

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

Інститут електроенергетики  
(інститут)

Факультет інформаційних технологій  
(факультет)

Кафедра інформаційних систем та технологій та комп'ютерної інженерії  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеня магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Молокової Світлани Валеріївни  
(ПІБ)

академічної групи 126М-22з-1  
(шифр)

спеціальності 126 Інформаційні системи та технології  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 126 Інформаційні системи та технології  
(офіційна назва)

на тему «Геоінформаційна технологія дослідження просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів з використанням оптичних космічних знімків»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтингово ю	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц. Каштан В.Ю.			
розділів:				
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормоконтролер</b>	проф. Коротенко Г.М.			

**Дніпро  
2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
інформаційних технологій  
та комп'ютерної інженерії  
(повна назва)

Гнатушенко В.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

«\_» \_\_\_\_\_ 202\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня магістр**

студенту Молоковій С.В.  
(прізвище та ініціали)

академічної групи 126М-21з-1  
(шифр)

спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»  
за освітньо-професійною програмою 126 «Інформаційні системи та технології»  
(офіційна назва)

на тему «Геоінформаційна технологія дослідження просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів з використанням оптичних космічних знімків»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 09.10.2023 р.  
№ 1228-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Провести огляд предметної області.	11.09.2023
Розділ 2	Розробка геоінформаційної технології дослідження просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів.	16.10.2023
Розділ 3	Провести валідацію геоінформаційної технології дослідження просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів	06.11.2023

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

доц. Каштан В.Ю.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 06 вересня 2023 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ р.

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Молокова С.В.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 с., 20 рис., 3 табл., 19 джерел, 2 додаток.

**Об'єкт дослідження:** оптичні космічні знімки для моніторингу змін у береговій лінії Тузловських лиманів.

**Предмет дослідження:** алгоритми автоматизованого дешифрування оптичних космічних знімків та виявлення за ними змін.

**Мета кваліфікаційної роботи:** розробка та валідація геоінформаційної технології для аналізу просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів на прикладі Одеської області в Україні з використанням оптичних космічних знімків.

Кваліфікаційна робота присвячена актуальній задачі автоматизації обробки та аналізу даних дистанційного зондування та геоінформаційних методів. Розроблено методику визначення зон обміління лиманів, виділення берегової лінії, та аналізу просторово-часових змін.

Наукова новизна виконаної роботи полягає в розробці технології для аналізу просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів, що включає в себе морфологічну обробку, сегментацію та визначення змін берегової лінії.

Практична значимість результатів роботи полягає у програмній реалізації складових інформаційної технології з використанням мови Python для моніторингу та управління береговими зонами, забезпечуючи важливі дані для природоохоронних заходів та сталого розвитку регіону.

**Ключові слова:** КАРТУВАННЯ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, SENTINEL-2, ЧАСОВІ РЯДИ, ПОСУШЛИВІ ТЕРИТОРІЇ, ЗАТОПЛЕННЯ, ГІДРОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

## ABSTRACT

The explanatory statement has 70 p., 20 figures, 3 tables, 19 sources, and 2 appendix.

**Object of research:** optical space images for monitoring changes along the coastline of the Tuzlovsky estuaries.

**Subject of research:** algorithms for automated decoding of optical space images and detection of changes in them.

**The purpose of the diploma project:** to development and validation of geographic information technology for analyzing spatial and temporal changes in the coastline of the Tuzla estuaries on the example of the Odesa region in Ukraine using optical satellite images.

The qualification of the robot is dedicated to the current task of automating the processing and analysis of remote sensing data and geoinformation methods. The methodology for identifying the drainage zones of estuaries, seeing the coastline, and analyzing spatial-hourly changes has been developed.

The scientific novelty of the new robot is to development of a technology for analyzing spatial and temporal changes in the coastline of the Tuzla estuaries, including morphological processing, segmentation, and identification of coastline changes.

The practical significance of the results of the work lies in the software implementation of warehouse information technology using Python language for monitoring and managing coastal zones, providing important data for environmental protection measures and sustainable development of the region.

**Keywords:** CART BATH, COMPUTER MODELING, SENTINEL-2, CLOCK RANKS, DRY TERRITORIES, FLOODING, HYDRODYNAMIC MODELING

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>6</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>7</b>
<b>1 ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>9</b>
1.1 Географічне положення і природні ресурси.....	9
1.2 Дистанційне зондування землі та його типи .....	13
1.3 Опис методів обробки та аналізу даних .....	18
1.4 Класифікація ГІС.....	21
1.5 Висновки до розділу .....	23
<b>2 ТЕХНОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ЗМІН БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ ТУЗЛОВСЬКИХ ЛИМАНІВ.....</b>	<b>24</b>
2.1 Просторово-часові зміни берегової лінії на основі супутникових знімків .....	24
2.2 Алгоритми класифікації .....	28
2.2.1 Алгоритм класифікації Random forest .....	28
2.2.2 Поріг Оцу.....	28
2.3 Супутникові індекси .....	30
2.3 Індикатори для визначення берегової лінії .....	32
2.4 Метод автоматизованого картографування та аналізу берегової лінії Тузловських лиманів.....	34
2.5 Висновки до розділу .....	38
<b>3 ВАЛІДАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ЗМІН БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ ТУЗЛОВСЬКИХ ЛИМАНІВ .....</b>	<b>40</b>
3.1 Дані для дослідження з оптичних носіїв .....	40
3.2 Програмна реалізація технології .....	48
3.3 Тестування .....	51
3.4 Висновки до розділу .....	61
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>62</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>63</b>
<b>Додаток А. Фрагмент лістингу програми .....</b>	<b>66</b>
<b>Додаток Б. Графічні дані.....</b>	<b>68</b>

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

ГІС – геоінформаційні системи;

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі;

SAR – радіолокатора з синтетичною апертурою;

ЦМР – цифрові моделі рельєфу;

ОТВ – Orfeo ToolBox;

ЕМ– електромагнітне випромінювання;

NIR – ближній інфрачервоний;

SWIR – короткий інфрачервоний;

MWIR – середньохвильовий інфрачервоний.

## ВСТУП

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є важливим інструментом для моніторингу берегових ліній лиманів у сучасних умовах. Сучасні супутникові системи надають знімки з високою частотою оновлення та постійним потоком даних, що відкриває нові можливості для поліпшення методів обробки космічних знімків та їх використання в землеустрої.

Використання інформації, отриманої через дистанційні методи, дозволяє автоматизовано визначати просторові характеристики положення берегової лінії, особливо на дослідних ділянках. Це відбувається через аналіз та обробку аеро- та космічних зображень, що надходять від супутників. Такий підхід дозволяє отримувати актуальні дані про стан берегових зон і використовується для багатьох цілей, включаючи визначення ерозії узбережжя, контроль за змінами водних ресурсів та планування екологічних заходів.

За даними досліджень у літературі видно, що у порівнянні з інформацією, отриманою з наземних джерел, аерокосмічні дані відрізняються в перевагах оперативності та широкому охопленні територій [1]. Значна кількість публікацій, що підтверджують обґрунтованість використання сучасних космічних знімків на різних етапах вирішення завдань моніторингу в різних спектральних діапазонах. [2]. Використання технологій ДЗЗ та ГІС надає можливість аналізувати не лише просторові характеристики водних об'єктів, але й визначати вплив різноманітних природних та техногенних факторів на їх стан з точки зору екологічної безпеки. Цей підхід сприяє комплексному моніторингу прибережних територій, об'єднуючи наземні спостереження, ДЗЗ та ГІС для більш ефективного контролю за станом водних ресурсів та прибережних зон.

**Об'єктом досліджень** є оптичні космічні знімки для моніторингу змін у береговій лінії Тузловських лиманів.

**Предметом дослідження** – алгоритми автоматизованого дешифрування оптичних космічних знімків та виявлення за ними змін.

**Мета роботи** – розробка технології, для аналізу просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- виконати аналіз особливостей моніторингу берегової лінії на основі даних дистанційного зондування та дослідити різні підходи до виявлення змін на космічних знімках;

- розробити методику комплексного автоматизованого дешифрування космічних знімків для оперативного моніторингу берегової лінії;

- розробити комплексну методику дешифрування та виявлення просторово-часових змін, за космічними знімками.

**Наукова новизна результатів дослідження.** Наукова новизна роботи полягає в тому, що в результаті досліджень було розроблено методику визначення зон обміління лиманів, виділення берегової лінії, та аналізу просторово-часових змін.

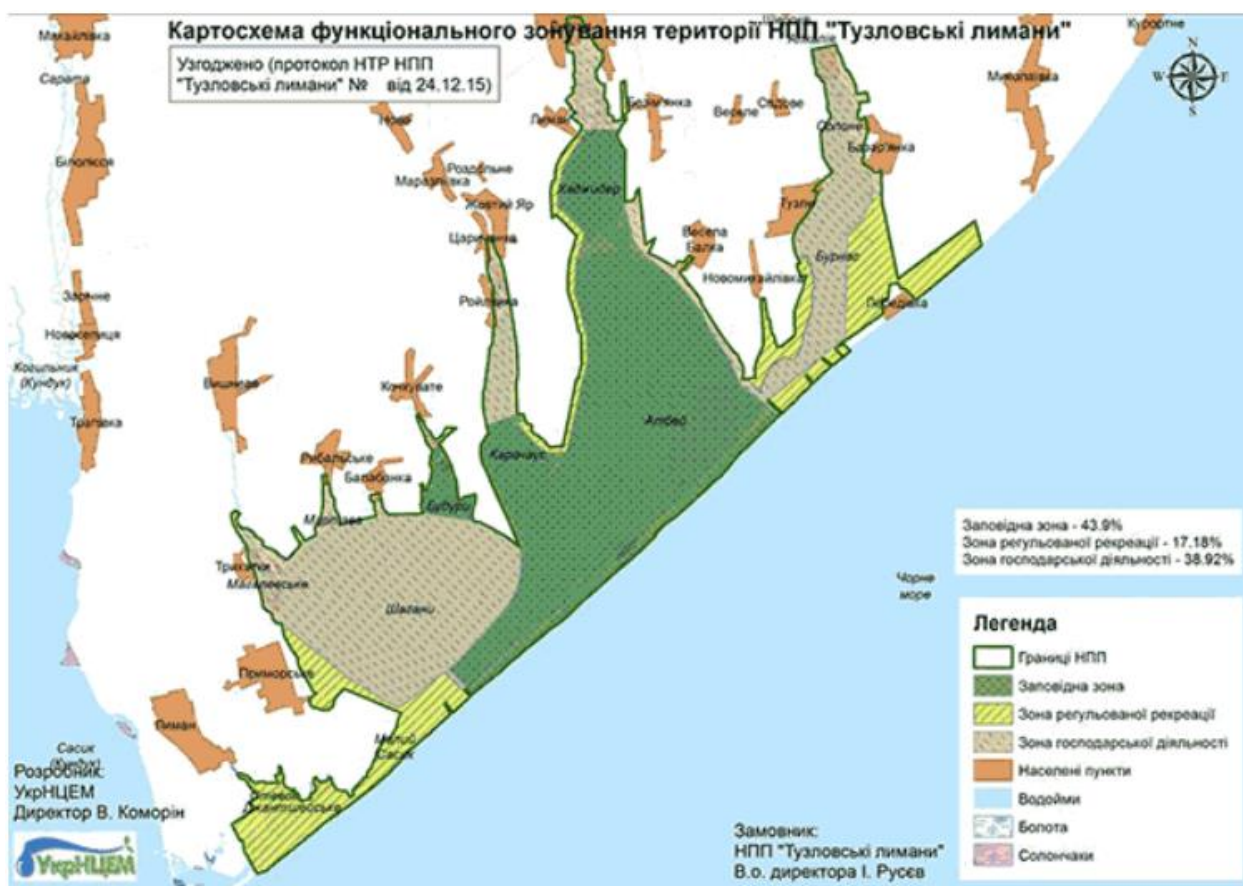


## 1 ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Географічне положення і природні ресурси

Район Тузлівської групи лиманів вражає різноманіттям – від найбільших, таких як Шагани, Алібей, Бурнас, до менших Магалевського, Мартази, Будурі та інших, які складаються з Мартази, Будурі, Карачаус, Хаджидер, Курудіол та Солоного. Географічно цей регіон – це степова прибережна рівнина, що розташована на півдні Причорноморської низовини. Вона нахилиється в південно-східному напрямку та має систему долин невеликих річок і балочну мережу. Ширина пересипу, який відділяє лимани від моря, коливається від 50 до 350–400 метрів, а його загальна довжина становить 36 кілометрів.

Створення лиманів тісно пов'язане зі змінами рівня води у Чорному морі та процесами, які змінюють берегову лінію. Під впливом геологічних, кліматичних, гідрологічних і хімічних процесів лимани зазнавали змін у своїх обрисах, розмірах, формі берегів, товщині донних відкладень, коливаннях рівня та хімічному складі води, а також місцевості та розмірі пересипу. У лиманах глибина коливається від 0,6 до 3 метрів, вони мають мілководну структуру. Чашоподібна форма лиманів Тузлівської групи майже перпендикулярна долинам річок. Наприклад, ширина лиману Шагани перевищує його довжину на 1,8 рази, а в лиманах Алібей, Карачаус і Бурнас, де впадають річки Хаджидер, Царичанка і Алкалія відповідно, довжина в 1,2–1,5 рази перевищує ширину. Там, де відбувається впадіння річок, берегова лінія формує мілководні затоки та "вторинні" лимани, як от Джантшейський з затокою Ставок, Шагани з затоками Мартаза і Будурі, Алібей з лиманами Карачаус і Хаджидер, Бурнас з лиманами Курудіол і Солоне.



Рисисунок 1.1 – Картохема функціонального зонування території НПП «Тузовські лимани»

Клімат південних районів Одещини можна охарактеризувати як помірно континентальний, що проявляється у тривалому теплом літі та м'якій (рідко - прохолодній) зимі з невеликою кількістю опадів. Тузовська група лиманів відноситься до Чорноморської підобласті Атлантико-континентальної зони помірного клімату. Основними факторами, які визначають клімат, є сонячна радіація, атмосферна циркуляція та розподіл вологи.

У середньому, середньорічна температура повітря коливається між  $+8,1$  та  $+11,8^{\circ}\text{C}$ , демонструючи позитивні значення. Найнижчі температури спостерігаються у січні та лютому, коли середня температура повітря може досягати  $-7$  або навіть  $-10,3^{\circ}\text{C}$  у деякі роки.

Стабільно теплі температури повітря наступають зазвичай в першій декаді березня. Середня температура варіюється від  $+0,4$  до  $+24^{\circ}\text{C}$ , хоча середня температура за весь рік становить приблизно  $+3,5^{\circ}\text{C}$ .

Літні місяці відрізняються високими температурами, з липнем, який є найспекотнішим місяцем, із середньомісячною температурою близько  $+24,7^{\circ}\text{C}$  та середньорічною температурою близько  $+22,3^{\circ}\text{C}$ .

Осіннє зниження температур починається в листопаді, переходячи в негативні показники в другій декаді грудня. Мінімальні температури досягають мінус 15 - мінус  $17^{\circ}\text{C}$  з середньорічними значеннями від  $-0,1$  до  $-3,9^{\circ}\text{C}$ , хоча в окремі роки середня місячна температура може бути позитивною, досягаючи  $+3,8^{\circ}\text{C}$ .

Середньорічні кількості опадів коливаються від 200 до 711,6 мм. В значній мірі опади припадають на теплу пору року, з травня по жовтень, що становить від 53 до 87% від усього обсягу. Найбільші опади відзначаються у січні і лютому, з середньорічними сумами опадів від 23,2 до 21,7 мм відповідно, при різноманітті від 1 до 56,2 мм у січні та від 1,2 до 49,1 мм у лютому. У середньому в рік є близько 110 днів із опадами.

Під час теплого періоду опади зазвичай характеризуються локальністю та проявом зливового характеру. У зимовий час властиві тривалі, але неінтенсивні опади. Сніговий покрив є нестійким і може з'являтися від жовтня до квітня. Максимальна товщина снігу становить 15 см.

Середня відносна вологість повітря має найвищі показники в холодний період року, досягаючи 87% у грудні-січні. У теплі місяці, липні та серпні, ці значення спадають до 66% та 68% відповідно. Щомісячні відхилення від середніх значень вологості варіюються на 7% (у січні) та 16% (у жовтні). Абсолютна вологість найвища в літні місяці (липень, серпень) і найнижча у зимові (січень, лютий). Загальні річні значення абсолютної вологості показують мінімальні коливання з року в рік (1,2 мб), амплітуда змін в середніх значеннях за місяць складає 4,9 мб. Нестійкий сніжний покрив може з'являтися в період від жовтня до квітня.

Середня кількість днів із туманами у холодний період (жовтень-березень) становить 31 день, проте може досягати максимально 40 днів. Найтриваліші тумани відмічаються у грудні-лютому. Тумани спостерігаються при температурі повітря від 0 до +5 °С, а також при значно нижчих значеннях, аж до -15 °С. Утворенню туману сприяє паріння моря, що виникає при низьких температурах повітря і сильних північно-східних вітрах. Найбільш часті тумани спостерігаються при швидкості вітру 1-4 м/с. Частота туманів найвища при південно-східних вітрах (23%), а повторюваність досягає 55% при температурі, що сприяє утворенню туману, та вітрі 1-4 м/с.

Цей район характеризується переважанням північних і північно-східних вітрів протягом більшої частини року (36-47% повторюваності). Це призводить до більшого опаду на навітряних схилах на 15-20% в порівнянні з підвітряними. Рельєф лиману, що простягається з півночі на південь, збільшує вплив північних і південних вітрів, особливо влітку, коли активізуються бризові потоки.

Кліматичні фактори, такі як велика кількість сонячної радіації та недостатній опади, впливають на формування ґрунтового покриву Національного природного парку «Тузловські лимани». Тут відомі різноманітні типи ґрунтів, такі як лучно-солонцеві, лучно-солончакові, солончакові, дернові на піщано-черепашкових відкладах, а також засолені лучноболотні і засолено-болотні ґрунти. Над солоними ґрунтовими водами протікають прісноводні шари.

Парк перебуває в степовій зоні, де зустрічається степова рослинність, що притаманна схилам лиманів. Також тут присутні лісові рослини, головним чином штучно висаджені. Рослинність включає в себе також водні, прибережно-водні, лучні, солончакові та приморські псамофітні види. Крім цього, в парку зустрічаються фрагменти чагарникових угруповань.

## 1.2 Дистанційне зондування землі та його типи

Поєднання наземної і дистанційної інформації, сучасних обчислювальних можливостей та різноманітних математичних моделей сприяє комплексному вивченню проблеми через дистанційне дослідження [3].

Системи дистанційного зондування можна розділити на кілька типів залежно від джерела інформації, яку вони використовують:

- аерофотознімання з використанням повітряних платформ (цифрова аерофотограметрія).
- космічне знімання (космічна фотограметрія).
- лідарні та лазерні системи, які працюють з повітряних платформ (лідар-граметрія).
- радарні та радіолокаційні системи, що базуються у космосі (радарграметрія) [4].

Системи дистанційного зондування (ДЗЗ) можна розділити на наземні та аерокосмічні, залежно від того, на яких платформах здійснюється збір даних. Аерокосмічне ДЗЗ, як правило, охоплює системи, що базуються на космічних засобах. Ефективність цих систем значно залежить від ефективності наземної інфраструктури для управління супутниками, прийому, обробки та поширення даних (наземне ДЗЗ). Супутникова інформація для потреб користувачів приймається на розподілену мережу приймальних пунктів [4]. В Україні це:

- Центр приймання та обробки спеціальної інформації і контролю навігаційного поля (м. Дунаївці);
- Центр радіофізичного зондування Землі НАНУ-НКАУ (м. Харків) та інших організацій [4].

Для здійснення зйомки в системах дистанційного зондування використовують носії, на які встановлюється знімальна апаратура. Ці носії рухаються у просторі, забезпечуючи необхідну висоту і рух апаратури відносно земної поверхні, а також її орієнтацію.

Залежно від типу носіїв, які використовуються для зйомки, системи ДЗЗ поділяють на дві основні групи: авіаційні та космічні. Авіаційні носії включають літаки, гелікоптери, планери, безпілотні літальні апарати та аеростати. Космічні носії це штучні супутники Землі та інші об'єкти космосу.

Для аерознімань використовують спеціально підготовлені літаки або гелікоптери. Залежно від напрямку оптичної осі знімального апарата розрізняють планове (вертикальне) та перспективне аерознімання. При плановому аерозніманні знімальний апарат установлюють у таке положення, щоб знімки були горизонтальними. Однак у зв'язку з коливаннями літака під час польоту апарат може нахилитися [4].

У порівнянні з плановими, перспективні знімки охоплюють значно більші площі, а отримані зображення формуються з більш звичних для людини ракурсів. У системах знімального обладнання, що базується на повітряних платформах, зазвичай використовують GPS-приймач для реєстрації лінійних параметрів зовнішнього орієнтування та інерційно-навігаційну систему (INS) для фіксації кутів нахилу знімальної камери [4].

Дрони представляють собою мобільні інструменти з високою роздільною здатністю даних. Зазвичай їх польоти відбуваються на висоті від 100 до 300 метрів над землею, що дозволяє отримувати знімки з високою деталізацією, вимірюваннями в сантиметрах на піксель. Це дозволяє накопичувати значні обсяги інформації за короткий час. Однією з особливостей дронів є можливість використання спектральних камер, які реєструють фотографії в ближньому інфрачервоному спектрі. Це дозволяє отримувати знімки, на основі яких розраховують такі показники, як NDVI-індекси, що використовуються для аналізу здоров'я рослин чи оцінки врожайності.

Інформацію з космосу одержують за допомогою знімальної апаратури, яка встановлюється на різних видів космічних літальних апаратах. Ці апарати можуть бути штучними супутниками Землі (ШСЗ), пілотованими космічними кораблями (ПКК), пілотованими орбітальними станціями (ПОС)

або автоматичними міжпланетними станціями (АМС). Кожен з цих типів апаратів використовує різні підходи та технології для збору та передачі інформації з космосу [4].

Обладнання, що використовується у дистанційному зондуванні, можна умовно розділити на дві великі категорії: системи спектральних даних та системи формування зображень.

Системи спектральних даних спрямовані на отримання детальної спектральної інформації про об'єкт, часто без безпосереднього створення зображень. Вони аналізують різні частини електромагнітного спектра, щоб зрозуміти інформацію про склад, хімічний склад та інші характеристики об'єктів.

Системи формування зображень, натомість, надають інформацію про просторову структуру об'єкту та, у деяких випадках, деякі спектральні дані. Вони здатні створювати зображення об'єктів, дозволяючи отримати візуальну інформацію про їхній вигляд та розмір.

Для проведення дистанційного зондування у різних діапазонах використовуються різні типи обладнання, такі як фотографічні, телевізійні, лазерні, радіолокаційні та теплові системи. Кожен з цих видів обладнання має свої особливості та можливості збору інформації [4].

У фотографічній системі знімок створюється за допомогою фоточутливої плівки. Об'єктив фокусує зображення на цій плівці. У цьому випадку, плівка виступає в ролі детектора, що реєструє світло, тоді як об'єктив відповідає за формування зображення на плівці шляхом фокусування світла. У фотографічній системі всі дані про зображення отримуються одночасно.

Однак, плівка у фотографічних системах має обмежений спектральний діапазон, порівняно з багатоспектральними сканерними системами. Це означає, що фотографічна плівка може бути менш чутливою до певних частин електромагнітного спектра. Однак, вона може мати дуже високу

просторову роздільну здатність, тобто може детально розрізняти об'єкти на знімку.

Фотографічні системи відрізняються високотехнологічністю і відносно низькою вартістю порівняно з багатоспектральними сканерними системами. Це робить їх привабливими для широкого використання в дистанційному зондуванні [4].

Електронні формуючі системи зображення схожі на фотографічні системи у тому, що вони також створюють зображення на поверхні, але використовують фотоелектричні елементи замість фотохімічної плівки. Ці системи мають затвор, оптичну систему і, в деяких випадках, компенсацію змазування для підвищення контрастності зображення, аналогічно стандартним фотокамерам.

Телевізійні системи є покадровими пристроями, які збирають дані і формують кадри майже миттєво. Це означає, що вони не потребують такої точної контрольованої рухомої частини, як у рядково-прямолінійних сканерів. Інформація, яка формується на фотоелектричній поверхні, обробляється електронним способом і передається швидко на приймальну станцію.

У космічних апаратах телевізійні системи часто використовуються для отримання зображень з середньою роздільною здатністю. Вони дозволяють швидко отримувати та передавати зображення, що є важливим для великого обсягу даних, отриманих у космічних умовах [4].

Радіолокаційні системи бокового огляду (РБО) - це модифікація радіолокаційних систем, які використовуються для дистанційного зондування у мікрохвильовому діапазоні. При розміщенні на літаючому апараті, вони є вдосконаленою версією імпульсних РЛС з круговим оглядом. РБО поділяються на дві основні категорії за принципом роботи: системи із реальною апертурою та системи із синтезованою апертурою.

Висока роздільна здатність вважається однією з ключових вимог до радіолокаторів, оскільки вона визначає деталізацію та якість отриманого



радіолокаційного зображення зондованої місцевості. Для підвищення роздільної здатності по азимуту використовують різні методи. Наприклад, можна збільшити горизонтальний розкриття антени або зменшити довжину хвилі. Обидва підходи спрямовані на досягнення більшої точності відображення деталей при зондуванні.

Лазерний локатор, або лідар, є ключовим приладом лазерної локації, який використовується для отримання зображень поверхні Землі. Активним елементом лідара є напівпровідниковий лазер з робочою довжиною хвилі в ближньому інфрачервоному діапазоні спектру.

Лазер випромінює короткі імпульси, напрямком поширення яких регулюється оптичною системою, зокрема, скануючим елементом. Режим сканування підбирається таким чином, щоб охопити задану смугу сканування, яка визначається для конкретної місії або завдання. Цей процес дозволяє лідару збирати інформацію про земну поверхню, надаючи детальні зображення для подальшого аналізу та обробки [4].

Лазерне випромінювання з робочою довжиною хвилі 1047 нм, що відповідає ближньому інфрачервоному діапазону, має декілька важливих наслідків:

1. Це випромінювання надзвичайно чутливе до метеорологічних умов атмосфери та наявності механічних домішок, які можуть суттєво впливати на сигнал. Це може ускладнювати процес зйомки і навіть робити його неможливим у деяких випадках.
2. Лазерне випромінювання такої довжини хвилі вважається найбільш небезпечним для зору, оскільки воно може викликати опіки сітківки [4].

У зв'язку з цим існують обмеження на мінімальну висоту польоту лідара, яка при максимальній потужності випромінювання становить від 300 до 500 метрів, в залежності від моделі лідара. Це обмеження стає додатковим фактором, який враховується під час планування аерознімальних робіт [4].

### 1.3 Опис методів обробки та аналізу даних

Обробка аерокосмічних знімків — це складне завдання, яке вимагає спеціалізованих навичок та знань. Розпізнавання об'єктів на зображеннях вимагає розуміння закономірностей будови земної поверхні, вміння складати карти та вирішувати конкретні завдання. Якість кінцевого результату безпосередньо залежить від того, наскільки грамотно і повноцінно було проведено аналіз знімків. Технічна компетентність у цьому процесі вирішальна для досягнення точності та повноти розпізнавання об'єктів [3].

Під час дешифрування знімків аналізують фотографічні образи об'єктів, які мають розпізнавальні ознаки - унікальні характеристики, за якими можна розрізнити об'єкти один від одного. Ці ознаки можуть бути прямими, тобто вони відображають безпосередньо характеристики об'єктів та їх зображень, чи непрямыми, коли вони виявляються через опосередковані ознаки. Важливо розпізнавати та аналізувати ці ознаки для точності та правильності ідентифікації об'єктів на знімках земної поверхні. До таких ознак належать:

1) Розмір об'єкта на знімку є однією з ключових прямих ознак, оскільки він дозволяє визначити його за довжиною, шириною та висотою, і порівняти з розмірами інших об'єктів. Однак розмір об'єкта на знімку може змінюватись залежно від масштабу знімка: на більшому масштабі об'єкти здаються більшими, а на меншому — меншими. Тому необхідно враховувати цей фактор під час аналізу зображень для точного визначення розмірів об'єктів.

2) Форма об'єкта на знімку є однією з ключових прямих ознак. Вона характеризується загальним контуром об'єкта на знімку та його окресленням. Об'єкти можуть мати різні форми, такі як геометричні, лінійні, компактні або об'ємні. Антропогенні об'єкти, наприклад, споруди, часто мають прямолінійну форму, що дозволяє відрізнити їх від природних об'єктів, таких як поля або луки. Наприклад, поля з сільськогосподарськими культурами

можуть мати прямокутну форму, тоді як луки, як правило, мають більш складну, неправильну форму та зазвичай розташовуються у водяних руслах або балках.

3) Тон на знімку - це важлива ознака, яка визначає яскравість або темність об'єкта в порівнянні з його оточуючим фоном. Ця характеристика особливо важлива на чорно-білих знімках, оскільки вона допомагає виділити об'єкти на фоні. Проте, варто зауважити, що тон зображення може змінюватися в залежності від численних факторів, таких як освітлення, пори року, погодні умови тощо. Однак зміна тону не означає завжди зміну самого об'єкта, вона може бути спричинена лише зміною умов зйомки.

4) Колір на аерознімках відіграє важливу роль у дешифруванні, особливо на кольорових знімках, де кожний об'єкт має свою специфічну кольірну палітру. Кольорові знімки надають більше інформації про об'єкти та їхнє оточення, порівняно з чорно-білими. Наприклад, у літній період на кольорових знімках можна легше розпізнати різноманітні елементи природи, оскільки багато об'єктів мають виразніші кольорові характеристики. Однак, варто враховувати, що колір також може бути змінений через різні чинники, такі як освітлення, умови зйомки або різні сезони року. Тому для дешифрування зображень потрібно уважно аналізувати колір та його взаємозв'язок з характеристиками об'єктів.

5) Тіні можуть відображати додаткову інформацію на аерокосмічних знімках. Вони можуть допомагати в розпізнаванні об'єктів, особливо при визначенні їхньої форми та розміру. Але на деяких знімках тіні можуть бути менш помітними або навіть відсутніми через різне освітлення, погодні умови або специфіку літнього періоду.

Деякі об'єкти або деталі можуть бути важко розпізнати через слабку або непомітну тінь, що відображається на знімках. Тому при аналізі зображень деякі об'єкти можуть залишатися нерозпізнаними або потребувати додаткових методів дешифрування для ідентифікації [3].

У таких випадках використовуються непрямі ознаки дешифрування [3]. Так, непрямі ознаки дешифрування використовують взаємозв'язки між об'єктами та елементами земної поверхні, які можуть бути недоступні для спостереження прямо на знімках. Це дозволяє робити висновки про властивості об'єктів, їхній стан чи характеристики на основі взаємодії з іншими елементами навколишнього середовища.

Наприклад, спостереження за станом доріг у різних умовах може допомогти розуміти особливості ґрунтів у відповідних місцевостях. Такий аналіз дозволяє зробити висновки про характеристики ґрунтів з відповідними типами доріг на знімках [3].

Методика дешифрування космічних знімків ґрунтується на комплексному підході, що враховує використання різноманітних даних, зібраних для досліджуваної території і характеризують об'єкти, які підлягають аналізу [4].

У процесі дешифрування об'єктів земної поверхні за космічними знімками використовується наступна схема робіт:

1. Визначення інформативних спектральних каналів супутникових знімків.
2. Корекція зображення: включає спектральну, геометричну та радіометричну корекцію.
3. Маскування хмар та втрачених даних: це виключення хмар та втрачених даних зі знімків у визначених каналах, а також атмосферна корекція.
4. Визначення локальних спектральних особливостей поверхні та візуальне дешифрування.
5. Напівавтоматичне чи автоматичне дешифрування.
6. Уточнення результатів дешифрування: враховуючи локальні особливості та застосування комплексних правил дешифрування.
7. Оцінка точності дешифрування.

8. Отримання результатів дослідження [3, 4].

### 1.4 Класифікація ГІС

ГІС можна класифікувати за декількома основними групами ознак:

1. Призначенням: використання та завдання, які система вирішує. Це може бути спрямовано на конкретні вирішення завдань у різних галузях: екологія, геологія, транспорт, територіальне планування тощо.
2. Проблемно-тематичною спрямованістю: орієнтація на певні галузі знань чи проблеми. Наприклад, для екологічних досліджень, аналізу транспортних потоків чи планування містобудівних проектів.
3. Межами територіального покриття: розмір території, яку система охоплює. Це може бути від невеликих локальних даних до глобальних масштабів.
4. Методами організації геопросторових даних: це включає формати зберігання, обробки та відображення географічної інформації, рівень доступу до неї та використання – від глобальних до локальних мереж.

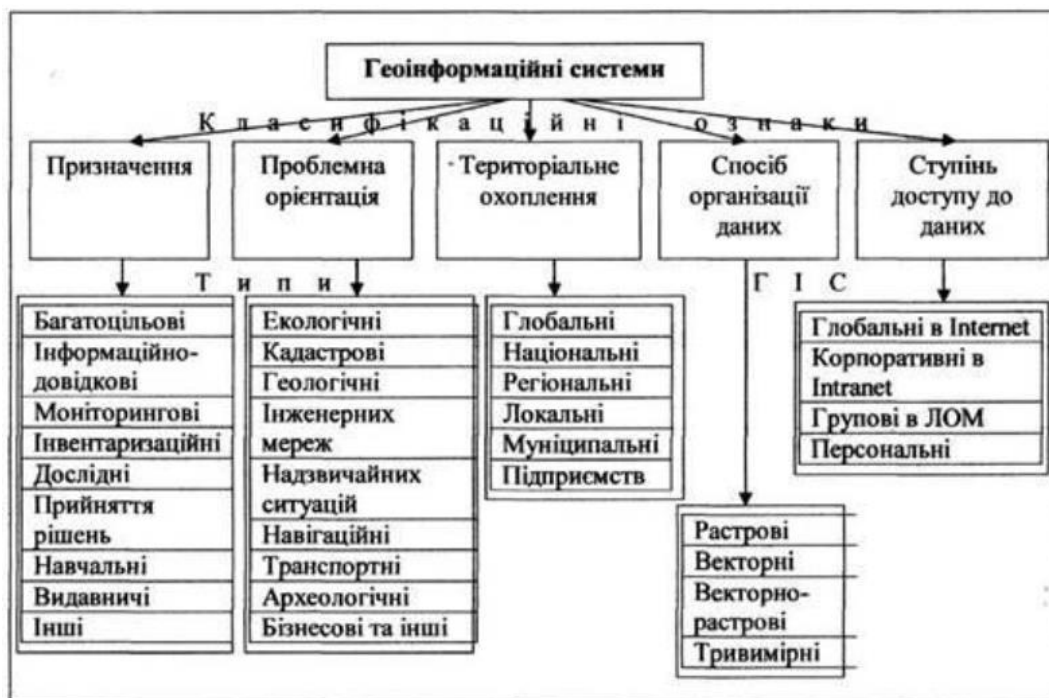


Рисунок 1.2 - Класифікація ГІС

Геоінформаційні технології (ГІС) виявляються важливими для аналізу берегової лінії, оскільки дозволяють швидко та ефективно опрацьовувати великі обсяги цифрових та текстових даних. Це відкриває можливості для докладного вивчення та аналізу певної території берегової лінії.

ГІС забезпечують широкий спектр переваг у порівнянні з іншими методами дослідження, особливо у випадку обробки великих обсягів інформації. Отримані дані відображають реальність у числовій та графічній формі, що дозволяє аналізувати берегову лінію та її зміни з чіткістю та достовірністю. Такий підхід спрощує отримання результатів та знижує ймовірність спотворень.

Геоінформаційна система (ГІС) має складну структуру, яка базується на різних компонентах. Ці компоненти включають апаратне забезпечення, програмне забезпечення, інформаційні ресурси та різні рівні користувачів.

Апаратне забезпечення: Це різні типи комп'ютерів та серверів, що забезпечують роботу ГІС.

Програмне забезпечення: Включає програмні продукти, які дозволяють зберігати, аналізувати, візуалізувати просторову інформацію та багато іншого.

Інформаційне забезпечення: Це просторові дані, такі як дані з дистанційного зондування, кадастрові матеріали, геологічні дані тощо.

Різні рівні користувачів: Від розробників та адміністраторів системи до користувачів, які використовують ГІС для розв'язання конкретних завдань.

Структуру ГІС часто можна представити у вигляді інформаційних шарів, де кожен шар представляє сукупність однотипних просторових об'єктів за певною темою або класом об'єктів в межах певної території. Наприклад, один шар може містити дані про рельєф і гідрографію, тоді як інші тематичні шари можуть включати дані про ґрунтовий покрив, межі землеустрою, місця відбору ґрунтових зразків та інше.

## **1.5 Висновки до розділу**

У цьому розділі детально розглянуто географічне положення та природні ресурси вивчаємої території, а саме району Тузлівської групи лиманів.

Проведено огляд, що таке дистанційне зондування землі та які бувають його типи. Розглянуто методи обробки та аналізу даних.

Також, розглянуті основні поняття геоінформаційних систем та їх класифікація.

У підсумку, можна сказати, що геоінформаційні системи (ГІС) володіють здатністю інтегрувати дані з різноманітних джерел, а матеріали дистанційного зондування (ДЗЗ) високого розрізнення надають можливість з високою точністю аналізувати стан та тенденції змін у положенні берегової лінії. Це означає, що ГІС можуть об'єднувати інформацію про берегову лінію з ДЗЗ для створення карт, моделей або аналізу змін у прибережних зонах з використанням високодеталізованих даних. Такий підхід дозволяє отримати більш повний та точний образ процесів, що відбуваються на березі, та їхніх змін з часом.

## **2 ТЕХНОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ЗМІН БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ ТУЗЛОВСЬКИХ ЛИМАНІВ**

Даний розділ методів автоматизації, які оптимізують роботу з даними дистанційного зондування, і зокрема методів класифікації на основі пікселів, запропоновано виконати аналіз існуючих методів для дослідження змін берегової лінії лиману. Крім того, розглядається реалізація, запропонованої технології на основі супутникових знімках. Потрібно виділити ознаку, яка буде ідентифікованою в обчисленнях, відповідати певному класу або бути позначеною як клас.

### **2.1 Просторово-часові зміни берегової лінії на основі супутникових знімків**

Просторово-часові зміни берегової лінії вказують на зміни в розташуванні прибережної зони протягом певного періоду часу. Це може включати зсуви берега, зміни розміру пляжів, ерозію узбережжя та інші процеси, які впливають на форму та структуру берегової лінії.

Дослідження просторово-часових змін берегової лінії є важливим для:

- прогнозування природних катастроф, таких як повені та урагани, які можуть впливати на берегову зону;
- управління природними ресурсами та охороною довкілля в узбережжі;
- планування інфраструктурних проєктів, таких як порти, готелі та дороги, що розташовані біля узбережжя.

Супутникові знімки відіграють ключову роль у вивченні та моніторингу просторово-часових змін берегової лінії. Основні переваги використання супутникових даних включають:

- супутники охоплюють великі території та можуть забезпечити інформацію про зміни на різних ділянках узбережжя;



- деякі супутники мають високу просторову роздільну здатність, що дозволяє виявляти навіть невеликі зміни в береговій зоні;
- супутники здатні збирати дані протягом тривалого періоду часу, що дозволяє вивчати динаміку змін узбережжя.

Берегова лінія визначається як межа або край суші та водного об'єкту (ріки, моря, озера, лимани, тощо) [5], і її зміна є динамічним процесом [6]. У системі, що працює в природних умовах, антропогенний тиск дуже низький або взагалі відсутній, і це не становить безпосереднього ризику для розширення берегової лінії або ерозії. Тим не менш, антропогенна діяльність може справляти глибокий вплив на динаміку берегових ліній [7]. Останніми роками через зміни природних факторів, таких як глобальне потепління та часті антропогенні дії на берегових лініях, зміни берегових ліній прискорилися [8]. Збір і аналіз довгострокових послідовних даних про берегові лінії мають вирішальне значення для розуміння впливу природної та антропогенної діяльності на зміни узбережжя та для надання рекомендацій щодо захисту та сприяння сталому розвитку прибережних регіонів [9].

Отримання місцезнаходження берегової лінії є першим кроком у вивченні просторово-часових змін. Розвиток технології дистанційного зондування продемонстрував, що берегові лінії можна отримати із зображень дистанційного зондування, а оптичні супутники, такі як Landsat, можна використовувати для картографування діпазонів повеней. Зображення космічного радіолокатора з синтетичною апертурою (SAR) не обмежується темрявою або погодними умовами, а мультиполяризаційний SAR також надає інформацію про часовий ряд для класифікації наземних об'єктів. Методи отримання берегової лінії із зображень дистанційного зондування можна розділити на ручну візуалізацію та автоматичну інтерпретацію. Ручне картографування берегових ліній із зображень дистанційного зондування є трудомістким і суб'єктивним, тоді як витягнуті берегові лінії мають кращу безперервність і більш придатні для невеликих досліджень [10]. Для автоматизованої інтерпретації використовується технологія обробки

цифрових зображень для отримання берегових ліній за допомогою автоматичної обробки зображень дистанційного зондування. Цей підхід є високоефективним і більш придатним для автоматичного вилучення та просторово-часового аналізу інформації про берегову лінію [11]. Методи обробки зображень дистанційного зондування для отримання берегових ліній включають виявлення країв, визначення порогів, машинне навчання, об'єктно-орієнтовані підходи, методи встановлення рівнів [12]. Кожен із цих методів має свій набір переваг і недоліків. Наприклад, метод визначення країв більш чутливий до шуму та краще підходить для виявлення прямих ліній і простих берегових ліній. Об'єктно-орієнтований метод вимагає більшої кількості даних, передбачає встановлення складних правил і має низьку продуктивність у реальному часі. На пороговий метод значно впливає шум, попередня підготовка машинного навчання є складною, а техніка встановлення рівня потребує багато часу для отримання результатів [13].

Зазвичай існує два методи аналізу змін берегової лінії району. Один підхід полягає в аналізі просторових змін для отримання даних про берегові лінії, тоді як інший передбачає створення моделей берегових ліній для порівняльного аналізу [14]. У цьому процесі коефіцієнт кінцевої точки (EPR) та інші оціночні показники широко використовуються для оцінки змін берегової лінії. Ці показники зазвичай розраховуються та візуалізуються цифровою системою аналізу берегової лінії (DSAS), яка поєднує різні дані, щоб знайти основні причини змін берегової лінії. Проаналізовано зміну положення берегової лінії за допомогою індикаторів EPR та LRR та спрогнозовано майбутнє положення берегової лінії за допомогою DSAS. Але аналіз зміни берегової лінії виключно на основі змін у місці обмежень. Необхідний подальший аналіз факторів, що викликають зміни узбережжя, щоб надати більш обґрунтовані рекомендації щодо управління береговою лінією. Чжу та ін. [15] об'єднали оптику та SAR, щоб вивчити зміни берегової лінії дельти Хуанхе за 40 років до 2020 року та виявили, що основним фактором зміни берегової лінії був перенесення наносів річкою.

Аналізуючи зміни берегової лінії островів у Південно-Східній Азії, автор в [16,17] зазначив, що людська діяльність, склад матеріалу та геоморфологічні типи узбережжя відіграють важливу роль в острівних країнах, і вплив підвищення рівня моря також має викликати пильність. Ван та інші [18] проаналізовано меліорацію через зміни берегової лінії. У районах морських портів людська діяльність має більш очевидний вплив на зміни берегової лінії, і моніторинг цих змін може скеровувати розробку політики та економічний розвиток .

Класифікація берегових ліній може завершити аналіз їх просторово-часових змін. Різні типи берегової лінії супроводжуються різними типами ґрунтового покриву, за якими можна визначити тип берегової лінії. Поєднання технології глибокого навчання та дистанційного зондування в першу чергу спрямоване на задоволення потреб обробки та аналізу зображень дистанційного зондування, таких як об'єднання зображень, реєстрація зображень, класифікація сцен, виявлення об'єктів, класифікація землекористування та земельного покриву, сегментація та об'єктно-аналіз зображень. Використано SegNet, модель глибокого навчання, для класифікації типів ґрунтового покриву в місті Наньян, Південна Корея, і довів, що точність була набагато вищою, ніж традиційний метод. Автри в [18] отримали тимчасовий тип земного покриву для французького острова Реюньйон, використовуючи супутникове зображення часового ряду та технологію глибокого навчання. В роботі [19] використовували часові ряди супутникових зображень Landsat і технологію глибокого навчання, щоб отримати довгостроковий тип покриву канадських луків. Ці результати демонструють переваги технології глибокого навчання в дослідженні часових рядів.

## 2.2 Алгоритми класифікації

### 2.2.1 Алгоритм класифікації Random forest

Алгоритм класифікації Random forest - це піксельний метод машинного навчання, був розроблений Брейманом у 2001 році, який додав до методу більше параметрів. Метод створює правила умов "якщо - то" для класифікації об'єктів. Правила розробляються на основі навчальних даних на основі навчальних наборів, заданих зразків, і вони базуються на дереві рішень. Алгоритм може бути налаштований за допомогою параметрів визначення кількості дерев та вхідних змінних кожного вузла дерева [20].

Навчальні дані використовуються як  $2/3$ , а решта  $1/3$  - як тестові. Техніка завантаження використовується для повторної вибірки вхідних змінних на підмножини, які визначатимуть розподіл для кожного вузла розгорнутої моделі CART. Алгоритм CART включає критерій Джині для виконання розбиття вузла, де він обирає змінні з найнижчим показником Джині. Коли критерій Джині дорівнює нулю, розгалуження закінчується [20]. Оцінка точності проводиться з вихідними даними шляхом прогону їх по дереву рішень. Для того, щоб класифікувати кожне дерево, необхідно визначити один клас (найуживаніший), а клас пікселя визначається більшістю даних.

Продуктивність класифікатора випадкового лісу не є надто високою, і не потребує навчання. Він може аналізувати вагу вхідних змінних, щоб виокремлювати ознаки та виявляти відхилення. Він може працювати з категоріальними змінними, незбалансованими даними, та пропущеними значеннями. На рисунку 2.1 наведено алгоритм класифікації Random forest.

### 2.2.2 Поріг Оцу

Нобуюкі Отсу сформулював метод, який автоматично обчислює "...оптимальний поріг на основі сірого зображення, і цей поріг максимізує міжкласову розбіжність. Попередні дослідження довели, що метод Оцу може

бути успішно застосований для картографування водних об'єктів за знімками "Landsat". Динамічність розбиття растрового зображення шляхом мінімізації внутрішньокласової дисперсії робить цей метод потужним інструментом біноміальної класифікації.

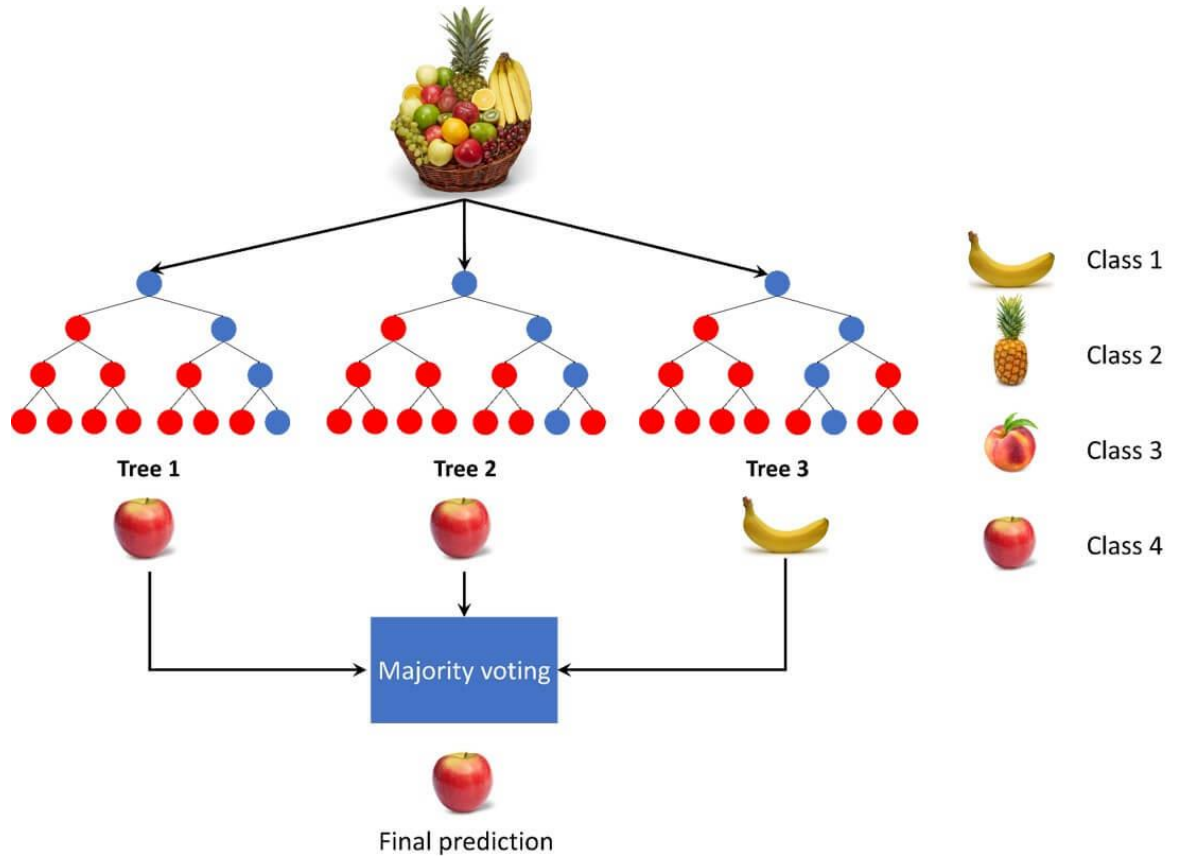


Рисунок 2.1 – Алгоритм класифікації Random forest

Метод Оцу є непараметричним і неконтрольованим з процедурою, яка використовує лише нульовий і кумулятивний моменти першого порядку гістограми рівня сірого. "Це метод легко поширити на багатопорогові задачі. Враховуючи ці моменти, метод, запропонований у цьому листуванні, може бути рекомендований як найбільш простий і стандартний для автоматичного вибору порогу який може бути застосований до різних практичних задач" (рис.2.2).

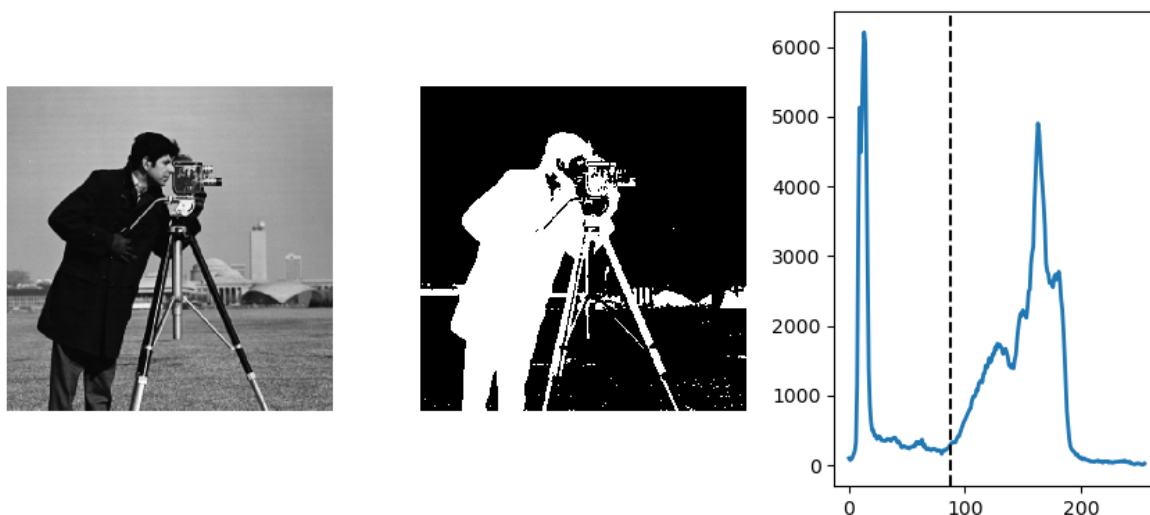


Рисунок 2.2 – Метод бінарного порогового значення на основі гістограми інтенсивностей пікселів

### 2.3 Супутникові індекси

Для оптимізації розрізнення класів та об'єктів на знімках були розроблені різні індекси. Їхню функцію можна сприймати як вирівнювання зображень, зосереджуючи увагу на конкретних спектральних характеристиках, які потрібно виділити або відокремити. відокремити. Прикладами таких індексів є NDVI та NDWI.

NDVI є одним з найпопулярніших супутникових індексів, який використовується для визначення ступеня здоров'я та густоти рослинності на земній поверхні. Цей індекс базується на відмінностях у відбиванні світла в ближніх інфрачервоних та червоних спектральних діапазонах. NDVI допомагає виявити рослинність уздовж берегової лінії та водних тіл, де її наявність може бути індикатором стабільності берегового середовища[11].

NDWI використовується для визначення розподілу води на земній поверхні. Цей індекс відображає відмінності у відбиванні світла в ближніх інфрачервоних та коротких інфрачервоних спектральних діапазонах. NDWI допомагає виділити водні тіла, такі як річки, озера та моря, а також ідентифікувати місця зміни рівня води вздовж берегової лінії [16].

Застосування супутникових індексів, таких як NDVI та NDWI, в дослідженнях берегової лінії дозволяє:

- визначити області змін рослинності: NDVI допомагає виявити зони, де рослинність може бути важливим фактором для стабільності берегової лінії;
- ідентифікувати водні об'єкти: NDWI дозволяє точно визначити водні тіла, що важливо для вивчення динаміки берегової лінії в контексті водних процесів;
- моніторити зміни в береговій зоні: Застосування цих індексів на різних моментах часу дозволяє виявити просторово-часові зміни в береговій лінії та водних об'єктах.

Супутникові індекси роблять дослідження берегової лінії більш точним і доступним, допомагаючи вивчати та моніторити зміни у прибережних зонах для кращого управління та охорони цього важливого довкілля.

Застосування супутникових індексів для аналізу берегової лінії має свої переваги, але також має певні недоліки та обмеження, які важливо враховувати:

- супутникові індекси можуть бути чутливими до атмосферних умов, таких як хмари, пил, аерозолі тощо, що може призвести до спотворення результатів аналізу;
- деякі супутникові платформи мають обмежену просторову роздільну здатність, що робить важким виявлення невеликих змін у береговій лінії;
- залежно від супутника, інтервал між знімками може бути значним, що робить важким відслідковування швидкозмінюючихся процесів.

Враховуючи ці недоліки та обмеження, дослідники повинні бути обережними при застосуванні супутникових індексів і враховувати їх у контексті конкретної задачі дослідження берегової лінії. Крім того,

комбінування даних з різних джерел і застосування різних індексів може допомогти подолати деякі з цих обмежень.

### 2.3 Індикатори для визначення берегової лінії

Для цілей управління прибережними територіями необхідно знати еволюцію берегової лінії у відповідній часовій шкалі. Для того, щоб проаналізувати ці зміни, необхідно дати визначення берегової лінії. Визначення берегової лінії, яка теоретично повинна представляти лінійну межу між морською і сухопутною областями, є дуже складним завданням через широке розмаїття індикаторів (ключових), які можуть базуватися на геоморфологічному аспекті, рівні припливів і відпливів або конфігурації рослинності, серед іншого [9].

Щоб зрозуміти методи виявлення берегової лінії, спочатку необхідно знати організацію прибережного середовища. Типовий профіль берегової лінії представлений на рисунку 2.3.

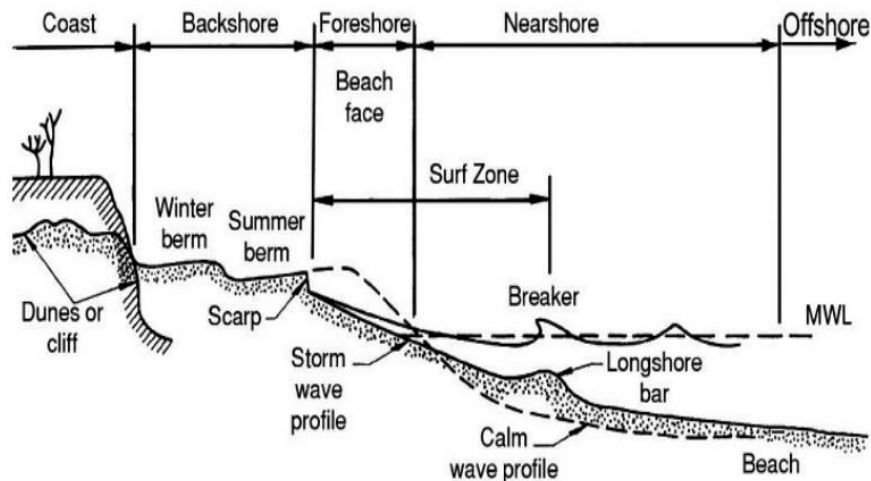


Рисунок 2.3 - Схематичний типовий профіль берегової лінії

Прибережні середовища подібні за складом і формою. Як показано на рисунку 2.3, у типовому профілі пляжу можна виділити чотири основні зони; вони простягаються від скелі або дюн до кінця прибережної смуги. Для



отримання більш детальної інформації про організацію профілю пляжу читачі можуть звернутися до [10,11]. Цей профіль може змінюватися від одного узбережжя до іншого. З цієї причини не існує індикатора, який можна використовувати для всіх типів узбережжя; функціональні індикатори залежать від профілю узбережжя та цілей моніторингу.

Індикатори берегової лінії повинні мати здатність схематично, але правильно відображати загальний стан узбережжя з точки зору його седиментаційної еволюції [12]. Автори в [8] перерахували 45 індикаторів берегової лінії, які використовуються в усьому світі для моніторингу узбережжя. Різні типи індикаторів, згруповані у сім типів: геоморфологічні реперні лінії, межі рослинності, миттєві рівні припливів і відпливів межі рослинності, миттєві рівні припливів і межі зволоження, дані про припливи, контури пляжів і штормові лінії. Кожен з цих типів індикаторів пов'язаний з різними показниками, які використовуються для виявлення та моніторингу узбережжя.

Виявлення різних індикаторів, наведених у таблиці вище, дозволяє здійснювати моніторинг узбережжя. Ці індикатори повинні бути здатні показувати модифікацію навколишнього середовища в пляжній зоні, але вони не повинні бути дуже чутливими до коливань місцевих умов.

Точність цих індикаторів залежить від якості матеріалу, умов роботи та досвіду оператора. Тому ця точність може варіюватися від одного оператора до іншого, але також для одного і того ж оператора можливі кілька результатів в залежності від умов роботи. Хорошим способом моніторингу цих показників є використання супутникового дистанційного зондування. Існує широкий спектр супутників, продукти яких можуть бути успішно використані для прибережної науки, зокрема, для виявлення берегової лінії з використанням автоматизованих або напівавтоматизованих методів обробки зображень.

Завдяки широкому спектру індикаторів берегової лінії, для виявлення берегової лінії використовується цілий ряд інструментів обробки зображень. Для виявлення берегової лінії. Супутникові знімки попередньо обробляються з метою отримання зображень, які можуть бути інтегровані в програмне забезпечення для обробки зображень з метою сегментації для виявлення берегової лінії.

## 2.4 Метод автоматизованого картографування та аналізу берегової лінії Тузловських лиманів

Запропонований в магістерській роботі метод для аналізу просторово-часових змін берегової лінії є комплексним процесом, що включає кілька етапів обробки та аналізу супутникових даних та топографічних карт, представлених на рис.2.4.

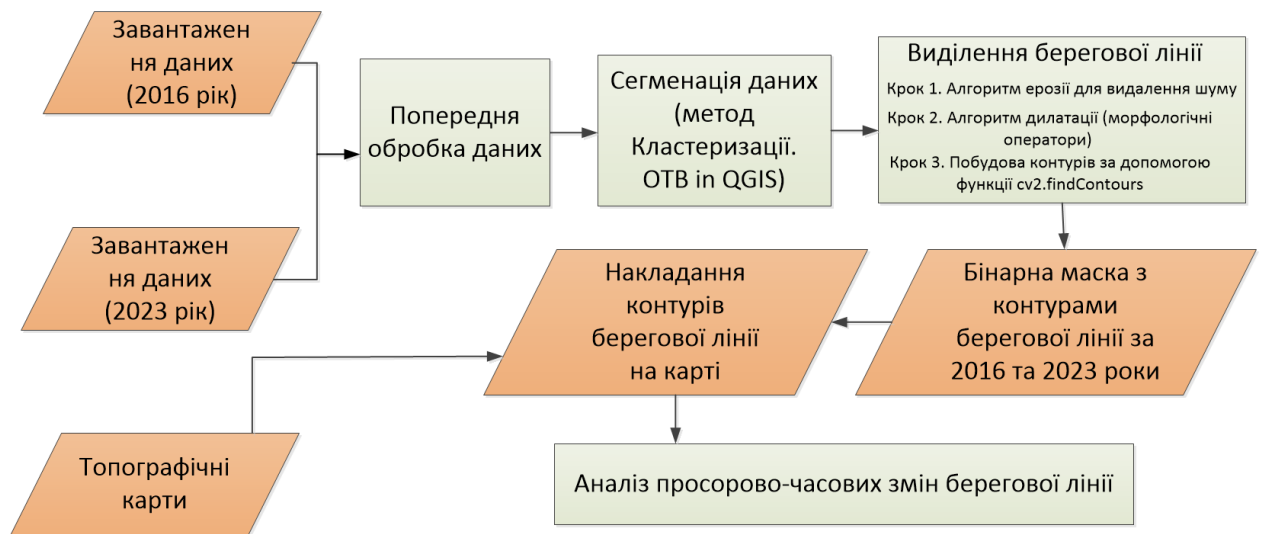


Рисунок 2.4 – Метод аналізу просторово-часових змін берегової лінії

Розглянемо детально етапи виконання методу.

Етап перший завантаження знімків за 2016. На початку вибираються та завантажуються супутникові знімки за 2016 рік з оптичного супутника Sentinel-2.

Аналогічно, вибираються та завантажуються супутникові знімки за 2023 рік.

Завантажуємо топографічні карти. Карти містять важливу інформацію про територію дослідження. Для накладення контурів берегової лінії на топографічні карти використовується геопросторовий аналіз, де визначаються координати берегової лінії та розміщення на карті.

Другим етапом є попередня обробка даних та сегментація даних. Попередня обробка даних включає в себе калібрування супутникових знімків, видалення атмосферного шуму і покращення контрастності. На цьому етапі метод кластеризації в поєднанні з Orfeo ToolBox (OTB) в QGIS використовується для сегментації супутникових зображень і групування пікселів за їхніми спектральними характеристиками. Цей метод допомагає виділити об'єкти та регіони із зображень, у тому числі і берегову лінію. Кластеризація - це метод машинного навчання, який дозволяє автоматично групувати подібні дані разом. У вас є супутникові знімки, де кожен піксель має спектральні значення (кольори) у різних каналах (червоний, зелений, синій і т. д.). Кластеризація групує пікселі за схожістю цих спектральних характеристик.

Сегментація даних використовується для виділення об'єктів на знімках, включаючи берегову лінію. Після сегментації ви можете використовувати методи аналізу геопросторових змін, щоб визначити та виділити берегову лінію з сегментованого зображення. Для цього можна використовувати фільтрацію, обробку морфологічними операторами та інші техніки для виявлення контуру берега.

Третій етап є важливим так як відповідає за картографування берегової лінії, базуються на морфологічних операціях та функціях.

Крок 1: Використання алгоритму ерозії для видалення шуму та виправлення контуру берегової лінії.

Алгоритм ерозії використовується для зменшення розміру об'єктів на зображенні та видалення шуму. Це досягається за допомогою ядра (ядро ерозії), яке скользять по зображенню і "зсуває" об'єкти. Формула для ерозії може бути представлена наступним чином:

$$Erosion(I, B) = \min(I(x, y) \text{ for } (x, y) \text{ in } B), \quad (2.1)$$

де  $I(x, y)$  - інтенсивність пікселя (зазвичай від 0 до 255) на позиції  $(x, y)$  на зображенні,  $B$  - ядро ерозії.

Використовуючи цей алгоритм зі спеціальним ядром, можна видалити шум і покращити контур берегової лінії.

Крок 2: Застосування алгоритму дилатації (морфологічні оператори) для уточнення контуру берегової лінії.

Алгоритм дилатації також використовує ядро для розширення об'єктів на зображенні. Він корисний для збільшення контуру об'єкта та заповнення прогалів. Формула для дилатації може бути подана наступним чином:

$$Dilation(I, B) = \max(I(x, y) \text{ for } (x, y) \text{ in } B) \quad (2.2)$$

де  $I(x, y)$  - інтенсивність пікселя на позиції  $(x, y)$  на зображенні,  $B$  - ядро дилатації.

Використовуючи дилатацію, можна підвищити видимість контуру берегової лінії.

Крок 3: Використання функції `cv2.findContours` для побудови точних контурів берегової лінії. `cv2.findContours` - це функція з бібліотеки OpenCV, яка дозволяє знаходити контури об'єктів на зображенні. Вона працює з піксельними значеннями, що були підвищені під час дилатації.

Після виконання цих трьох кроків ви матимете точні контури берегової лінії на зображенні, які можна використовувати для подальшого аналізу та

вимірювань. Формули алгоритмів ерозії та дилатації вказані вище, і їхнє використання в залежності від вашої задачі може варіюватися.

Четвертим етапом є отримання бінарної маска з контурів берегової лінії за 2016 та 2023 роки.

Для кожного року (2016 та 2023) маємо контури берегової лінії, які були отримані після застосування алгоритмів ерозії, дилатації та функції `cv2.findContours` на відповідних супутникових зображеннях. Спочатку створюється чорно-біла бінарна маска для кожного року, де всі пікселі мають значення 0 (чорний) на початку. Далі, для кожного контуру берегової лінії, ви заповнюєте відповідну область на бінарній масці значеннями 1 (білий). Це робиться шляхом замальовування пікселів всередині контуру білим кольором. Далі вода і суша були точно розділені. Метод порогового значення Оцу використовувався для визначення оптимального порогового значення для сегментації водних тіл і землі.

Після завершення цього процесу у вас буде дві бінарні маски, одна для 2016 року і одна для 2023 року, де білими пікселями відзначені області берегової лінії. Для отримання берегових ліній морфологічна операція була виконана на отриманому бінарному зображенні. Спочатку була виконана операція відкриття, щоб згладити межу, а потім операція закриття, щоб усунути безглузді об'єкти поблизу межі. Берегова лінія визначалася межею ділянки суші з найбільшим розміром на отриманому бінарному зображенні.

Останнім етапом є проведення аналізу просторово-часових змін берегової лінії.

Для опису змін берегової лінії найчастіше використовується індекс штучного узбережжя. У цьому дослідженні були використані для оцінки змін берегової лінії Тузловських лиманів, коефіцієнт кінцевої точки (EPR).

$$EPR = \frac{\text{Відстань (м)}}{\text{Час (роки)}} \quad (2.3)$$

де параметр «Відстань» - відстань переміщення берегової лінії, яка є відстанню зміни напрямку розширеної базової лінії між найдавнішим і останнім роками берегової лінії, а параметр «Час» — це проміжок часу, який є інтервалом між берегова лінія найстарішого та останнього року.

Щоб проаналізувати зміни берегової лінії Тузловських лиманів, використано коефіцієнт Пірсона  $r$  для визначення зв'язку між двома величинами. Як показано у формулі (2.4), значення коефіцієнта Пірсона між  $[-1,+1]$  і «+» і «-» вказує на позитивний і негативний зв'язок між двома величинами. Чим сильніша кореляція між двома величинами, тим ближче їхнє абсолютне значення коефіцієнта Пірсона до 1:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} , \quad (2.4)$$

де  $\bar{x}, \bar{y}$  є середніми значеннями двох змінних  $x$  і  $y$  відповідно.

## 2.5 Висновки до розділу

У цьому розділі детально розглянуто методи та технології, що використовуються для дослідження просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів на основі супутникових знімків. Запропонована робота охоплює важливі аспекти автоматизації обробки та аналізу даних дистанційного зондування та геоінформаційних методів.

Проведено аналіз існуючих методів для дослідження змін берегової лінії та обрали оптимальний підхід, що включає в себе використання супутникових знімків, алгоритмів класифікації, супутникових індексів та методів автоматизованого картографування. Розглянуто алгоритми класифікації, такі як Random Forest та поріг Оцу, які допомагають визначити класи об'єктів на зображеннях та ідентифікувати берегову лінію.

Також, досліджено супутникові індекси та індикатори, які використовуються для визначення берегової лінії та інших природних об'єктів на знімках.

У підсумку, розробили технологію для автоматизованого картографування та аналізу берегової лінії Тузловських лиманів, яка включає в себе використання сучасних методів обробки та аналізу супутникових даних. Ця технологія є важливим інструментом для вивчення та моніторингу змін на прибережних територіях і може бути використана для прийняття рішень в галузі управління прибережними ресурсами та земельним використанням.

## **3 ВАЛІДАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ЗМІН БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ ТУЗЛОВСЬКИХ ЛИМАНІВ**

### **3.1 Дані для дослідження з оптичних носіїв**

Датчики оптичних зображень є вирішальною технологією в області дистанційного зондування узбережжя. Основною функцією електрооптичних датчиків зображення є збір падаючого електромагнітного (ЕМ) випромінювання та перетворення його на збережене представлення, корисне для аналізу дистанційного зондування. Ці датчики працюють в оптичній області ЕМ-спектру, яка визначається як випромінювання з довжинами хвиль від 400 до 15000 нм. Цей діапазон включає видимий (400–700 нм), ближній інфрачервоний (NIR, 700–1100 нм), короткий інфрачервоний (SWIR, 1100–2500 нм), середньохвильовий інфрачервоний (MWIR, 2500–7500 нм) і довгий діапазони – хвильові інфрачервоні (LWIR, 7500–15000 нм) спектральні області [4]. Оптичне дистанційне зондування передбачає отримання та аналіз оптичних даних – електромагнітне випромінювання, яке зафіксоване зондуванням після відбиття цікавої області від землі/води. Різні матеріали/складові води по-різному відбивають і поглинають на різних довжинах хвиль. Таким чином, цілі/елементи можна диференціювати за їхніми спектральними ознаками відбиття на зображеннях дистанційного зондування. Оптично активні компоненти води, включаючи фітопланктон (хлорофіл а – Chla), детрит і мінерали, кольорову розчинену органічну речовину (CDOM – також званий гелбстоф або жовті речовини) і саму воду, – усі вони впливають на оптичний підпис води в видимі довжини хвиль. У видимому спектральному діапазоні сонячного випромінювання, світло може проникати у водойми, і його колір може змінюватися внаслідок процесів розсіювання та поглинання у водоймі або на її дні. Це дає змогу отримувати з даних оптичного дистанційного зондування інформацію про характеристики водного тіла та тип/концентрацію його компонентів. Водяна крива (спектральна сигнатура) характеризується високим поглинанням у діапазоні



довжин хвиль NIR та за його межами. Завдяки цій властивості поглинання водні об'єкти, а також об'єкти, що містять воду, можна легко виявити, локалізувати та окреслити за допомогою даних дистанційного зондування. Каламутна вода має більший коефіцієнт відбиття у видимій області, ніж чиста вода. Це також справедливо для вод, що містять високі концентрації Chla. Прибережні води є оптично складними, і сигнал, який збирає віддалений детектор, є змішаним сигналом, що включає різні оптично активні компоненти води з різних джерел. Комплексна взаємодія між фітопланктоном (Chla), загальною завислою речовиною (TSM) і CDOM призводить до поганої передбачуваної здатності у відновленні різних характеристик якості води в прибережних водах.

Оптичні системи дистанційного зондування класифікуються на різні типи залежно від кількості спектральних смуг, що використовуються в процесі формування зображення:

- панхроматична система зображення: датчик є одноканальним детектором, чутливим до випромінювання в широкому діапазоні довжин хвиль. Якщо діапазон довжин хвиль збігається з видимим діапазоном, то отримане зображення нагадує «чорно-біле»;

- мультиспектральна система візуалізації: датчик є багатоканальним детектором з кількома спектральними смугами. Кожен канал чутливий до випромінювання у вузькому діапазоні довжин хвиль. Отримане зображення є багатошаровим зображенням, яке містить як яскравість, так і спектральну інформацію цілей;

- системи гіперспектральних зображень: датчик отримує зображення в кількох (як правило, сотні або більше) суміжних спектральних смугах. Точна спектральна інформація, що міститься в гіперспектральному зображенні, забезпечує кращу характеристику та ідентифікацію цілей. Гіперспектральні зображення мають великий потенціал у застосуванні щодо управління прибережною зоною.

У прибережних і внутрішніх водах оптично активні компоненти часто змінюються незалежно, вимагаючи покращеної спектральної та радіометричної роздільної здатності, тоді як фізичні фактори, такі як припливи та географічні кордони, встановлюють різні просторові та часові масштаби порівняно з відкритим океаном [5]. Через велику кількість доступних датчиків із відмінними характеристиками вибрати найбільш відповідні супутникові зображення для моніторингу прибережного середовища є складним завданням. Вибір датчика залежить від потрібних застосувань, і слід враховувати різні типи роздільної здатності (просторову, спектральну, радіометричну та часову). Іншим аспектом, який може перешкодити вибору датчика, є доступність даних. Деякі зображення дійсно дорогі, а деякі дані можна безкоштовно завантажити або надати національним/міжнародним організаціям для дослідницьких цілей. Перелік найбільш актуальних оптичних датчиків, які використовувалися в останнє десятиліття для оцінки середовища прибережної зони, наведено в таблиці 3.1. З часів кольорового сканера прибережної зони (CZCS) у 1978 році було запущено низку датчиків, у тому числі датчик із широким полем огляду для спостереження за морем (SeaWiFS), спектродіаметр зображення MODerate (MODIS) і спектрометр зображення середньої роздільної здатності (MERIS). Ці прилади оснащені датчиками, оптимізованими для вимірювання випромінюваності або відбиття води, що виходить, у більшості світових океанів, але не у багатьох внутрішніх або прибережних водах. Останнім часом було досягнуто значних успіхів у вивченні прибережних і внутрішніх вод за допомогою глобальних датчиків, таких як дані середньої роздільної здатності MODIS і дані повної роздільної здатності (FR) MERIS [ 6 - 8]. Основною місією MERIS було вимірювання кольору моря в океанах і прибережних районах. Застосовність даних MERIS для досліджень узбережжя є широкою. На жаль, прилад MERIS більше не доступний (з травня 2012 року).

Таблиця 3.1 – Характеристики деяких оптичних систем

датчик	Спектральний Діапазон (нм)	Діапазон (нм) Немає.	Просторова роздільна здатність	Роздільна здатність	Ширина смуги
Landsat TM	450–900 1550–2350 10410–12500	4 VNIR 2 SWIR 1 TIR	30 м 30 м 120 м	16 днів	185 км
Landsat ETM+	450–900 1550–2350 10410–12500 520–900	4 VNIR 2 SWIR 1 TIR 1 PAN	30 м 30 м 60 м 15 м	16 днів	183 км
SPOT 4-5 HRVIR	500–890 1580–1750 610–680	3 VNIR 1 SWIR 1 PAN	20 м 20 м 10 м	26 днів	60 км
SPOT 5 HRS	500–890 1580–1750 510–730	3 VNIR 1 SWIR 1 PAN	10 м 20 м 5 м	26 днів	60 км
ASTER	520–860 1600–2430 8125–11650	3 VNIR 6 SWIR 5 TIR	15 м 30 м 90 м	16 днів	60 км
MODIS	620–14385	16 VNIR 4 SWIR 16 TIR	250 м–1 км	1 день	2330 км
SeaWIFS	402–885	8 VNIR	1.1 км	1 день	2800 км
MERIS	290–1040	15 VNIR	300 м	<3 дні	1150 км
Hyperion EO- 1	400–2500	220	30 м	16 днів	8 км
IKONOS-2	455–850 760–850	4 VNIR 1 PAN	4 м 1 м	1–3 дні	11 км
Quick Bird	430–918 405–1053	4 VNIR 1 PAN	2.44 м 0.61 м	<3 дні	16.5 км
Orbview-3	450–900 450–900	4 VNIR 1 PAN	4м 1м	<3 дні	8 км
GeoEye-1	450–920 450–800	4 VNIR 1 PAN	1.65 м 0.41 м	2.1–8.3 дн	15.2 км
WorldView-2	400–1040 450–800	8 VNIR 1 PAN	1.85 м 0.46 м	1.1–2.7 дні	16.4 км
Pleiades 1A/1B	430–950 480–830	4 VNIR 1 PAN	2.0 м 0.5 м	1 день	20 км
Sentinel-2	420–2370	VNIR- SWIR	10,20, 60 м	<3 дні	290 км

Традиційно Landsat (TM і ETM+), французька Systeme Pour l'Observation de la Terre (SPOT) і Terra/ASTER були надійними джерелами даних для наземного покриття великих прибережних вододілів [9, 10], кількісного визначення каламутності води [1], оцінка концентрації завислих відкладень [12 - 15], рослинний покрив [16], серед інших. Однак просторова роздільна здатність 30 м, 20 м і 15 м, відповідно, у видимому та ближньому інфрачервоному (NIR) діапазонах спочатку була розроблена для досліджень ґрунтового покриття. Доступність супутникових даних з високою просторовою та спектральною роздільною здатністю значно покращила можливості для картографування прибережних екосистем. Зображення високої роздільної здатності, отримані із супутників, таких як IKONOS-2, Quick Bird-2, GeoEye-1 і Orbview-3, можна використовувати для різних цілей щодо прибережних застосувань. WorldView-2 має просторову роздільну здатність 2 м для 8 мультиспектральних (МС) діапазонів (4 стандартні кольори: червоний, синій, зелений, NIR та 4 нових кольори: червоний край, прибережний, жовтий, NIR2 та 0,5 м просторова роздільна здатність для панхроматичний (PAN) діапазон (450–800 нм). Супутники Pleiades 1A/1B були розроблені з опцією термінового завдання і зображення можна запитувати менш ніж за шість годин до їх отримання. Ця функціональність виявиться неоціненною в ситуаціях, коли прискорений збір нових даних зображень має вирішальне значення, наприклад, моніторинг прибережної кризи. Цей датчик можна порівняти з іншими датчиками високої роздільної здатності (наприклад, GeoEye-1, Orbview-3). Hyperion забезпечує гіперспектральну камеру високої роздільної здатності, здатну розрізняти 220 спектральних смуг із роздільною здатністю 30 м. За допомогою цих спектральних смуг складні прибережні екосистеми можна відобразити та точно класифікувати. Hyperion забезпечує гіперспектральну камеру високої роздільної здатності, здатну розрізняти 220 спектральних смуг із роздільною

здатністю 30 м. За допомогою цих спектральних смуг складні прибережні екосистеми можна відобразити та точно класифікувати. Нуregion забезпечує гіперспектральну камеру високої роздільної здатності, здатну розрізнити 220 спектральних смуг із роздільною здатністю 30 м. За допомогою цих спектральних смуг складні прибережні екосистеми можна відобразити та точно класифікувати.

Незабаром оцінка даних Sentinel-2 покращить програми моніторингу прибережного середовища. Sentinel-2 був запущений у червні 2015 року в рамках програми COPERNICUS Європейського космічного агентства (ESA). Проект місії Sentinel-2 спрямований на створення оперативної багатоспектральної системи спостереження Землі, яка доповнює Landsat і SPOT і покращує доступність даних для користувачів.

Розробка спеціальних методів, заснованих на обробці оптичних супутникових даних, робить можливим виробництво інформації, дійсно корисної для прибережних середовищ, без будь-яких руйнівних впливів. Для вивчення прибережного середовища до супутникових знімків застосовували різні методи обробки зображень. Ці прийоми відрізняються в залежності від предмета дослідження. Більшість методів, широко використовуваних у дослідженнях суші та океану, також застосовуються в прибережних дослідженнях. Деякі методи також були навмисно розроблені для вивчення конкретних аспектів цієї області. Темою цього розділу є не вичерпний опис методів/алгоритмів обробки зображень, які використовуються в дослідженнях навколишнього середовища прибережної зони, а зосередження на діапазоні доступних застосувань.

Для аналізу берегової лінії Тузлівських лиманів в період з 2016 по 2023 рік було використано супутник Sentinel-2. Супутник Sentinel-2 належить до програми космічних апаратів Європейського космічного агентства (ESA) Copernicus і забезпечує повну охопленість Землі кожні 5 днів (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Інформація про оптичні знімки

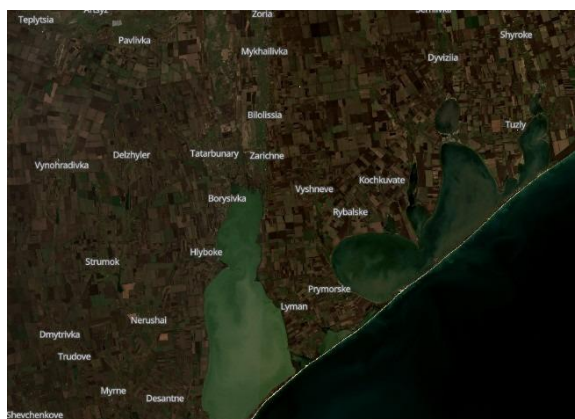
Період	Час	Оптичний носій	Дні	Роздільна здатність
2016 рік	з 11:30 до 13:30 за Києвським часом (EET)	Sentinel-2	Щотижневі проходи, приблизно щовівторка або середа	20 метрів
2017 рік				
2018 рік				
2019 рік				
2020 рік				
2021 рік				
2022 рік				
2023 рік				

Національний природний парк "Тузлівські лимани" розташований у Татарбунарському районі Одеської області. Цей парк включає в себе систему лиманів, таких як Шагани, Алібей та Бурнас, а також групу солоних лиманів лагунного типу. Від узбережжя Чорного моря ці лимани відокремлені піщаною косою завдовжки 29 кілометрів і шириною від 60 до 400 метрів. Національний природний парк був заснований у 2010 році з метою захисту унікальної і вразливої природи Причорномор'я (рис.3.1) [1].

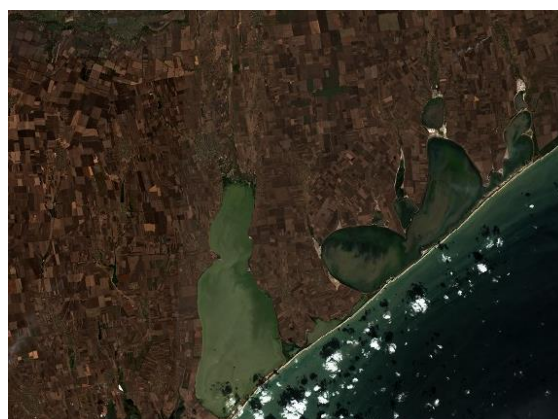


Рисунок 3.1 – Предметна область

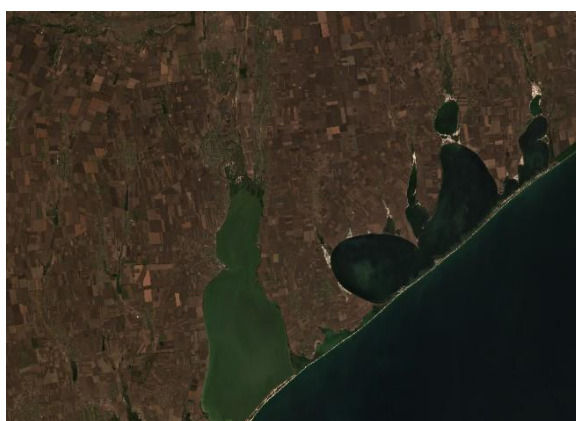
На рисунку 3.2 наведено супутникові знімки з оптичного носія Sentinel-2 з 2020 року по 2023 рік.



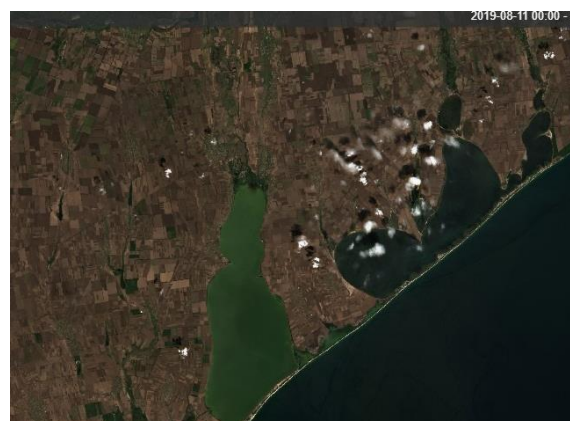
а)



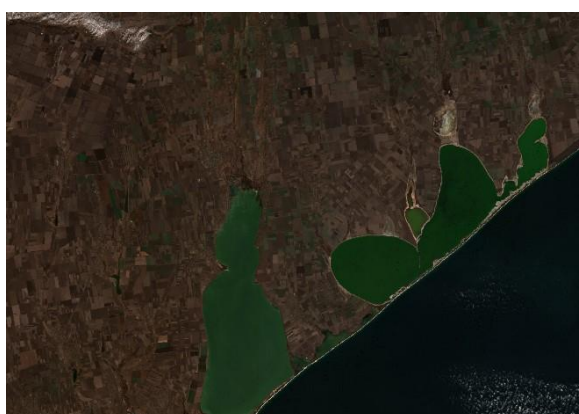
б)



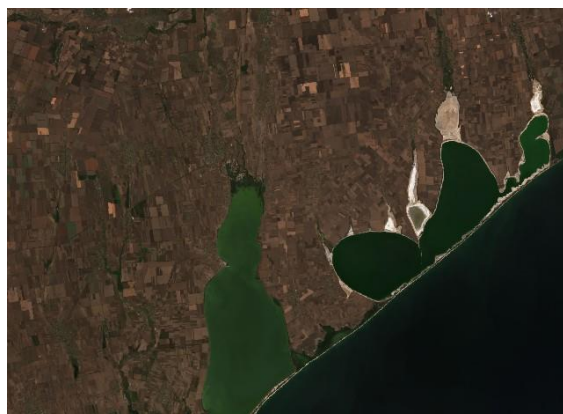
в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.2 – Супутниковий знімок Тузлівських лиманів у літній період: а) 2016 рік; б) 2017 рік; в) 2020 рік; г) 2021 рік; д) 2022 рік; е) 2023 рік

### 3.2 Програмна реалізація технології

У даному дослідженні для реалізації технології аналізу та моніторингу змін берегової лінії Тузловських лиманів, описаного у другому розділі було використано інтегроване середовище геоінформаційної системи QGIS та програмувальну мову Python.

Першим етапом було створено проект в QGIS та завантажено первинні данні. Додано базову карту та збільшили масштаб карти, щоб переглянути Одеську область, Татарбунарський район та лиман Шагани. Ця територія відзначена як Національний природний парк "Тузлівські лимани" і включає серію лиманів, які відокремлені від моря вузькою смугою землі (рис.3.3).

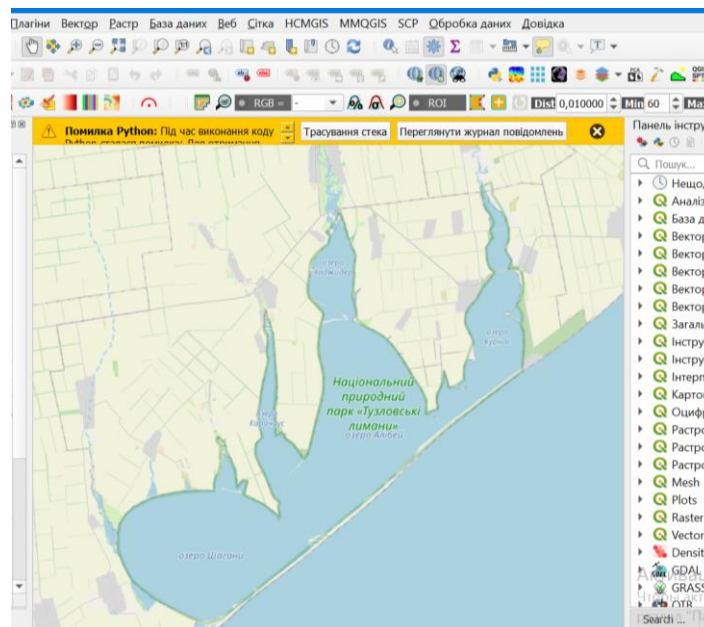


Рисунок 3.3 – Створення проекту

Далі створюємо топографічну карту. Для цього використовуємо інструмент XYZ Tiles (XYZ Тайли), щоб створити нове підключення до онлайн картографічного сервісу. OpenStreetMap є одним із стандартних сервісів, тому ви не повинні налаштовувати його окремо. Щодо інших сервісів, ви можете додатково підключити їх самостійно. Наприклад, сервіс OpenTopoMap надає можливість підключити шар з топографічною картою до



вашого проекту. Для цього вибираємо опцію "Нове підключення" з випадаючого меню.

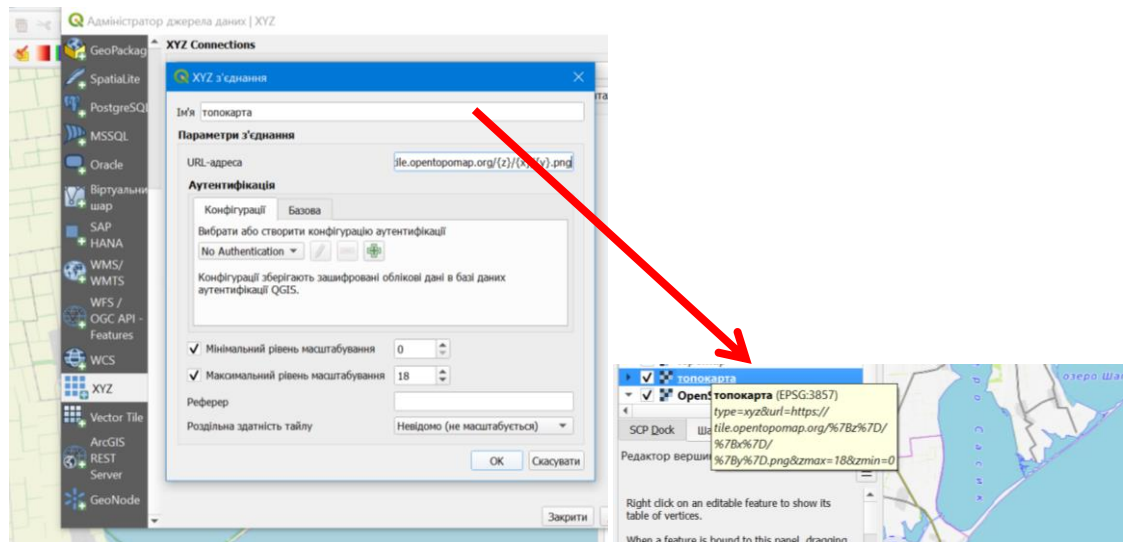


Рисунок 3.4 – Створення топографічної карти

Для завантаження супутникових знімків Sentinel-2 був використаний плагін "Sentinel-2 L2A Downloader". Потім обираємо опцію «Растр» та завантажуюємо супутникові знімки.

Для попередньої обробки знімків були використані стандартні інструменти QGIS, такі як "Raster Calculator" для арифметичних операцій над каналами, "Clip" для обрізки знімків за потребою, та "Resampling" для зміни роздільної здатності.

Важливим етапом є перевірка, що всі завантажені шари мають однакову проекцію. Якщо необхідно, змініть проекцію, щоб вони були зорієнтовані на одну систему координат. Тому, був використаний інструмент "Georeferencer GDAL" для корекції геореференції знімків.

Для сегментації та аналізу зображень були використані плагіни, такі як "Orfeo ToolBox (OTB)" або інші інструменти, що дозволяють виділяти різні об'єкти та структури на знімках.

Так як, запропоновано технологію автоматизованого виділення та дослідження змін берегової лінії, то було використано мову програмування Python та написано скрипт для автоматизації даного процесу. Лістинг скрипта наведено в додатку А.

Словесний алгоритм скрипта, запропонованої технології:

1. Початок

2. Імпорт бібліотек:

- cv2 (OpenCV);
- numpy;
- sklearn.cluster;
- qgis.core.

3.Визначення шляху до зображення: змінна `image_path` містить шлях до зображення. На цьому етапі використано умовну логіку для перевірки наявності зображення або інших умов

4. Сегментація зображення: використовується кластеризацію К-середніх (K-Means). Визначте кількість кластерів, на які виконаєм поділ даних на методів визначення оптимального К, таких як метод "ліктя" (Elbow method). Випадковим чином ініціалізуйте центроїди для кожного кластера за допомогою функції `numpy.random.rand()`

5. Виділення берегової лінії: використовуючи функцію `cv2.erode()`, застосуйте ерозію до зображення з використанням визначеного ядра. Це видалить дрібні об'єкти і шум на зображенні. За допомогою функції `cv2.dilate()`, застосуйте дилатацію до зображення з використанням визначеного ядра. Це збільшить об'єкти і заповнить невеликі отвори на зображенні. Викорисовуємо функцію `cv2.findContours()`, щоб знайти контури на обробленому зображенні. Параметри функції включають зображення, тип контурів (наприклад, `cv2.RETR_EXTERNAL` для зовнішніх контурів), та

метод апроксимації контурів (наприклад, `cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE` для спрощення контурів).

6. Створення маски: використовуємо `cv2.inRange()` для створення бінарної маски.

7. Знаходження контурів: використовувати `cv2.findContours()` для знаходження контурів на масці.

8. Створення растрового шару з контурами:

9. Створити порожній растровий шар у QGIS

10. Перетворити контурні точки в об'єкти `QgsPointXY`

11. Додати кожен контур як об'єкт `QgsFeature` до растрового шару

12. Додавання растрового шару до проекту QGIS:

13. Використовувати `QgsProject.instance().addMapLayer()`

14. Збереження результату:

15. Зберегти проект QGIS з результатами

16. Вивід повідомлення про завершення скрипта

17. Кінець

### **3.3 Тестування**

Для тестування було використано знімки, які були доступні відповідно до року від 2016 до 2023. Завантаження космічних знімків виконувалося за допомогою плагіну "SentinelHub" в середовищі QGIS, у п.3.1 наведено знімки для Тузлівських лиманів.

Далі було проведено сегментацію первинних даних на основі K-means (фрагмент наведено в лістингу 3.1), результат наведено на рис.3.5 та рис.3.6.

## Лістинг 3.1

```
# Перетворення зображення у вектор пікселів

pixel_values = image.reshape((-1, 3))

pixel_values = np.float32(pixel_values)

# Визначення кількості кластерів (груп)

k = 3

# Виконання алгоритму К-середніх

criteria = (cv2.TERM_CRITERIA_EPS +
cv2.TERM_CRITERIA_MAX_ITER, 100, 0.2)

_, labels, centers = cv2.kmeans(pixel_values, k, None, criteria, 10,
cv2.KMEANS_RANDOM_CENTERS)

# Конвертація центроїдів у цілі числа

centers = np.uint8(centers)

# Застосування кольорової мапи

segmented_image = centers[labels.flatten()]

segmented_image = segmented_image.reshape(image.shape)
```



Рисунок 3.5 – Сегментація супутникового знімка за 2016 рік

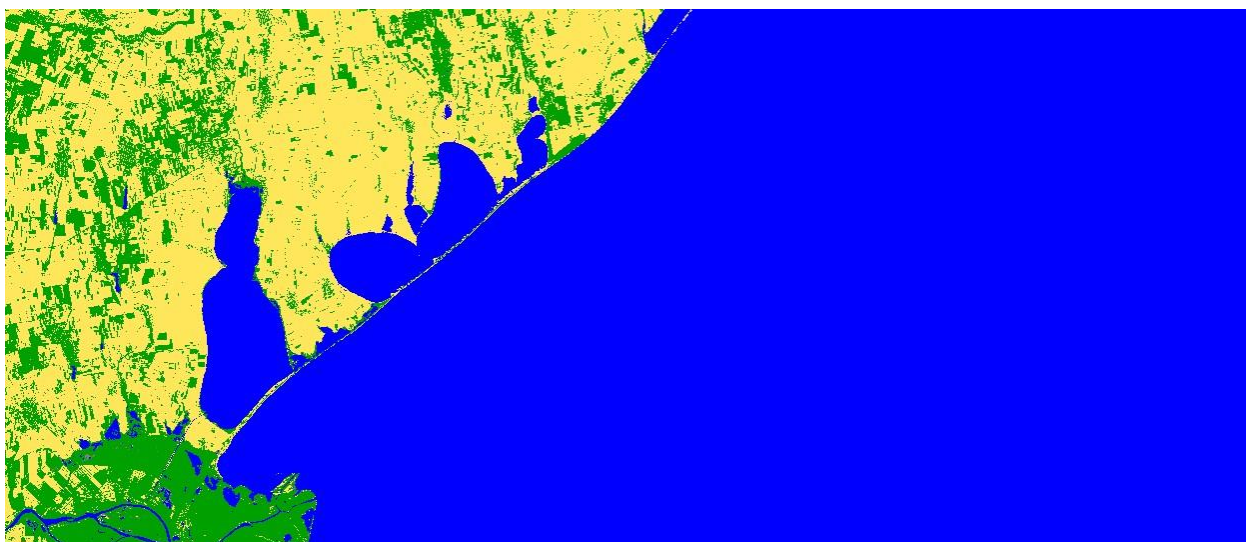


Рисунок 3.6 – Сегментація супутникового знімка за 2023 рік

Один з ключових етапів у процесі аналізу просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів - це створення бінарної маски для кожного року дослідження (від 2016 до 2023). Бінарна маска є важливим інструментом, який дозволяє визначити області, де берегова лінія підлягає зміні та області, де зміни відсутні. Для реалізації бінарної маски було обрано мову програмування Python, лістинг наведено в додатку А. На рисунку 3.7 та рис.3.8 наведено

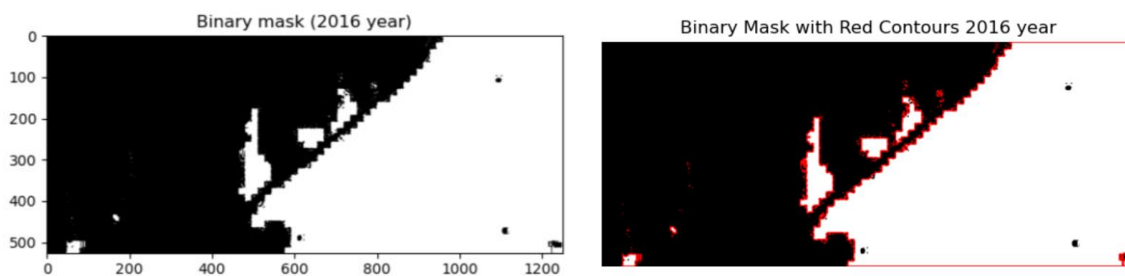


Рисунок 3.7 – Бінарна маска супутникового знімка за 2016 рік

Для кожного року була створена бінарна маска, де пікселі, що відповідають береговій лінії, отримували значення 1, а решта пікселів - значення 0. Ця маска виділяла області, де були виявлені зміни у береговій лінії протягом року.

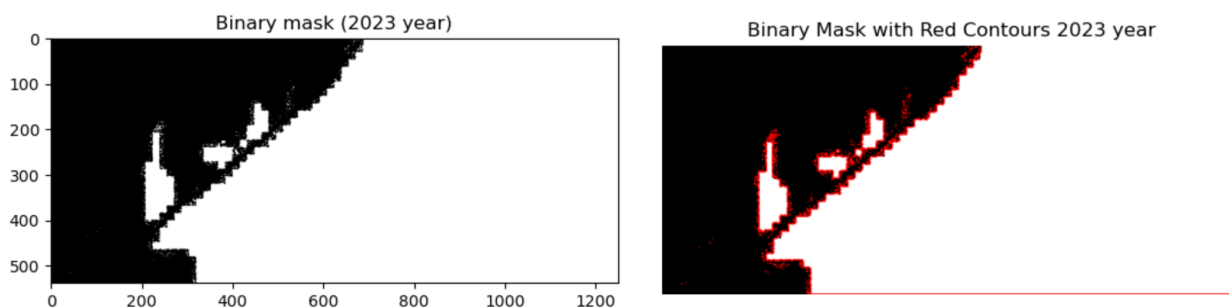


Рисунок 3.8 – Бінарна маска супутникового знімка за 2023 рік

Отримані бінарні маски були збережені для кожного року окремо. Це дозволило зберегти інформацію про наявність змін на березі для подальшого аналізу.

Після створення бінарних масок для кожного року дослідження, наступним важливим кроком стало накладання цих бінарних масок на первинні супутникові знімки відповідних років. Цей процес був виконаний для отримання більш деталізованої інформації про області змін у береговій лінії. На рисунку 3.9 та рисунку 3.10 наведено результат виділення берегової лінії Тузлівських лиманів.

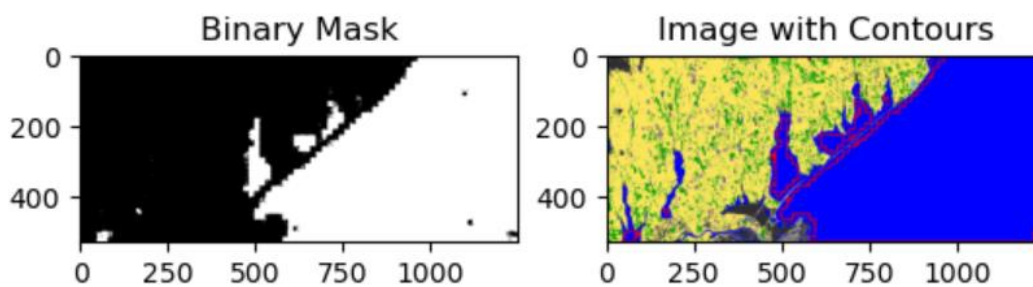


Рисунок 3.9 – Накладання контурів на первинні супутникові знімки за 2016 рік

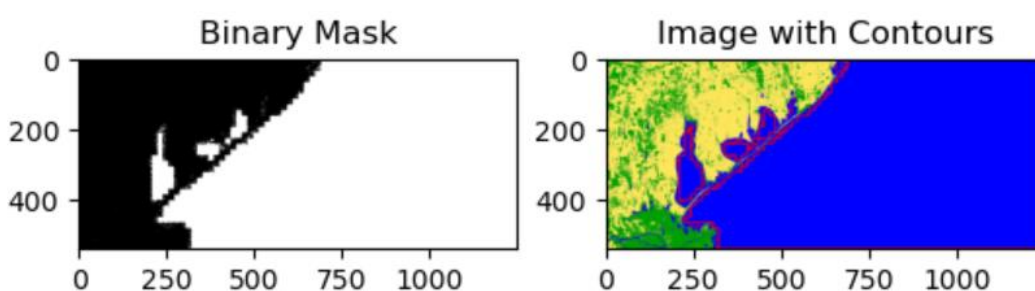
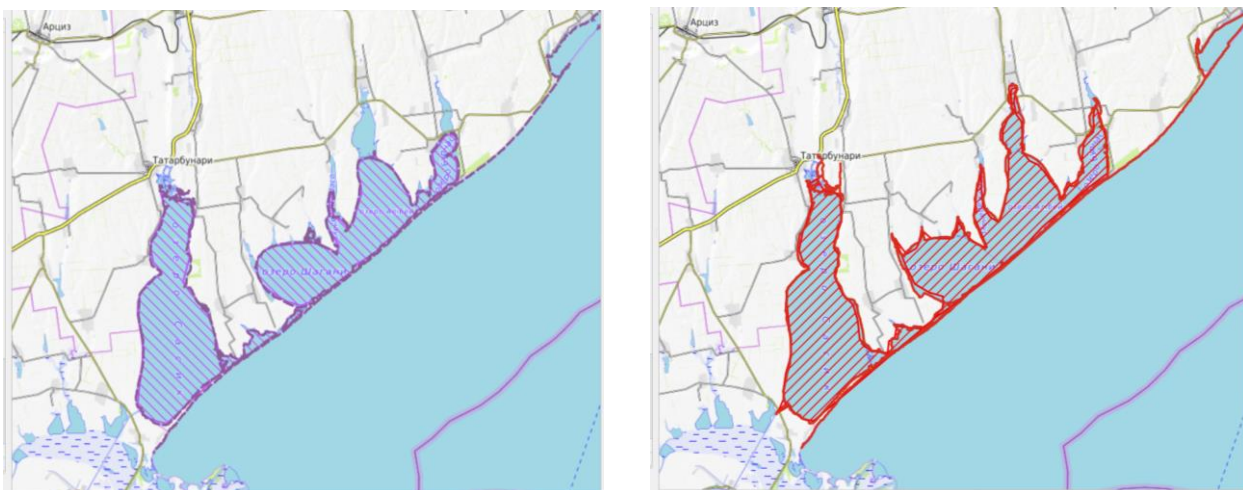


Рисунок 3.10 – Накладання контурів на первинні супутникові знімки за 2023 рік

Отримані контури змін берегової лінії були детально проаналізовані з використанням геоінформаційних технологій та інструментів, включаючи QGIS і мову програмування Python. Аналіз контурів надав змогу визначити характер змін (наприклад, ерозія чи накопичення матеріалу), їхню інтенсивність та розподіл вздовж берегової зони Тузловських лиманів.

Візуально проведено аналіз та як видно з рисунку 3.11 є зміни у береговій лінії, можна виявити території, де відбувається осушення лиманів. Це означає визначення територій, які, за даними земельного покриття, отриманими з супутникових знімків у період з 2016 по 2023 роки, більше не є водними ділянками. Такими областями є, наприклад, Солоне озеро-лиман та озеро-лиман Хаджидер.



а)

б)

Рисунок 3.11 – Дослідження берегової лінії Тузловських лиманів: а) за 2016 рік; б) за 2023 рік

Для оцінки зв'язку між двома змінними, в нашому випадку це дослідження зміни берегової лінії, використано коефіцієнт кореляції Пірсона. Лістинг наведено в додатку А.

Коефіцієнт кореляції Пірсона може мати значення в діапазоні від -1 до 1. Значення близьке до 1 вказує на сильний позитивний зв'язок між масками, значення близьке до -1 вказує на сильний негативний зв'язок, а значення близьке до 0 вказує на відсутність зв'язку. В таблиці 3.3 наведено результати значень коефіцієнта Пірсона, а на рис.3.12 побудовано графік значень коефіцієнта Пірсона по роках.



Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта Пірсона

<b>Коефіцієнт кореляції Пірсона між</b>	<b>Значення</b>
binary_mask2016 i binary_mask2017	0.9596888524852267
binary_mask2016 i binary_mask2018	0.9625785883764653
binary_mask2016 i binary_mask2019	0.9705769912509228
binary_mask2016 i binary_mask2020	0.968803060098949
binary_mask2016 i binary_mask2021	0.97134544644087
binary_mask2016 i binary_mask2022	0.9706479407142122
binary_mask2016 i binary_mask2023	0.9700921292791536
binary_mask2017 i binary_mask2018	0.9661926326159942
binary_mask2017 i binary_mask2019	0.9726228602213968
binary_mask2017 i binary_mask2020	0.9713257662906303
binary_mask2017 i binary_mask2021	0.9677648516187748
binary_mask2017 i binary_mask2022:	0.9692661582495219
binary_mask2017 i binary_mask2023	0.9685596743354723
binary_mask2018 i binary_mask2019:	0.980767638225094
binary_mask2018 i binary_mask2020	0.9777002751624333
binary_mask2018 i binary_mask2021	0.9747313302103213
binary_mask2018 i binary_mask2022	0.9750296919645114
binary_mask2018 i binary_mask2023	0.9758165061895073
binary_mask2019 i binary_mask2020	0.9854250293788954
binary_mask2019 i binary_mask2021	0.9829843241540552
binary_mask2019 i binary_mask2022	0.9835115334274432
binary_mask2019 i binary_mask2023	0.9854327546115056
binary_mask2020 i binary_mask2021	0.98032044988184
binary_mask2020 i binary_mask2022	0.9812711154117137
binary_mask2020 i binary_mask2023	0.9820318691357905
binary_mask2021 i binary_mask2022	0.9841291214929013
binary_mask2021 i binary_mask2023	0.9845662762203864
binary_mask2022 i binary_mask2023:	0.9864717642030212

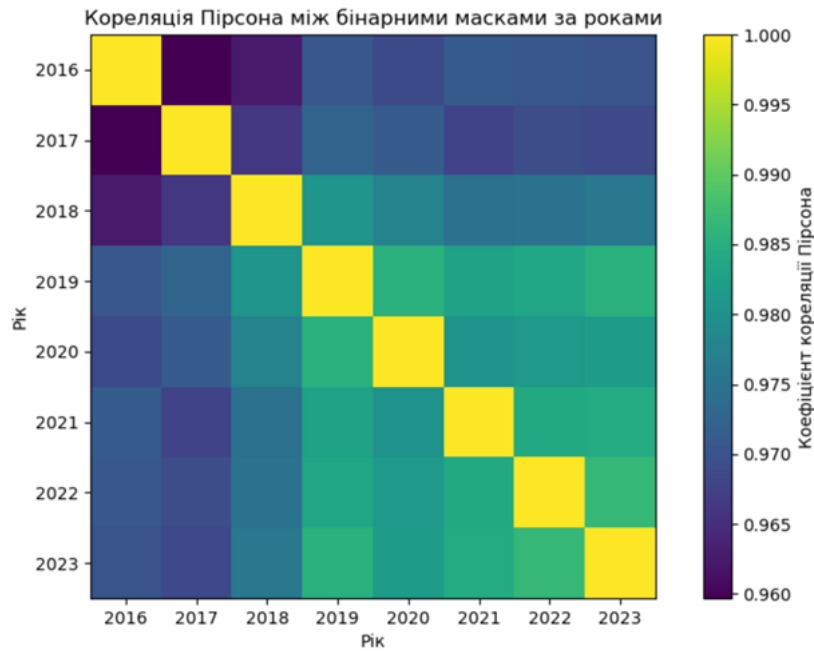


Рисунок 3.12 - Графік значень коефіцієнта Пірсона по роках

Наступ етапом було виконано середньорічну швидкість зміни прилеглих берегових ліній Тузлівських лиманів з 2016 по 2023 роки. Це означає визначення, наскільки швидко змінюється берегова лінія на основі бінарних масок (водних об'єктів) з року в рік протягом періоду з 2016 по 2023 роки. Ця оцінка може вказувати на тенденцію до зміни площі водойм або обміління прибережних територій з часом.

Для розрахунку такої швидкості зазвичай використовують метод вимірювання змін у площі або положенні берегової лінії протягом кількох років і поділяють цю зміну на кількість років, щоб отримати середньорічну швидкість зміни. Наприклад, якщо площа водних об'єктів зменшилась на 10% протягом 8 років, то середньорічна швидкість зміни складе  $10\% / 8 \text{ років} = 1,25\%$  на рік. На рисунку 3.13 наведено графік зміни площі водних об'єктів.

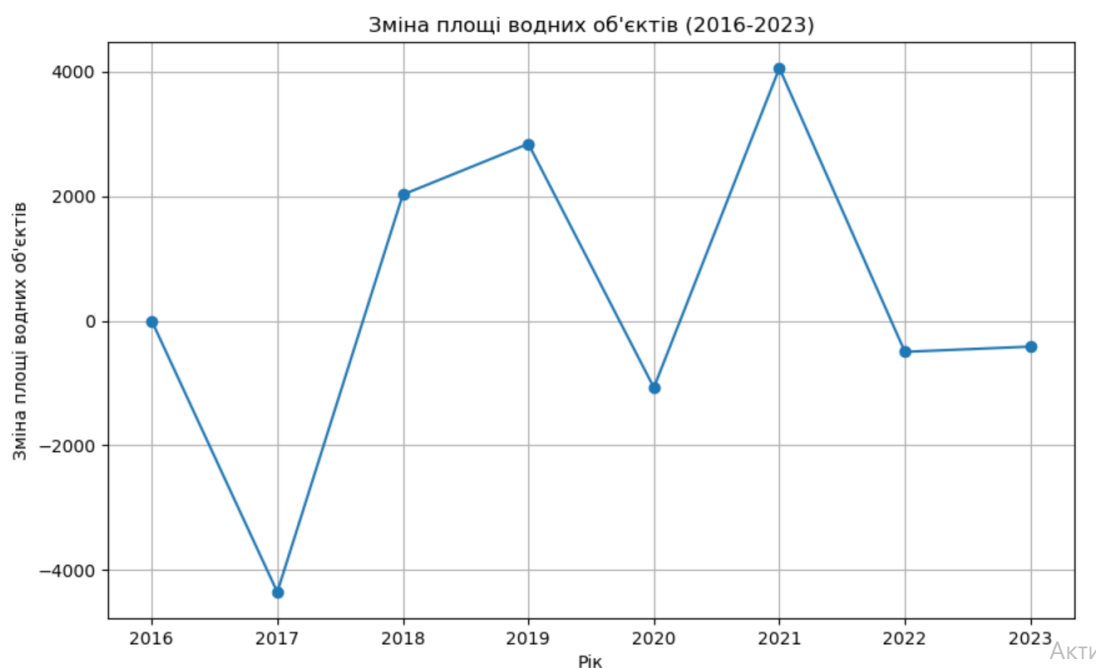


Рисунок 3.13 – Графік зміни площі берегової лінії Тузлівських лиманів

Графік з рис.3.13 відображає тенденцію зміни берегової лінії на протязі 2016-2023 років. Кожна точка на графіку представляє середньорічну швидкість зміни берегової лінії протягом певного року. Ця швидкість вимірюється у в пікселях кожної бінарної маски відносно початкового року (у відсотках на рік або в іншому відносному вимірі). Аналізуючи цей графік, можна визначити тенденцію зміни берегової лінії, а саме графік показує постійний спад, це може вказувати на тенденцію до втрати прибережних територій (обміління) з часом.

Завершальним етапом є накладення границь лінії Тузлівських лиманів на супутниковий знімок, зроблений влітку 2023 року (рис.3.14). В додатку Б наведено результат для 2016 року та 2023 року. Візуально можна спостерігати за очевидними ознаками втрати прибережних територій (обміління) протягом цього періоду.



Легенда



-  Берегова лінія 2016 року
-  Берегова лінія 2023 року

Рисунок 3.14 – Зміни площі берегової лінії Тузлівських лиманів з 2016 рік по 2023 рік

Щоб переконатись в тому, що проведені дослідження виконані нам правильно, ми звертаємось до Інтерне ресурсу на сторінку Національного природного парку «Тузлівські лимани» де вказано, що на даний момент стан водних угідь групи Тузлівських лиманів є критичним. Внаслідок відсутності належного водообміну між лиманами та Чорним морем, а також впливу засухи протягом останніх років, площа водних поверхонь лиманів зменшилася приблизно на 5 тисяч гектарів. Ці території служили важливими місцями живлення для коловодних птахів. В повідомленні закликається всіх мешканців планети Земля берегти навколишнє середовище, раціонально використовувати природні ресурси, підвищувати родючість ґрунтів та зберігати енергоресурси для підтримки екологічної рівноваги на планеті [2].

### 3.4 Висновки до розділу

В даному розділі ми розглянули проведення валідації нашої технології для аналізу просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів. Для цього ми використовували дані, отримані з оптичних супутникових знімків та реалізовані програмні інструменти у середовищі QGIS.

На першому етапі завантажували космічні знімки, що включали дані з років 2016 та 2023. Ці дані були необхідні для подальшого порівняння і визначення просторово-часових змін.

Далі, використовували програмну реалізацію нашої технології, яка включала в себе ряд методів та плагінів, скрипт Python у середовищі QGIS. Створювали бінарні маски, які відображали області обміління лиманів, та накладали контури берегової лінії на первинні знімки.

Після цього аналізували результати нашого дослідження та порівнювали їх з даними, отриманими на місцях та іншими доступними джерелами інформації. Валідація технології показала, що запропонований метод дозволяє ефективно визначити зони обміління лиманів та виявляти просторово-часові зміни в береговій лінії.

Отже, результати валідації підтвердили придатність нашої технології для вивчення просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів на основі оптичних супутникових знімків. Це важливий крок у дослідженні та збереженні цієї вразливої екосистеми та природного середовища.

## ВИСНОВКИ

Дана кваліфікаційна робота розглянула важливу проблему вивчення просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів з використанням сучасних геоінформаційних методів та оптичних космічних знімків. Метою роботи було розроблення та валідація технології, яка дозволяє аналізувати просторово-часові зміни у береговій лінії Національного природного парку.

В роботі детально розглянуто методи та технології, що використовуються для дослідження просторово-часових змін берегової лінії Тузловських лиманів на основі супутникових знімків. Запропонована робота охоплює важливі аспекти автоматизації обробки та аналізу даних дистанційного зондування та геоінформаційних методів

У процесі виконання технології було використано ряд програмних інструментів, зокрема середовище QGIS та мову програмування Python, для обробки та аналізу оптичних космічних знімків. Було розроблено методику визначення зон обміління лиманів, виділення берегової лінії, та аналізу просторово-часових змін.

Результати виконаної роботи підтвердили придатність розробленої технології для вивчення динаміки берегової лінії Тузловських лиманів. Вона дозволяє виявляти та аналізувати зміни, що відбуваються у цій екосистемі, та може бути використана для моніторингу впливу природних та антропогенних чинників на цю область.

Проведений аналіз дозволив встановити, що берегова лінія на супутниковому знімку за 2023 рік розташована ближче до водних об'єктів порівняно з береговою лінією на знімку за 2016 рік, що є ознакою втрати прибережних територій (обміління) протягом цього періоду

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бурштинська Х.В. Аерокосмічні знімальні системи: навч. посіб. / Х.В. Бурштинська, С.А. Станкевич. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2010. – 292 с.
2. Сахацький О.І. До можливостей оцінювання зволоженості земного покриття за багатоспектральними космічними зображеннями оптичного діапазону на прикладі території України / О.І. Сахацький, С.А. Станкевич // Доповіді НАН України. – 2007.– № 11. – С.122–129.
3. Довгий С.О., Лялько В.І., Бабійчук С.М., Кучма Т.Л., Томченко О. В. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посіб. / С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко. – Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. – 316 с.
4. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: підруч. – К.: Вища школа, 2009. – С. 16.
5. Moussa R. M., Fogg L., Bertucci Frédéric, Calandra M., Collin A., Aubanel A., et al. (2019). Long-term coastline monitoring on a coral reef island (Moorea, French Polynesia). *Ocean Coast. Manage.* 180, 104928. doi: 10.1016/j.ocescoaman.2019.104928.
6. Ai B., Zhang R., Zhang H., Ma C., Gu F. (2019). Dynamic process and artificial mechanism of coastline change in the Pearl River Estuary. *Regional Stud. Mar. Sci.* 30, 100715. doi: 10.1016/j.rsma.2019.100715.
7. Wiles E., Loureiro C., Cawthra H. (2022). Shoreline variability and coastal vulnerability: Mossel Bay, South Africa. *Estuarine Coast. Shelf Sci.* 268, 107789. doi: 10.1016/j.ecss.2022.107789.
8. Chen C., Bu J., Zhang Y., Zhuang Y., Chu Y., Hu J., et al. (2019). The application of the tasseled cap transformation and feature knowledge for the extraction of coastline information from remote sensing images. *Adv. Space Res.* 64, 1780–1791. doi: 10.1016/j.asr.2019.07.032.

9. Özpolat E., Demir T. (2019). The spatiotemporal shoreline dynamics of a delta under natural and anthropogenic conditions from 1950 to 2018: A dramatic case from the Eastern Mediterranean. *Ocean Coast. Manage.* 180, 104910. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2019.104910.
10. Boussetta A., Niculescu S., Bengoufa S., Zagrarni M. F. (2022). Spatio-temporal analysis of shoreline changes and erosion risk assessment along Jerba island (Tunisia) based on remote-sensing data and geospatial tools. *Regional Stud. Mar. Sci.* 55, 102564. doi: 10.1016/j.rsma.2022.102564
11. Chang D., Wang Z., Ning X., Li Z., Zhang L., Liu X. (2022). Vegetation changes in Yellow River Delta wetlands from 2018 to 2020 using PIE-Engine and short time series Sentinel-2 images. *Front. Mar. Sci.* 9. doi: 10.3389/fmars.2022.977050
12. Cai H., Li C., Luan X., Ai B., Yan L., Wen Z. (2022). Analysis of the spatiotemporal evolution of the coastline of Jiaozhou Bay and its driving factors. *Ocean Coast. Manage.* 226, 106246. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106246
13. Toure S., Diop O., Kpalma K., Maiga A. S. (2019). Shoreline detection using optical remote sensing: A review. *Int. J. Geo-Information.* 8, 75. doi: 10.3390/ijgi8020075
14. Hu X., Wang Y. (2022). Monitoring coastline variations in the Pearl River Estuary from 1978 to 2018 by integrating Canny edge detection and Otsu methods using long time series Landsat dataset. *CATENA* 209, 105840. doi: 10.1016/j.catena.2021.105840.
15. Zhu Q., Li P., Li Z., Pu S., Wu X., Bi N., et al. (2021). Spatiotemporal changes of coastline over the Yellow River Delta in the previous 40 years with optical and SAR remote sensing. *Remote Sensing.*; 13 (10), 1940. doi: 10.3390/rs13101940.
16. Zhang Y., Li K., Zhang G., Zhu Z., Wang P. (2023). DFA-UNet: efficient railroad image segmentation. *Appl. Sci.* 13, 662. doi: 10.3390/app13010662.



17. Wang X., Yan F., Su F. (2021). Changes in coastline and coastal reclamation in the three most developed areas of China, 1980–2018. *Ocean Coast. Manage.* 204, 105542. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105542.

18. Wiles E., Loureiro C., Cawthra H. (2022). Shoreline variability and coastal vulnerability: Mossel Bay, South Africa. *Estuarine Coast. Shelf Sci.* 268, 107789. doi: 10.1016/j.ecss.2022.107789.

19. Pouliot D., Alavi N., Wilson S., Duffe J., Pasher J., Davidson A., et al. (2021). Assessment of landsat based deep-learning membership analysis for development of from-to change time series in the prairie region of Canada from 1984 to 2018. *Remote Sens.* 13, 634. doi: 10.3390/rs13040634

## Додаток А. Фрагмент лістингу програми

```

Python 3.10.4 (tags/v3.10.4:9d38120, Mar 23 2022, 23:13:41) [MSC v.1929 64 bit (AMD64)] on win3
2
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>> import cv2
... import numpy as np
... import matplotlib.pyplot as plt
... from scipy.stats import pearsonr
...
... # Крок 1: Завантаження супутникових знімків (2016 рік)
... satellite_image_2016 = cv2.imread('satellite_image_2016.jpg')
...
... # Крок 2: Завантаження даних (2023 рік)
... data_2023 = np.load('data_2023.npy')
...
... # Крок 3: Топографічні карти та накладання контурів берегової лінії
... topographic_map = cv2.imread('topographic_map.jpg')
... contours, _ = cv2.findContours(topographic_map, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
...
... # Крок 4: Попередня обробка даних та сегментація (K-means)
... # Перетворення зображення у вектор пікселів
... pixel_values = image.reshape((-1, 3))
... pixel_values = np.float32(pixel_values)
...
... # Визначення кількості кластерів (груп)
... k = 3
...
... # Виконання алгоритму K-середніх
... criteria = (cv2.TERM_CRITERIA_EPS + cv2.TERM_CRITERIA_MAX_ITER, 100, 0.2)
... _, labels, centers = cv2.kmeans(pixel_values, k, None, criteria, 10, cv2.KMEANS_RANDOM_CENTERS)
...
... # Конвертація центрів у цілі числа
... centers = np.uint8(centers)
...
... # Застосування кольорової мапи
... segmented_image = centers[labels.flatten()]
... segmented_image = segmented_image.reshape(image.shape)
...
... # Відобразити сегментоване зображення
... cv2.imshow('Segmented Image', segmented_image)
... cv2.waitKey(0)

```

```

... segmented_image = segmented_image.reshape(image.shape)
...
... # Відобразити сегментоване зображення
... cv2.imshow('Segmented Image', segmented_image)
... cv2.waitKey(0)
... cv2.destroyAllWindows()
... # Крок 5: Виділення берегової лінії
... # Крок 5.1: Алгоритм ерозії для видалення шуму
... kernel = np.ones((5, 5), np.uint8)
... erosion = cv2.erode(data_2023, kernel, iterations=1)
...
... # Крок 5.2: Алгоритм дилатації (морфологічні оператори)
... dilation = cv2.dilate(erosion, kernel, iterations=1)
...
... # Крок 5.3: Побудова контурів за допомогою функції cv2.findContours
... contours_2023, _ = cv2.findContours(dilation, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
...
... # Виведення кількості контурів (може знадобитись для аналізу)
... print(f'Знайдено {len(contours_2023)} контурів берегової лінії за 2023 рік')
... # Завантаження бінарних масок за 2016 та 2023 роки (припустимо, що вони названі mask_2016 та ma
sk_2023)
... mask_2016 = cv2.imread('mask_2016.jpg', cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
... mask_2023 = cv2.imread('mask_2023.jpg', cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
...
... # Визначення кольору для контурів (червоний колір)
... contour_color = (0, 0, 255) # (B, G, R)
...
... # Знаходження контурів на масках
... contours_2016, _ = cv2.findContours(mask_2016, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
... contours_2023, _ = cv2.findContours(mask_2023, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
...
... # Копія оригінальних масок для відображення контурів
... contour_mask_2016 = cv2.cvtColor(mask_2016, cv2.COLOR_GRAY2BGR).copy()
... contour_mask_2023 = cv2.cvtColor(mask_2023, cv2.COLOR_GRAY2BGR).copy()
...
... # Малювання контурів на масках
... cv2.drawContours(contour_mask_2016, contours_2016, -1, contour_color, 2)
... cv2.drawContours(contour_mask_2023, contours_2023, -1, contour_color, 2)
...
... # Відображення масок з контурами

```

```

*IDLE Shell 3.10.4*
File Edit Shell Debug Options Window Help
sk_2023)
... mask_2016 = cv2.imread('mask_2016.jpg', cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
... mask_2023 = cv2.imread('mask_2023.jpg', cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
...
... # Визначення кольору для контурів (червоний колір)
... contour_color = (0, 0, 255) # (B, G, R)
...
... # Знаходження контурів на масках
... contours_2016, _ = cv2.findContours(mask_2016, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
... contours_2023, _ = cv2.findContours(mask_2023, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
...
... # Копія оригінальних масок для відображення контурів
... contour_mask_2016 = cv2.cvtColor(mask_2016, cv2.COLOR_GRAY2BGR).copy()
... contour_mask_2023 = cv2.cvtColor(mask_2023, cv2.COLOR_GRAY2BGR).copy()
...
... # Малювання контурів на масках
... cv2.drawContours(contour_mask_2016, contours_2016, -1, contour_color, 2)
... cv2.drawContours(contour_mask_2023, contours_2023, -1, contour_color, 2)
...
... # Відображення масок з контурами
... cv2.imshow('Бінарна маска за 2016 рік з контурами', contour_mask_2016)
... cv2.imshow('Бінарна маска за 2023 рік з контурами', contour_mask_2023)
... cv2.waitKey(0)
... cv2.destroyAllWindows()
... # Крок 7: Аналіз просторово-часових змін берегової лінії на основі коефіцієнта Пірсона
... mask_2016_flat = mask_2016.flatten()
... mask_2023_flat = mask_2023.flatten()
... correlation_coefficient, _ = pearsonr(mask_2016_flat, mask_2023_flat)
...
... # Виведення результатів
... print(f'Коефіцієнт кореляції Пірсона між береговою лінією за 2016 та 2023 роки: {correlation_co
efficient}')
...
... # Крок 8: Візуалізація результатів
... plt.figure(figsize=(12, 6))
... plt.subplot(121), plt.imshow(cv2.cvtColor(satellite_image_2016, cv2.COLOR_BGR2RGB)), plt.title(
'Sупутниковий знімок 2016 року')
... plt.subplot(122), plt.imshow(cv2.cvtColor(topographic_map, cv2.COLOR_BGR2RGB)), plt.title('Топо
графічна карта з контурами')
... plt.show()
Ln: 90 Col: 10

```

## Додаток Б. Графічні дані

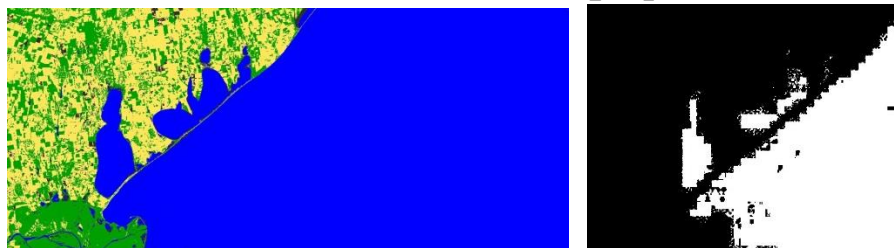


Рисунок Б.1 – Сегментація та бінарна маска супутникового знімку 2017 рік

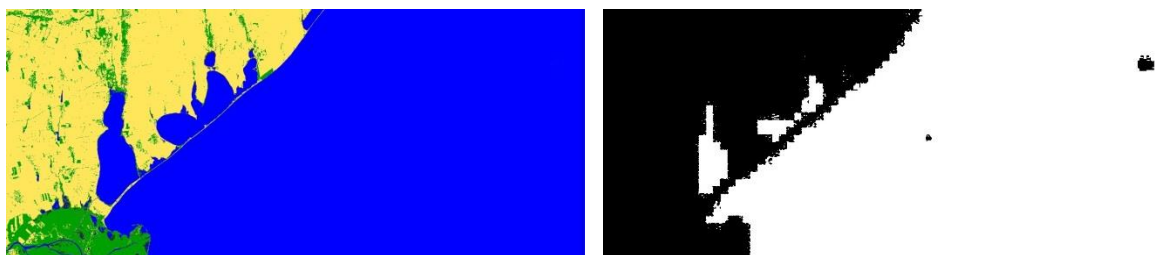


Рисунок Б.2 – Сегментація та бінарна маска супутникового знімку 2018 рік

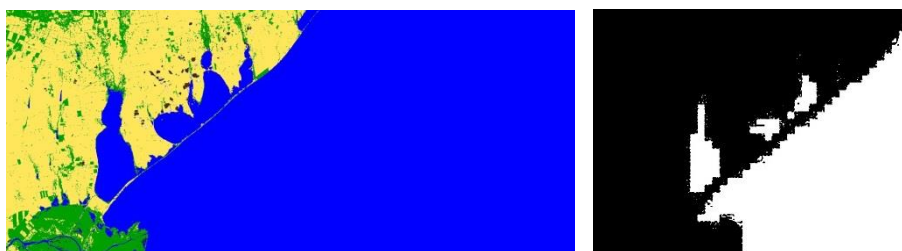


Рисунок Б.3 – Сегментація та бінарна маска супутникового знімку 2019 рік

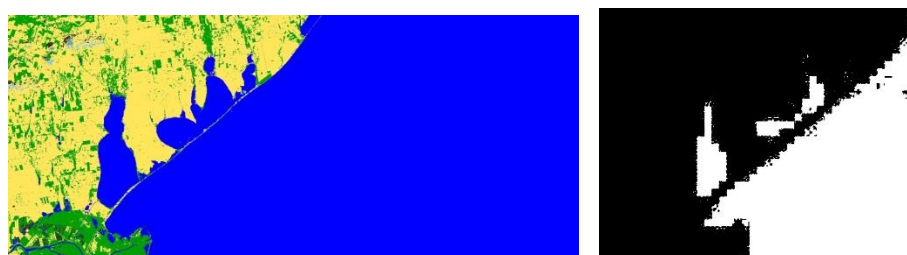


Рисунок Б.4 – Сегментація та бінарна маска супутникового знімку 2020 рік



Рисунок Б.5 – Сегментація та бінарна маска супутникового знімку 2021 рік



Рисунок Б.6 – Сегментація та бінарна маска супутникового знімку 2022 рік



Рисунок Б.7 – Зміни площі берегової лінії Тузлівських лиманів з 2016 рік по 2023 рік