270, 1992.
9. Fedorovskyi O. D., Khyzhniak A. V, Tomchenko O.V. Otsinka yakosti vodnoho seredovyshcha miskykh vodoim z vykorystanniam metodiv systemnoho analizu na osnovi kompleksuvannia danykh DZZ. Kosmichna nauka i tekhnolohiia. 2021. T. 27. No 5. S. 11-18.
10. Deering, D.W. 1978. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors. Ph.D. Diss. Texas A&M Univ., College Station, 338p.

11. Roman Yankovoi. Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice: Diagnostics of innovative development of enterprises in Kyiv city. 2023, Volume 2, 123-134
12. Anamaria Roman, Tudor Ursu. Landscape archaeology on the northern frontier of the roman empire at porolisum-an interdisciplinary research project: Multispectral satellite imagery and airborne laser scanning techniques for the detection of archaeological vegetation marks. 2016, pp.141-152
13. Ryan T. F., Anthony V. Science of Remote Sensing: Determining improvements in Landsat spectral sampling for inland water quality monitoring. 2022, Volume 1, 100005.
14. Munyati C. Sustainability of Water Quality and Ecology: A spatial analysis of eutrophication in dam reservoir water on the Molopo River at Mafikeng, South Africa. 2015, Volume 6, Pages 31-39.
15. Karydis M. Science of The Total Environment: Ecological indices: a biometric approach for assessing eutrophication levels in the marine environment. 1996, Volume 186, Pages 209-219.
16. Fu-Liu Xu, Shu Tao, R.W. Dawson, Beng-Gang Li. Ecological Modelling: A GIS-based method of lake eutrophication assessment. 2001, Volume 144, Pages 231-244.
17. Francisco Gómez-Jakobsen, Dolores Cortés, Lidia Yebra, Soluna Salles, Pablo León, Sébastien Putzeys. Remote Sensing of Environment: A method based on satellite imagery to identify spatial units for eutrophication management. 2016, Volume 186, Pages 123-134.
18. Solomon Oluwaseun Akinnawo. Environmental Challenges: Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. 2023, Volume 12, 100733.
19. Rouse, J.W., Jr., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 93p. (NTIS No. E73-106393)

