

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ «Інститут геології»
Кафедра геоінформатики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

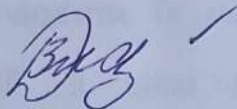
спеціальність 103 – Науки про Землю

освітня програма «Геоінформатика»

ТЕМА:

«Виявлення та моніторинг нафтових розливів методами ДЗЗ»

Виконав:



студент 2-го курсу магістратури

кафедри геоінформатики

Дрозд Владислав Сергійович

Науковий керівник:



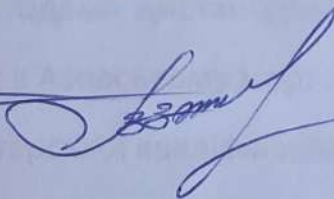
кандидат фізико-математичних
наук, доцент кафедри
геоінформатики

Демидов Всеволод Кирилович

Робота рекомендується до захисту

(протокол № 8 засідання кафедри геоінформатики від 15.05.2023)

Завідувач кафедри



доктор технічних наук, професор
Зацерковний Віталій Іванович

РЕФЕРАТ

Магістерської кваліфікаційної роботи

Дрозда Владислава Сергійовича

Виявлення та моніторинг нафтових розливів методами ДЗЗ

Робота на 72 аркуши складається з 3 розділів і містить 19 рисунків, 1 додаток. При підготовці роботи використовувалися матеріали з 43 інформаційних джерел.

Актуальність роботи обумовлена тим, що нафта є одним з найбільш шкідливих забруднювачів для навколишнього середовища та може призвести до серйозних екологічних катастроф. Тому важливо оперативно визначати забруднені зони та проводити їх моніторинг, щоб ефективно ліквідувати наслідки таких ситуацій. З цією метою можна використовувати дані дистанційного зондування, такі як космічні та аерознімки. Отже, тема виділення забруднених територій та їх моніторинг засобами дистанційного зондування є досить актуальною в сучасних умовах.

Об'єктом дослідження є нафтові розливи, що виникають на території акваторій.

Предметом дослідження є визначення методики і інструментарію для виявлення та моніторингу нафтових розливів методами ДЗЗ.

Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у дослідженні методики та підбору інструментарію для виявлення нафтових розливів на території акваторій методами дистанційного зондування Землі і виконання на практичних матеріалах в Азовському морі .

Завдання магістерської кваліфікаційної роботи включають:

1. Аналіз методів виявлення та моніторингу нафтових розливів за допомогою ДЗЗ;

2. Визначення інструментарію і методики для виявлення нафтових розливів;
3. Виконати апробацію методики виявлення нафтових розливів з інструментарієм ПЗ SNAP на радарних даних Sentinel-1 для акваторії Азовського моря;
4. Оцінити отримані результати.

Наукове значення дослідження виявлення та моніторингу нафтових розливів методами ДЗЗ полягає в розвитку наукових знань про процеси взаємодії нафти з навколишнім середовищем, та вдосконаленні методів контролю та ліквідації нафтових розливів. Дані дослідження дозволяють уточнити моделі взаємодії нафти з водою та ґрунтом, розробляти нові методи аналізу ДЗЗ-даних, що сприяє покращенню ефективності виявлення та моніторингу нафтових розливів.

Практичне значення полягає в тому, що виявлення та моніторинг нафтових розливів методами ДЗЗ є важливим елементом екологічного контролю та запобігання екологічним катастрофам. Ці методи дозволяють швидко виявляти місця розливів та визначати їх розміри, що є необхідним для організації ліквідаційних заходів та зменшення шкідливого впливу на довкілля та здоров'я людей.

Наукові результати: визначено методику виявлення нафтових розливів за радарними даними з використанням програмного забезпечення SNAP. Застосовано її на практичному дослідженні в Азовському морі, що показало її ефективність. Так в результаті було виділено нафтові розливи площею близько 1000 кв. км. в Азовському морі.

Ключові слова: нафтові розливи, радарні знімки, Sentinel-1.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І	
ТЕРМІНІВ.....	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАФТОВІ	
РОЗЛИВИ.....	
1.1	11
Опис природи нафтових розливів.....	11
1.2	16
Пояснення наслідків нафтових розливів для довкілля.....	16
1.3	19
ДЗЗ і методи виявлення та моніторингу нафтових розливів.....	19
РОЗДІЛ 2 Особливості виявлення нафтових розливів методами	
ДЗЗ.....	
2.1	29
Огляд літератури і досліджень про методи виявлення та моніторингу нафтових розливів.....	29
2.2	35
Особливості виявлення нафтових розливів за даними дзз.....	35
2.3	44
програмне забезпечення для обробки даних і його інструментарій для роботи в напрямку визначення нафтових розливів.....	44
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВИЯВЛЕННЯ НАФТОВИХ	
РОЗЛИВІВ МЕТОДАМИ ДЗЗ.....	
3.1	52
Методика і інструментарій в Snar для виділення нафтових розливів	52
3.2	54
Завантажені дані і використання методики в Snar на попередньому дослідженні	54
3.3	60
Виявлення розливів нафти в Азовському морі за даними Sentinel-1.....	60
ВИСНОВКИ:.....	66

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТКИ	72
ДОДАТОК А.....	72

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

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі

КА – космічні апарати

SAR - Synthetic Aperture Radar

РЗ – радарне зондування

SNAP - Sentinel Application Platform

GRS - Green-Red-Shortwave Infrared

ГІС – геоінформаційні системи

ВСТУП

В сучасному світі нафтова промисловість грає важливу роль у геополітиці та загальному розвитку людства, однак нафтові розливи є серйозною екологічною проблемою, яка може призвести до забруднення довкілля та водних ресурсів.

Актуальність роботи обумовлена тим, що нафта є одним з найбільш шкідливих забруднювачів для навколишнього середовища та може призвести до серйозних екологічних катастроф. Разом з цим вона є однією з найважливіших корисних копалин, яка застосовується у багатьох сферах життя людини, однак непередбачувані ситуації, такі як аварійні нафтові розливи, можуть призвести до забруднення територій та негативно вплинути на природу та здоров'я людей. Тому важливо оперативно визначати забруднені зони та проводити їх моніторинг, щоб ефективно ліквідувати наслідки таких ситуацій. З цією метою можна використовувати дані дистанційного зондування, такі як космічні та аерознімки. Отже, тема виділення забруднених територій та їх моніторинг засобами дистанційного зондування є досить актуальною в сучасних умовах.

Для подальшого дослідження зазначеної теми пропонується використовувати методи дистанційного зондування з метою визначення забруднених територій внаслідок нафтових розливів та їх моніторингу. Космічні знімки та аерознімки є ефективними інструментами для отримання інформації про стан навколишнього середовища і можуть допомогти в оперативному визначенні зон забруднення.

Застосування методів ДЗЗ дає змогу зібрати велику кількість інформації про забруднення нафтою та розвиток зон загрози для природи та здоров'я людей. Крім того, ці методи можуть бути автоматизовані, що дозволяє ефективно використовувати зібрані дані для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Усі вищезазначені факти свідчать про важливість теми визначення забруднених територій внаслідок нафтових розливів та їх моніторингу за допомогою методів дистанційного зондування. Дані методи можуть допомогти не тільки в швидкому виявленні зон забруднення, але й у локалізації та ліквідації наслідків аварійних нафтових розливів, що дозволить зберегти навколишнє середовище та здоров'я людей.

Методи дистанційного зондування землі можуть бути використані для виявлення та моніторингу нафтових розливів, оскільки ці методи дозволяють отримувати зображення високої роздільної здатності. Таким чином, можна виявити нафтові розливи навіть на великих територіях та відслідковувати їх розповсюдження. Додатково, розвиток технологій ДЗЗ дозволяє зменшити витрати на виявлення та моніторинг нафтових розливів, порівняно з традиційними методами, такими як моніторинг з літаків або дронів.

Отже, дослідження теми є актуальним та може мати практичне значення для захисту довкілля, водних ресурсів та забезпечення стійкого розвитку економіки.

Об'єктом дослідження є нафтові розливи, що виникають на території акваторій.

Предметом дослідження є визначення методики і інструментарію для виявлення та моніторингу нафтових розливів методами ДЗЗ.

Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у дослідженні методики та підбору інструментарію для виявлення нафтових розливів на території акваторій методами дистанційного зондування Землі і виконання на практичних матеріалах в Азовському морі .

Завдання магістерської кваліфікаційної роботи включають:

1. Аналіз методів виявлення та моніторингу нафтових розливів за допомогою ДЗЗ;

2. Визначення інструментарію і методики для виявлення нафтових розливів;
3. Виконання апробації методики виявлення нафтових розливів з інструментарієм ПЗ SNAP на радарних даних Sentinel-1 для акваторії Азовського моря;
4. Оцінити отримані результати.

Виявлення та моніторинг нафтових розливів методами ДЗЗ є актуальною темою в галузі досліджень навколишнього середовища і була досліджена різними науковцями та організаціями. Серед провідних дослідників у цій сфері можна виділити Санкаран Раджендран з університету Катару, що вивчає виявлення забруднень нафтою в океані та розробляє нові методи моніторингу забруднень за даними ДЗЗ, в основі за радарними і мультиспектральними знімками (*Sentinel-2 for mapping oil spill, 2023*).

Розробкою нових методик із застосуванням машинного навчання з використанням радарних даних займаються дослідники з Науково-дослідного інституту інженерних досліджень Китаю. В своїх працях представили можливості застосування машинного навчання для роботи за радарними даними (*Marine oil spil detection, 2022*).

Варто згадати і про роботи науковців Поліхроніс Колокусус і Василія Каратанассі з Афінського університету, вони розробили методику виявлення нафтових розливів за мультиспектральними даними на основі сегментації знімків і машинного навчання (*Mapping Using Sentinel 2, 2018*).

Для дослідження виявлення та моніторингу нафтових розливів методами ДЗЗ можна використовувати наступні підходи:

- обробка супутникових знімків: знімки, отримані з космосу, дозволяють виявляти нафтові розливи за допомогою спеціальних програм обробки зображень.

- використання спектрального аналізу: різні види нафти мають різні спектральні характеристики, що дозволяє використовувати цей підхід для виявлення нафтових розливів;
- моделювання процесів: для виявлення нафтових розливів можна використовувати математичні моделі, які враховують особливості фізичних процесів, що відбуваються в місці розливу;
- аналіз радіоактивності: нафта має відмінні радіоактивні властивості, що може дозволити виявити її наявність в місці розливу за допомогою радіометрів.

Використання геоінформаційних систем: геоінформаційні системи дозволяють збирати, обробляти та візуалізувати дані про нафтові розливи, що дозволяє ефективно контролювати процеси та розподіляти ресурси для їх ліквідації.

Наукове значення дослідження виявлення та моніторингу нафтових розливів методами ДЗЗ полягає в розвитку наукових знань про процеси взаємодії нафти з навколишнім середовищем, та вдосконаленні методів контролю та ліквідації нафтових розливів. Дані дослідження дозволяють уточнити моделі взаємодії нафти з водою та ґрунтом, розробляти нові методи аналізу ДЗЗ-даних, що сприяє покращенню ефективності виявлення та моніторингу нафтових розливів.

Практичне значення полягає в тому, що виявлення та моніторинг нафтових розливів методами ДЗЗ є важливим елементом екологічного контролю та запобігання екологічним катастрофам. Ці методи дозволяють швидко виявляти місця розливів та визначати їх розміри, що є необхідним для організації ліквідаційних заходів та зменшення шкідливого впливу на довкілля та здоров'я людей. Крім того, дані дослідження можуть бути використані для розробки екологічної політики та законодавства щодо контролю за викидами

нафтопродуктів в навколишнє середовище та запобігання наслідків надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАФТОВІ РОЗЛИВИ

1.1. Опис природи нафтових розливів

Забруднення навколишнього середовища є серйозною проблемою, яка створює загрозу для екосистем, здоров'я людей та забезпечення життєвих потреб. Виділяють декілька типів забруднення, такі як фізичне, хімічне, біологічне, радіоактивне та теплове. Фізичне забруднення може включати нерозчинні домішки, такі як пил, глина, пісок і намул. Хімічні забруднення можуть бути спричинені важкими металами, кислотами, лугами, нафтою, СПАР, мінеральними добривами та пестицидами. Біологічні забруднення включають мікроорганізми, яйця гельмінтів та спори грибів, а радіоактивні забруднення - радіонукліди. *(Забруднення океанів нафтою, 2023).*

Світовий океан підлягає забрудненню через різні джерела, включаючи прямі викиди забруднюючих речовин, а саме наприклад забруднення, що надходять безпосередньо під час видобування мінеральних ресурсів, стік забруднених річок, прямий стік з суходолу, перенесення забруднень через атмосферу, підводні викиди нафти та газу, та аварійні викиди з суден або підводних трубопроводів. *(Забруднення океану нафтопродуктами, 2011).*

Наразі основними забруднюючими речовинами в океані є вуглеводні, хлоровані вуглеводні, радіоактивні речовини та токсичні метали. Вуглеводні, такі як нафта, бензин та дизельне паливо, викидаються з суден, підводних нафтових трубопроводів та платформ, які діють на континентальному шельфі. Хлоровані вуглеводні - це токсичні речовини, що використовуються в виробництві пестицидів та інших хімікатів. Токсичні метали, такі як свинець, кадмій, ртуть, кобальт, мідь, нікель та інші речовини, можуть накопичуватися в тканинах морських організмів і відновлюватися в ланцюгу харчування, включаючи людину.

Одним зі способів боротьби з забрудненням є міжнародна співпраця та прийняття угод та конвенцій. Наприклад, Організація Об'єднаних Націй зі збереження та використання морських ресурсів, Міжнародна конвенція про контроль забруднення суден, Конвенція про захист морського середовища Індійського океану та багато інших.

Кожен з нас може допомогти зберегти навколишнє середовище навіть від мінімального забруднення нафтою і нафтопродуктами, розуміючи вплив своєї діяльності на навколишнє середовище та вживаючи кроки для зменшення негативного впливу. Можна підтримувати програми відновлення та збереження морських екосистем та зоопарків, які популяризують екологічну свідомість та бережливе ставлення до природних ресурсів.

Отже, збереження навколишнього середовища і Світового океану є надзвичайно важливим завданням для збереження природи та здоров'я нашої планети. Це можливо лише за умови спільних зусиль та відповідальності кожного з нас за свої дії та вплив на навколишнє середовище.

Морські перевезення завдають значної шкоди морським екосистемам. Кожен рік танкерами перевозять близько 2 мільярдів тон нафти та нафтопродуктів, при цьому найбільші втрати нафти відбуваються під час її транспортування з районів добування. Аварійні ситуації, скидання промивних і баластних вод за борт танкерами створюють постійні поля забруднення на маршрутах морських шляхів. Втрати також відбуваються під час безаварійної роботи морського транспорту. Аварії можуть призвести до розливу до 40-50 тисяч тон нафти, що може забруднити площу близько 100 квадратних кілометрів морської поверхні (*Забруднення океанів нафтою, 2023*).

Нафтові розливи - це серйозна проблема, яка може мати шкідливий вплив на природне середовище, тварин та людей. Нафта містить багато токсичних речовин, таких як бензен та толуол, які можуть викликати серйозні проблеми для здоров'я людей та тварин.

Природа нафтового розливу може бути дуже різною залежно від того, де відбувається розлив. У випадку, коли нафта потрапляє в воду, вона може розлитися по поверхні води і утворити нафтову плівку. Це може призвести до забруднення води, загибелі тварин, які живуть в воді, та порушення балансу в екосистемі. Також нафта може потонути до дна та забруднити дно водойми, що може мати дуже серйозний вплив на морський та річковий біоту.

У випадку розливу на землю нафта може забруднити ґрунт та підземні води. Це може мати серйозний вплив на рослинний покрив та екосистему, яка залежить від цих рослин. Крім того, нафта може випаровуватися з поверхні землі, що може призвести до забруднення повітря токсичними речовинами, що може негативно вплинути на здоров'я людей, які живуть у зоні впливу розливу.

Також важливо зазначити, що нафтові розливи можуть мати дуже серйозні наслідки для тварин. Наприклад, нафтова плівка на поверхні води може забруднити пера птахів та попередити їх від цілковитого занурення в воду. Це може підвищити ризик гіпотермії, втрати живильної здатності та загибелі.

Інциденти аварій та викидів на підводних нафтопроводах стали звичайною практикою, проте їхні масштаби зазвичай не є значними. Незважаючи на це, навіть невеликий викид може призвести до серйозних наслідків, оскільки нафта може викидатися впродовж тривалого періоду часу. Раніше найбільшою аварією такого типу вважалася трагедія в затоці Гуанабара (Бразилія, 2000 р.), під час якої вилилося 1,3 тис. тонн нафти. Варто проговорити також про вибух нафтової платформи «Deepwater Horizon» 20 квітня 2010 року, який стався в Мексиканській затоці біля узбережжя штату Луїзіана і переріс у техногенну катастрофу місцевого та регіонального масштабу з негативними наслідками для екосистеми на десятиліття вперед. На сьогодні ця катастрофа є найбільшим виливом нафти у відкритий океан в історії США, який стався зі зберіганням 2,6 мільйонів літрів дизельного пального на платформі з виробничою потужністю 8 тис. барелів на добу. Платформа затонула 22 квітня після 36-годинної пожежі, яка

передувала потужному вибуху. В результаті витоку нафти з пошкодженої нафтової свердловини в Мексиканську затоку потрапило близько 700 тонн нафти щодня, що призвело до появи плям нафти довжиною 16 км та товщиною 90 м на глибині 1300 метрів у водах затоки (*Deepwater Horizon, 2023*).

Значні забруднення нафтою Світового океану спостерігаються на маршрутах перевезення нафти між Близьким Сходом та Європою, Америкою та Японією. Також серйозні забруднення нафтою відмічаються в Середземному, Карибському, Південно-Китайському та Японському морях (*Забрудненн океанів нафтою, 2023*).

Коли мова йде про розливи нафти на суші, їх раннє виявлення та реагування є найефективнішими способами запобігання шкоди навколишньому середовищу, спричиненої забруднювачами сирової нафти. Одним із способів виявлення та оцінки впливу розливів нафти на навколишнє середовище є просторова оцінка. Швидка, точна та дистанційна просторова оцінка забруднення наземної нафти має вирішальне значення для впровадження контрзаходів, які можуть мінімізувати потенційно незворотну шкоду навколишньому середовищу та корінним громадам. За допомогою таких оцінок можна розробити та впровадити стратегії пом'якшення, які адаптовані до конкретних потреб постраждалої території. Таким чином, важливо віддати пріоритет розробці та розгортанню технологій, які дозволяють швидко та точно виявляти та оцінювати розливи нафти на суші, щоб мінімізувати шкоду навколишньому середовищу та захистити місцеві громади.

З аналізу джерел та форм нафтових забруднень випливає, що приблизно 23% забруднень виникають внаслідок нормальної експлуатації суден і складаються з скидів у море промивних і баластних вод. Близько 17% забруднень нафтою відбувається у портах та припортових акваторіях, включаючи втрати при завантаженні бункерів наливних суден. Приблизно 10% забруднень нафтою походять з берега, разом із промисловими відходами та стічними водами, що

містять емульговану, розчинену та плівкову нафту. Інші джерела забруднень нафтою включають зливові стоки (5%), катастрофи суден та бурових у морі (6%), буріння на шельфі (1%) та нафту, що надходить з атмосфери (10%). Найбільш значним джерелом забруднення нафтою є річкові води, які містять нафту в усіх її формах, і вони становлять близько 28% від загальної кількості забруднень. (*Забрудненн океанів нафтою, 2023*).

Останні два джерела слугують для перенесення нафтових забруднень в океан, які виникають в різних джерелах, в тому числі в повітрі (у вигляді забруднених мас з міст) та в річках. Згідно з Агентством США з охорони навколишнього середовища, 1 т. нафти, що потрапила в воду, за 10 хвилин утворює нафтову пляму товщиною 10 мм, яка зможе розповсюдитися на площу до 12 км². Під дією вітру, хвиль та погоди, пляма зазвичай розпадається на дрібніші плями. Плівка може змінювати склад спектру світла та його інтенсивність при проникненні в воду. Нафта, яка потрапляє в воду, утворює два типи емульсій: прямі (краплини нафти розміром до 0,5 мкм, що в свою чергу є менш стійкі і більш розповсюджені для нафти з поверхнево-активними речовинами) та зворотні (в'язкі емульсії, що можуть довгий час зберігатися на поверхні водойми чи накриклад осідати, або викидатися на берегову лінію), що мають негативний вплив на морські біоценози, порушуючи обмін енергією, теплом, вологою та газами між океаном і атмосферою. Компоненти нафти є токсичними і шкідливими для морських організмів, а вуглеводні, тобто нафта може розчиняти різні забруднюючі речовини, такі як пестициди та важкі метали, що зумовлює їх концентрацію (*Екологія, 2011*).

Наприклад, для запобігання забрудненню моря нафтою і нафтопродуктами основними заходами є удосконалення технологічного процесу видобування, транспортування, зберігання, переробки та використання нафти і нафтопродуктів, заборона скидання нафтовміщуючих стічних вод. Нафтово-водна емульсія, що залишається в технічній діяльності забруднює

десятки мільярдів кубічних метрів води щороку, стаючи джерелом забруднення нафтою в глобальній морській гідросфері, що становить близько 75% забруднення нафтою. Тому створення нових технологій, методів і засобів запобігання забрудненню океанів нафтою та прийняття законодавчої бази щодо обмеження викидів нафти та нафтопродуктів в океани є необхідними кроками для захисту морського середовища.

1.2. Наслідки нафтових розливів для довкілля

Нафтові розливи є серйозним джерелом забруднення довкілля. Під час нафтового розливу нафта виливається в природне середовище і може мати наступні наслідки:

1. Забруднення водних ресурсів: нафта може потрапляти в річки, озера та моря під час нафтового розливу, що призводить до загибелі риби та інших водних організмів. Крім того, нафта може накопичуватися в осадах і водних рослинах, що може спричинити подальше забруднення.

2. Пошкодження екосистем: нафта може пошкоджувати різноманітні екосистеми, включаючи мангрові ліси, корали, морські трави та інші природні середовища. Пошкодження цих екосистем може мати довготривалі наслідки для біорізноманіття та екологічної стійкості регіону.

3. Вплив на тваринний світ: нафта може мати негативний вплив на тваринний світ, включаючи загибель диких тварин та птахів, які живуть в забруднених регіонах. Крім того, нафта може впливати на розмноження та розвиток тварин.

4. Вплив на людей: нафтові розливи можуть мати шкідливий вплив на здоров'я людей, які живуть в забруднених регіонах. Люди можуть бути викладені токсичним речовинам, які містяться в нафті, через воду, повітря або продукти харчування, які забруднені нафтою. нафта також може мати вплив на економіку регіону, включаючи рибальство, туризм та інші галузі.

5. Пошкодження інфраструктури: нафтові розливи можуть призвести до пошкодження інфраструктури, включаючи порти, нафтопроводи та інші будівлі. Це може мати негативний вплив на транспортування товарів та послуг, що може знизити економічну активність регіону.

6. Зниження якості ґрунту: нафта може забруднювати ґрунт та перешкоджати його здатності до вирощування рослин. Це може мати серйозний вплив на землеробство та сільське господарство.

7. Загроза безпеці людей: нафтові розливи можуть створювати загрозу для безпеки людей, які працюють нафтових платформах або живуть в навколишніх регіонах. Пожежі та вибухи, що часто виникають нафтових платформах, можуть мати серйозний вплив на життя та здоров'я людей.

8. Негативний вплив на клімат: нафтові розливи можуть мати негативний вплив на клімат. Забруднення повітря, що виникає внаслідок нафтових розливів, може погіршити якість повітря та призвести до збільшення викидів парникових газів. Це може збільшити ризик глобального потепління та зміни клімату (Шевченко, В. М., Грищенко, В. В, 2013).

В цілому, нафтові розливи можуть мати серйозний вплив на довкілля та економіку регіону, а також на здоров'я людей та тваринного світу. Тому важливо приділяти увагу заходам для запобігання нафтових розливів та швидкій реакції на них.

Нафтові розливи можуть мати серйозні наслідки для здоров'я людей, особливо для тих, хто проживає в зоні найбільшого забруднення. Наприклад, люди можуть отримати контактні та не контактні інфекції шкіри, очей і дихальних шляхів внаслідок контакту з нафтою. Забруднення повітря може призвести до появи респіраторних захворювань, таких як бронхіт, астма, пневмонія та інші захворювання легень.

Також, нафта та її продукти містять шкідливі речовини, такі як бензен та толуен, які можуть мати довготривалі наслідки для здоров'я, такі як рак,

проблеми з нервовою системою, репродуктивною системою та інші. Люди можуть отримати вплив на здоров'я через споживання забрудненої води та риби, що містять токсини з нафтових розливів. Крім того, при ліквідації наслідків нафтових розливів люди можуть мати контакт з хімікатами та іншими шкідливими речовинами, що призводить до ризику для здоров'я.

Отже, наслідки нафтових розливів для здоров'я людей можуть бути значними та мають довготривалий вплив, тому дуже важливо дотримуватися заходів з превентивних заходів, щоб запобігти нафтовим розливам та зменшити їх вплив на здоров'я людей.

Розлив нафти може мати дуже серйозні наслідки для дикої природи, зокрема для місцевих екосистем. Це може вплинути на здоров'я людей через забруднення джерел їжі та води, що покладаються на ці екосистеми для виживання. Наприклад, посіви та джерела їжі можуть стати отруйними або зникнути зовсім через дестабілізацію харчових ланцюгів.

Крім того, розливи нафти можуть вплинути на якість повітря в навколишніх районах, викидаючи токсичні хімікати в атмосферу. Це може призвести до забруднення повітря токсичними речовинами, що може вплинути на здоров'я місцевих жителів. Дослідження, проведені після катастрофи Deepwater Horizon 2010 року, показали, що концентрації бензолу та дрібних твердих частинок в повітрі були достатньо високими, щоб перевищити критерії громадського здоров'я (*Deepwater Horizon, 2023*).

Отже, наслідки розливу нафти можуть мати серйозний вплив на здоров'я людей та місцеві екосистеми. Важливо приділяти належну увагу ризикам, пов'язаним з добуванням та транспортуванням нафти, і розробляти стратегії мінімізації цих ризиків. Для цього можна використовувати більш безпечні технології, зменшувати викиди токсичних речовин, проводити регулярні огляди та обслуговування обладнання, підвищувати свідомість людей про ризики та сприяти зменшенню попиту на нафту. Крім того, важливо бути готовим до

реагування на можливі аварійні ситуації та швидко та ефективно контролювати розливи нафти, щоб зменшити їхні наслідки.

1.3 ДЗЗ і методи виявлення та моніторингу нафтових розливів

Дистанційне зондування Землі означає отримання інформації про об'єкти та процеси на земній поверхні, не входячи у прямий контакт з ними. Сучасні методи дистанційного зондування базуються на аналізі природного та штучного випромінювання, яке земна поверхня випромінює в різних діапазонах від ультрафіолетового до радіохвильового. Розвиток геодезичних та картографічних знань дозволяє прив'язувати космічні знімки до конкретного місця на земній поверхні. Без наземних геодезичних спостережень, географічних проекцій та координат використання космічних знімків як джерела геоданих було б неможливим (ДЗЗ, 2023).

Сучасні космічні технології знімання земної поверхні дозволяють не тільки отримувати високоякісні зображення, але і проводити багато інших досліджень. Наприклад, за допомогою космічних знімків можна вивчати стан рослинного покриву, визначати рівень забруднення атмосфери, досліджувати геологічні утворення та розвиток природних катастроф. Крім того, космічне зондування забезпечує можливість отримання даних про великі території, які важко або неможливо дослідити з наземних джерел. Це може бути особливо корисним в галузі дослідження кліматичних змін, оскільки космічні знімки дозволяють відстежувати зміни стану льодовиків, розподілу снігу та температури поверхні землі на великих територіях. (Дистанційне зондування Землі, 2023).

У сучасний час, в космосі працюють десятки різних типів апаратів, які здійснюють збір даних з використанням різних дистанційних методів. Комерційні апарати грають важливу роль у цьому процесі, і їх знімки доступні не

тільки для військових та урядових структур, але й для широкого кола користувачів з усього світу.

Поміж дистанційних методів знімання, нарівні з космічними апаратами, використовуються різні системи з вимірювальним обладнанням, що знаходяться на морському та наземному базисах. Це можуть бути фототеодоліти, методи геофізичного зондування надр, гідроакустичні системи для знімання морського дна, а також методи, які використовують хвильові процеси для реєстрації власного або відбитого сигналу. *(Зацерковний В.І. та інші, 2016).*

Перший крок до розвитку практичного ДЗЗ було зроблено після винаходу фотографії в першій половині XIX століття, коли стало можливим фіксувати зображення та їх зміни у часі та просторі. З розвитком технологій були розроблені нові методи та теорії електромагнітного випромінювання за межами видимої частини спектра: інфрачервоного, ультрафіолетового, радіохвильового, що дозволяють отримувати більш детальну інформацію про земну поверхню. Перша аерозйомка була здійснена Феліксом Турнашоном в 1858 році з повітряної кулі на висоті 80 метрів. З того часу технології аерозйомки та космічного зондування стали досить розвиненими, що дозволяє використовувати ці методи для отримання різноманітної інформації про Землю *(Основи ДЗЗ: практичне застосування, 2019).*

У 1909 році було зроблено перші аерознімки з літака, які використовувалися в першу світову війну для військової розвідки. Після війни, метод аерофотозйомки був розвинений для цивільного застосування в галузях, таких як картографія, геологія, сільське та лісове господарство. У цей період було значно вдосконалено фотоапарати, плівки та літаки, і розвинувся стереографічний метод картографування *(Основи ДЗЗ: практичне застосування, 2019).*

Космічні знімки дали можливість детальніше вивчити території різних країн, зокрема регіон Карибського басейну та територію Північно-Західної частини Африки, де було дешифровано та закартовано багато нових тектонічних порушень, виявлено раніше невідомі виходи різновікових корінних порід та визначено форму їх залягання. Перші космічні фотозображення території СРСР у видимому діапазоні електромагнітного спектра були зроблені космонавтом Г. С. Тітовим (*Основи ДЗЗ: практичне застосування, 2019*).

Космічні знімки стали важливим інструментом для вивчення змін клімату, дослідження природних ресурсів, геологічного картографування та геологічної інтерпретації. Вони також використовуються в геодезії, містобудуванні та плануванні міст, в охороні навколишнього середовища, в організації допомоги під час природних катастроф, таких як повені, землетруси та тайфуни.

Сучасні методи зондування Землі включають в себе використання супутників зі спеціальними інструментами, які здатні знімати не тільки зображення з великою деталізацією, але і досліджувати склад атмосфери та властивості поверхні Землі. Один з прикладів такого інструменту - радіолокаційний альтиметр, який здатен вимірювати висоту морської поверхні та зміни рельєфу дна океану.

Застосування дистанційних методів зондування Землі продовжує розвиватися, і в майбутньому вони можуть стати ще більш важливими для вивчення та збереження навколишнього середовища та природних ресурсів, а також для забезпечення безпеки та благополуччя людства.

Під час Другої світової війни досягнення в галузі дистанційного зондування відзначилися важливими подіями. Авіаційна фотографічна розвідка досягла високого рівня розвитку, що дозволило вчасно відмінити німецьке вторгнення в Англію за допомогою отриманих даних спостережень про концентрацію кораблів вздовж Ла-Маншу. Також в цей період розроблялися нові прилади, такі як чутливі до інфрачервоного випромінювання та радарні

системи, які були використані військовими. У 1950-х роках була розроблена кольорова інфрачервона плівка, яка спочатку була призначена для військового використання, а потім знайшла застосування в складанні карт рослинності (*Основи ДЗЗ: практичне застосування, 2019*).

З 1960 по 2010 роки відбулися значні зміни в галузі дистанційного зондування Землі, що включають кілька ключових вдосконалень. Перш за все, термін «дистанційне зондування» був створений в 1960-х, який замінив попереднє визначення - аерофотозйомка. Нові методи та технології вимагали створення більш всеосяжного терміна (*Основи ДЗЗ: практичне застосування, 2019*).

Крім того, в 1960-х та 1970-х роках дистанційно-чутливі прилади почали переносити з літаків на супутники. Завдяки цьому супутники змогли контролювати значно більшу площу земної поверхні з регулярністю, що була неможливою з літаків (*Основи ДЗЗ: практичне застосування, 2019*).

Далі, зображення стали цифровими замість аналогових в результаті появи цифрового формату. Це дозволило відображати та аналізувати зображення за допомогою комп'ютерів, що також стали більш доступними та ефективними в цей період.

З'явилися датчики, що реєстрували поверхню Землі в декількох різних частинах електромагнітного спектра, що дозволило більш детально вивчати територію та побачити процеси, події та явища, які раніше були невидимі для людського ока (*Основи ДЗЗ, 2019*).

Нарешті, соціальні та екологічні рухи 1960-х та 1970-х років привернули увагу до змін у фізичному середовищі Землі, тому дистанційні дані з супутників, що були аналізовані та покращені за допомогою комп'ютерів, стали інструментом для виявлення та моніторингу цих змін. Таким чином, дистанційне зондування стало технологією, що використовується для моніторингу змін в

географії, кліматі, довкіллі та інших сферах, які стосуються нашої планети (*Основи ДЗЗ, 2019*).

Сьогодні дистанційне зондування Землі здійснюється за допомогою супутників, літаків, дронів та інших засобів. Він дозволяє отримувати високоякісні зображення та дані про різні параметри поверхні Землі, такі як висота, температура, вологість, склад ґрунту та рослинність.

Ці дані використовуються для вивчення кліматичних змін, навколишнього середовища, енергетики, лісового господарства, геології, аграрної справи та інших сфер. Вони також допомагають управляти природними ресурсами, прогнозувати негоди та стихії, виявляти незаконну забудову та зменшення природних угідь.

Так, сьогодні існує велика кількість супутників з різними інструментами дистанційного зондування, які виконують різноманітні завдання та місії, включаючи контроль за погодними умовами, охороною навколишнього середовища, моніторингом змін клімату та іншими дослідженнями.

Сучасний розвиток ДЗЗ в світі характеризується такими тенденціями, як збільшення суми послуг з ДЗЗ, збільшення кількості діючих місій КА для отримання тематичної інформації, зростання просторового розрізнення космічних знімків та їхньої детальності, а також створення космічних угруповань для знімання будь-якої ділянки території земної кулі з необхідною періодичністю до кількох разів на добу. Кількість діючих місій КА збільшується завдяки сучасним технологіям, які дозволяють створювати конструкції КА та бортові сенсори з більшим строком функціонування в космосі, а також розширенню кола країн, які запускають власні супутники. Космічні знімки в оптичному діапазоні наближені до межі, визначеній фізичними законами, а радіолокаційні знімки мають просторову розрізненість до 1 метра. Для постійного відстеження об'єктів в межах всіх досліджуваних територій провідні країни світу створюють космічні угруповання.

Для того, щоб космічні методи могли бути успішно використані, необхідно мати доступ до космічної видової інформації, яка відповідає певним вимогам, зокрема: має мати достатню просторову розрізненість, бути оперативно доступною, містити повну і комплексну інформацію, бути придатною для спостереження вибраних географічних областей та періодично дистанційно зондуватись. За вимогами, що ставляться в різних галузях науки, промисловості, можна зробити висновок, що для вирішення більшості тематичних задач необхідні матеріали космічної зйомки з розрізненістю до 5 метрів, і тільки 35% задач можна вирішити за допомогою матеріалів з розрізненістю менше 15 метрів. Таким чином, роздільна здатність космічних матеріалів значно впливає на ефективність їх використання в економічних цілях.

Існує кілька методів виявлення та моніторингу нафтових розливів, зокрема:

1. Супутникове зондування - цей метод використовує дані, отримані з супутників, для виявлення нафтових плям на поверхні води. Цей метод дозволяє визначати масштаби розливу та виявляти нові плями нафти.

2. Лазерне зондування - цей метод використовується для вимірювання концентрації нафти в повітрі та воді. Лазерні промені відбиваються від часток нафти, і це дозволяє визначити їх кількість та розподіл.

3. Радарне зондування - цей метод використовується для визначення розміру та форми нафтових плям на поверхні води. Радарні промені відбиваються від плям та дозволяють визначити їх розміри та форму.

4. Візуальне спостереження - цей метод використовується для виявлення нафтових плям на поверхні води та в ґрунті шляхом візуального спостереження. Цей метод є дуже простим, але не завжди дозволяє визначити масштаби розливу та виявити невидимі нафтові плями.

Супутникове зондування в може бути використане для виявлення розливів нафти на поверхні води. Цей метод використовує спеціально

призначені супутники, які мають спектральні канали, що можуть відокремлювати кольори світла, яке відбивається від поверхні води.

Розлив нафти на поверхні води зазвичай призводить до зміни колірної гамаи води. Наприклад, нафта може зменшувати рівень відбиття зеленого та синього кольорів, а також збільшувати рівень відбиття червоного кольору. Це призводить до зміни колірної гамаи води в районі розливу нафти.

Супутникові знімки можуть бути оброблені з використанням спеціальних алгоритмів, які дозволяють визначити зміни колірної гамаи води та виявити наявність розливу нафти. Для цього зазвичай використовуються спектральні канали, які відповідають за різні кольори світла, що відбивається від поверхні води.

Супутникові програми, які використовуються для виявлення розливів нафти на поверхні води Sentinel-2 чи Landsat, або ті, що включають SAR (Synthetic Aperture Radar, радіолокаційне знімання) – Sentinel-1.

SAR - це супутниковий радар, який відбиває радіохвилі від поверхні землі, включаючи поверхню води. Цей метод може виявляти розливи нафти на поверхні води, незалежно від погодних умов та часу доби. SAR може виявляти не тільки наявність розливу, але й його розмір та форму (*Методи ДЗЗ, 2023*).

Landsat - це супутникова програма, яка використовує спектральні діапазони до Інфрачервоного, щоб виявляти зміни на поверхні землі, включаючи розливи нафти на поверхні води. Ця програма дозволяє визначити не тільки наявність розливу, але й його розмір, форму та характеристики.

Лазерне зондування - це метод вимірювання властивостей об'єкта за допомогою лазерного променя, який відбивається від поверхні об'єкта та повертається до приладу. У випадку з виявленням нафтових розливів, лазерне зондування може використовуватися для вимірювання товщини нафтового плівки на поверхні води (*Методи ДЗЗ, 2023*).

Один з методів лазерного зондування - це лазерний дальномір, який може вимірювати відстань від лазера до поверхні води. Коли на поверхні води є нафтовий розлив, то лазерний промінь проходить через плівку нафти та відбивається від води, що знаходиться за нею. Таким чином, лазерний дальномір може виміряти товщину нафтової плівки на поверхні води.

Інший метод лазерного зондування - це лазерна спектроскопія розсіяного світла (LIDAR). Лазерний промінь відправляється до поверхні води, а розсіяне світло повертається до датчика. В результаті аналізу розсіяного світла, можна визначити склад та концентрацію різних речовин на поверхні води, включаючи нафту (*Методи ДЗЗ, 2023*).

Застосування лазерного зондування дозволяє швидко та точно визначити наявність та розміри нафтових розливів на поверхні води, що дозволяє оперативно вживати заходів для їх усунення та моніторингу наслідків. Однак, цей метод не є повністю універсальним та може бути обмеженим в деяких умовах, таких як погана погода або наявність інших речовин на поверхні води, що можуть вплинути на результати вимірювань.

Біологічні тести можуть бути використані для моніторингу розливів нафти. Ці тести базуються на використанні живих організмів для виявлення наявності та рівня забруднення навколишнього середовища нафтою. Зазвичай використовуються три типи біологічних тестів: фізіологічні, біохімічні та генетичні.

Застосування біологічних тестів може бути корисним для виявлення забруднення навколишнього середовища нафтою, а також для оцінки ефективності заходів щодо його очищення.

Радарне зондування (РЗ) - це метод збору даних про об'єкти та середовища за допомогою радіохвиль. РЗ використовується для різних цілей, включаючи вивчення земної поверхні, океану, лісів та інших екосистем, а також

для виявлення істот, повітряних транспортних засобів та інших об'єктів (*Методи ДЗЗ, 2023*).

Спочатку завдання радіолокаційної зйомки обмежувалися дослідженнями поверхні океану. Зараз же коло завдань радіолокаційного знімання розширилося, цей метод ДЗЗ дозволяє отримувати дані про міліметрові зсуви об'єктів на земній поверхні, відстежувати нафтові забруднення та суднову обстановку в акваторіях, а також створювати цифрові моделі місцевості (широко відома ЦММ SRTM) (*Радіолокаційне знімання, 2023*).

РЗ може бути проведене з поверхні землі або з повітря за допомогою літаків або космічних апаратів. РЗ використовується для створення зображень з високою просторовою роздільною здатністю, які можуть допомогти виявити зміни в екосистемах або відслідковувати динаміку певних процесів, таких як ерозія ґрунту, зміни рівня води, лісозаготівельні роботи та інші.

Крім того, РЗ використовується для створення карт глибин, дослідження океану та морських донних відкладень, виявлення та стеження за повітряним транспортом, а також для контролю за військовими діями та іншими геополітичними процесами. Візуальне спостереження може бути одним з методів для виявлення розливів нафти на поверхні води. Цей метод полягає в огляді поверхні води з допомогою людського зору з досить високої точки, наприклад з літака. Розливи нафти можуть мати вигляд плівки на поверхні води, що робить їх достатньо помітними з висоти.

Візуальне спостереження може бути корисним при ранньому виявленні розливу нафти, що дозволяє швидко вжити заходів для зменшення його наслідків. Однак, він має обмеження, оскільки залежить від погодних умов та часу доби, коли сонце стоїть високо над горизонтом. Крім того, візуальне

спостереження не завжди може бути ефективним для виявлення менших розливів нафти або в туманну погоду.

Усі ці методи дозволяють виявляти наявність розливу нафти на поверхні води та моніторити його поширення. Це дозволяє швидко втручатися та вживати необхідні заходи для зменшення наслідків розливу та його впливу на довкілля.

Ці методи можуть використовуватись окремо або в поєднанні для виявлення та моніторингу нафтових розливів. Кожен з них має свої переваги та недоліки, і вибір методу залежить відповідності конкретних умов і задач. Наприклад, супутникове зондування може бути корисним для виявлення нафтових розливів на великій території, але не завжди дозволяє точно визначити розміри та концентрацію нафтових плям. Лазерне зондування може дати більш точну інформацію про концентрацію нафти в повітрі та воді, але вимагає складного обладнання та освіченості. Біологічні тести можуть бути корисними для виявлення наявності нафти в невеликих кількостях, але не дозволяють точно визначити розміри розливу та його масштаби. Радарне зондування може допомогти визначити розміри та форму нафтових плям, але не дозволяє визначити їх концентрацію. Візуальне спостереження є простим методом, але може бути неефективним у важких погодних умовах та при наявності невидимих нафтових плям.

Отже, вибір методу виявлення та моніторингу нафтових розливів повинен ґрунтуватись на ретельному аналізі умов та задач, які потрібно вирішити. Крім того, може бути корисним застосування декількох методів одночасно для отримання більш повної та точної інформації.

РОЗДІЛ 2 Особливості виявлення нафтових розливів методами ДЗЗ

2.1. Огляд літератури і досліджень про методи виявлення та моніторингу нафтових розливів

За останні десятиліття, багато науковців працювали над вивченням нафтових розливів та розробкою нових методів їх виявлення та моніторингу.

Крістофер Редді (Christopher Reddy), професор морської науки та геохімії в Університеті Вудс Гола, досліджує наслідки нафтових розливів на морське середовище та розробляє нові методи їх виявлення та очищення. Він заявляє: "Наші дослідження допомагають зрозуміти наслідки нафтових розливів на морське середовище та розробляти ефективні методи їх боротьби. Ми співпрацюємо з іншими вченими та галузевими лідерами, щоб забезпечити чисте та безпечне середовище для майбутніх поколінь" (*Oil Spill Research, 2023*).

Варто розглянути дослідження Децін Лю, Сяонін Луан та Ронгер Чжен (*Oil Spill Detection, 2016*), де вони метою розробки методу виявлення нафтових розливів за допомогою лазерного дистанційного зондування дослідили серію зразків очищеної та сирої нафти за допомогою флуоресценції з часовою роздільною здатністю в поєднанні з паралельним факторним аналізом. Спектри випромінювання досліджуваних зразків були зняті за допомогою лазерної системи дистанційного

У згаданому дослідженні ідентифікації розливів нафти застосовувалися підходи флуоресцентної спектроскопії в поєднанні з розпізнаванням образів і статистичними методами, включаючи аналіз головних компонент, штучну нейронну мережу, машину опорних векторів і аналіз паралельних факторів . Спектри випромінювання досліджуваних зразків з роздільною здатністю за часом були отримані лазерною системою дистанційного зондування на лабораторній основі з відстанню виявлення 5 м. На основі спектрів, нормалізованих за інтенсивністю, зразки як очищеної, так і сирої нафти навіть з

одного нафтового родовища з подібними спектральними формами та інтенсивністю флуоресценції були добре класифіковані без перекриття за підходом PARAFAC з чотирма паралельними факторами. У цьому дослідженні було створено новий підхід до виявлення розливів нафти для лазерного дистанційного зондування за допомогою використання флуоресценції з роздільною здатністю у часі

Діан Пуспіта Сарі, Мухтасор, і Мухаммад Зікра в своїх дослідженнях розглядали виявлення нафтових розливів на основі радарних даних Sentinel-1 в програмному забезпеченні SNAP, що має інструментарій для виділення нафтових розливів в автоматичному режимі. За їхнім дослідженням було проведено картографування розливу нафти Караванг, який стався в липні 2019 року (*Oil Spill Sentinel-1, 2021*).

У цьому дослідженні використовувався рівень даних Sentinel-1 Ground Range Detected (GRD). Набори даних були отримані в поляризації як VH, так і VV. Однак автори використовували поляризацію VV, оскільки вона чіткіше відображає розлив нафти, ніж VH. Обробку набору даних зображення SAR Діан Пуспіта Сарі, Мухтасор, і Мухаммад Зікра проводили за допомогою SNAP (Рис. 2.1), програмного забезпечення з відкритим кодом для Sentinel, створеного Brockmann Consult. Алгоритм, який використовується в SNAP, — адаптивне порогове значення (*Oil Spill Sentinel-1, 2021*).

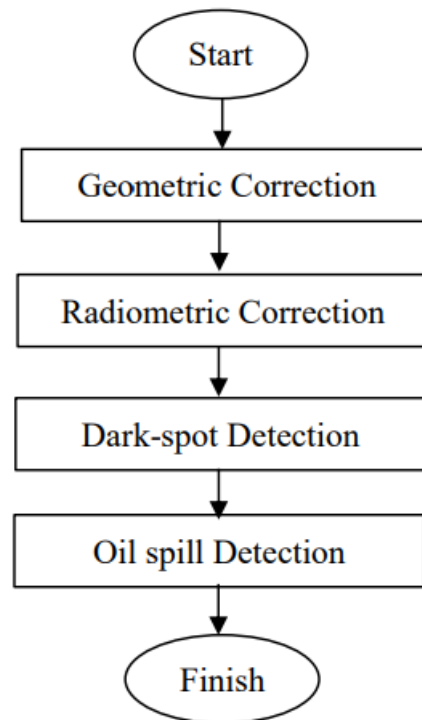


Рис. 2.1 Схеми дослідження розливу нафти за допомогою SNAP (*Oil Spill Sentinel-1, 2021*)

Перш за все, з-поміж інших даних автори обрали зображення, які є найбільш чіткими та придатними. Очевидно, що набір даних необхідно відфільтрувати, оскільки знімки Sentinel-1 не покривають всю територію, яка була потрібна в певний час. За необхідності можна об'єднати один набір даних з іншим. Після введення зображення було використано геометричну корекцію, щоб переконатися, що досліджувана область є морською поверхнею. Далі радіометрична корекція переходить до спекл-фільтрації. Метою спекл-фільтрації є усунення зворотного розсіювання, яке погіршує якість зображення. Виявлення темних плям дозволяє визначити, де саме знаходиться пляма, яку прийнято вважати розливом нафти. SNAP використовує адаптивне порогове значення, яке визначає область розливу нафти як темну пляму з рівнем зворотного розсіювання нижче, ніж середній рівень зворотного розсіювання в області без розливу нафти (*Oil Spill Sentinel-1, 2021*).

В результаті їх роботи було виконано декілька процесів, щоб дізнатися яка територія постраждала від нафтового розливу. Значення пікселів на ділянці без нафтового розливу є вижчими, ніж пікселі на ділянці з нафтовим розливом. Загалом, область розливу нафти матиме меншу кількість пікселів і виглядатиме темнішою, ніж область без розливу. Знайдено взаємозв'язок між нечітким виявленням нафтового розливу і графіком профілю. Суть піксельного профілювання полягає у визначенні різниці в дБ між зоною нафтового розливу і зоною, де немає нафтового розливу, причому ця різниця може бути різною. В результаті точність виявлення нафтового розливу за допомогою SNAP сама по собі досить дала середні результати, якщо її не поєднувати з ручним аналізом, а також це є недоліком використання зображень SAR, де дуже часто трапляються явища схожості. Після того, як нафта досягла прибережної зони, її аналіз ускладнюється через тінь від хвиль, мілководдя або низької швидкості вітру в цьому районі (*Oil Spill Sentinel-1, 2021*).

Одним з досліджень яке також варто розглянути - визначення методів трансформації зображення Sentinel-2 для картографування розливу нафти від Санкаран Раджендран. Незважаючи на те, що для супутника Sentinel-2 було розроблено кілька індексів, які доступні в базі даних Index (IDB) для картографування та вивчення кількох земних ресурсів, індексів для картографування розливів нафти не було розроблено. У цьому дослідженні було продемонструвано здатність методів трансформації зображення, а саме коефіцієнтів смуг і методів декореляційного розтягування, для картографування та оцінки розливів нафти (*Sentinel-2 for mapping oil spill, 2023*).

Авторами було розроблено індекс OSI (Oil Spill Index), що використовує видимі смуги Sentinel-2 для відображення розливів нафти над водою в прибережному/морському середовищі. Індекс OSI розраховується шляхом підсумовування смуг, що представляють слабке поглинання нафтою, як

чисельник, і смуги, розташованої найближче до поглинання, як знаменник, щоб розрізнити нафтові розливи, як показано нижче:

$$OSI = (B03 + B04) / B02 \quad (1.1)$$

(Sentinel-2 for mapping oil spill, 2023)

Методи трансформації зображень, застосовані в дослідженні Санкаран Раджендран до обробки цифрових зображень супутникових даних, тобто змінюють вихідні дані на інші в просторі за допомогою лінійної функції. Методологія включає розрахунок коефіцієнтів смуг і подальше застосування розтягування декореляції, що дозволяє інтерпретувати результати краще, ніж вихідні дані. Коротше кажучи, побудова співвідношень смуг та індексів посилює спектральні відмінності між смугами та зменшує вплив топографії. Поділ однієї спектральної смуги на іншу дає зображення, яке забезпечує відносну інтенсивність смуг; спектральні відмінності між діапазонами дозволяють якнайкраще інтерпретувати особливості зображення *(Sentinel-2 for mapping oil spill, 2023)*.

У цьому дослідженні було побудовано смугові співвідношення знімків в різних спектральних діапазонах $(5 + 6)/7$, $(3 + 4)/2$, $(11+12)/8$ і $3/2$, $(3 + 4)/2$, $(6 + 7)/5$ шляхом підсумовування смуг, що представляють плечі характеристик поглинання в чисельнику, і смуги, розташовані поблизу характеристики поглинання в знаменнику, використовуючи спектральні смуги видимого-ближнього інфрачервоного-короткохвильового діапазону MSI, щоб відрізнити розлив нафти від спектрального поглинання інших об'єктів. Співвідношення $(3 + 4)/2$ було побудовано з використанням видимих смуг, щоб збільшити спектральний відгук розливу нафти над зображенням як індекс розливу нафти, співвідношення $(6 + 7)/5$ і $(5 + 6)/7$ були розроблені з використанням смуг NIR, щоб показати інформацію, пов'язану з рослинністю, і співвідношення $(11+12)/8$ було побудовано з використанням діапазонів SWIR для вивчення літологічної інформації досліджуваної території *(Sentinel-2 for mapping oil spill, 2023)*.

Крім того, для показу товщини розливів нафти використовувався метод декореляційного розтягування . Цей метод усуває високу кореляцію, яка зазвичай зустрічається в багатоспектральних наборах даних. Він створює більш барвисте комбіноване зображення шляхом перетворення висококорельованих наборів даних, як правило, з трьох смуг введення. Трансформовані канали самі по собі можуть бути контрастно розтягнуті, а основні кольори можуть бути довільно призначені для відображення кольорового складеного зображення . Спектри, зібрані над областями розливу нафти, показали сильне поглинання в спектральних діапазонах 3 (560 нм), 4 (665 нм), 6 (740 нм), 8a (865 нм) та 11 () у видимій області, NIR та SWIR. Це дослідження показує, що спектральні смуги 3 і 4 MSI найкраще використовувати для обробки зображень і розрізнення розливів нафти (*Sentinel-2 for mapping oil spill, 2023*).

Також варто було розглянути дослідження "Sensors, Features, and Machine Learning for Oil Spill Detection and Monitoring: A Review" від Рамі Ар-Пузук (*Machine Learning for Oil Spill, 2021*) , в яких викладаються різні підходи та технології для виявлення та моніторингу нафтових розливів за допомогою сенсорів, функцій та методів машинного навчання. У статті розглянуті різні типи сенсорів, включаючи радарні, оптичні, теплові, акустичні та інші. Також дослідження охоплює використання різних функцій для обробки даних, включаючи текстурні функції, геометричні функції та статистичні функції.

У статті описуються різні методи машинного навчання, які використовуються для аналізу даних з сенсорів та виявлення нафтових розливів. Ці методи включають класифікацію, кластеризацію, регресію та інші. Розглянуто також інтеграцію різних методів та технологій для досягнення більш точного та ефективного виявлення нафтових розливів.

Було наведено приклади успішного використання різних технологій для виявлення та моніторингу нафтових розливів. Наприклад, радарні знімки Sentinel-1 використовуються для виявлення нафтових плям на воді та на землі, а

оптичні знімки MODIS допомагають визначати розподіл нафтових плям та їхній екстент.

Крім того у статті звертається увага на важливість збору та аналізу даних в реальному часі для швидкого виявлення та реагування на нафтові розливи. Також розглядаються проблеми, що пов'язані з обробкою великих обсягів даних, що отримуються від сенсорів.

Ці науковці та інші вчені по всьому світу продовжують працювати над розробкою нових методів виявлення та моніторингу нафтових розливів, щоб забезпечити безпеку природного середовища та здоров'я людей.

2.2 Особливості виявлення нафтових розливів за даними ДЗЗ

Дані дистанційного зондування широко використовуються для виявлення та моніторингу розливів нафти в останні кілька десятиліть. Ці дані зазвичай отримують пасивні та активні системи. Пасивні датчики реєструють природне відбите та/або випромінюване сонячне випромінювання від спостережуваного об'єкта, тоді як активні датчики використовують своє джерело енергії для освітлення зондованих цілей і запису зворотно розсіювання енергії від цілі. Видимі та інфрачервоні мультиспектральні, гіперспектральні, теплові, мікрохвильові та лазерні флуоросенсори є деякими відповідними методами дистанційного зондування для виявлення розливів нафти, моніторингу, характеристики типу та оцінки товщини. З огляду на те, що кожна техніка має свої переваги та недоліки, отримати важливу інформацію для своєчасного та ефективного управління розливами нафти з одного джерела даних може бути складно; таким чином, існує поступка при виборі потенційних методів з інших. (*Machine Learning for Oil Spill, 2021*).

Виділено 3 основних варіанти дослідження нафтових розливів методами ДЗЗ:

- Дослідження за спектральними знімками;

- Дослідження за фотознімками високої роздільної здатності;
- Дослідження за радарними знімками.

Перший варіант дослідження розливів нафтопродуктів за допомогою спектральних знімків проводиться з метою виявлення, моніторингу та відстеження поширення забруднення навколишнього середовища. За допомогою спектральних знімків можна виявити нафту на поверхні водойм, на забруднених ґрунтах та інших об'єктах, які потрапили під вплив розливу. Але в основному доцільно використовувати такі дослідження на суші.

Визначено, що однією з найбільш поширених комбінацій спектральних знімків для виявлення нафтових забруднень є комбінація зеленого, червоного та інфрачервоного каналів (Green-Red-Shortwave Infrared - GRS). Використання цієї комбінації дозволяє відрізнити нафту від натуральних поверхневих ознак, таких як листя рослин, забезпечуючи високу точність виявлення.

Такі дослідження проводяться у багатьох країнах світу, де виникають ризики нафтових розливів. Наприклад, у США спектральні знімки використовуються для моніторингу розливів нафти в Мексиканській затоці та на Алясці. У Канаді спектральні знімки використовуються для виявлення забруднення нафтою у районі Альберти та нафтопроводів. У Європі спектральні знімки використовуються для моніторингу забруднення нафтою в Середземному морі та на узбережжі Британії.

Для проведення досліджень нафтових розливів за допомогою спектральних знімків використовуються різні види супутників, такі як Landsat, Sentinel та інші. Ці супутники забезпечують можливість отримання знімків з різною роздільною здатністю, що дозволяє виявляти навіть дрібні розливи на поверхні.

Разом з цим використовуються спектральні знімки з комбінацією каналів у видимому та інфрачервоному діапазонах, плями забруднень мають світліший

тон порівняно з незабрудненою поверхнею (Рис. 2.2); при малій висоті сонця над горизонтом у видимій області можливий темний тон плям. Теплові інфрачервоні датчики можуть працювати як у денний час, так і вночі, проте їх показання значно спотворюються за наявності хмарності чи опадів.

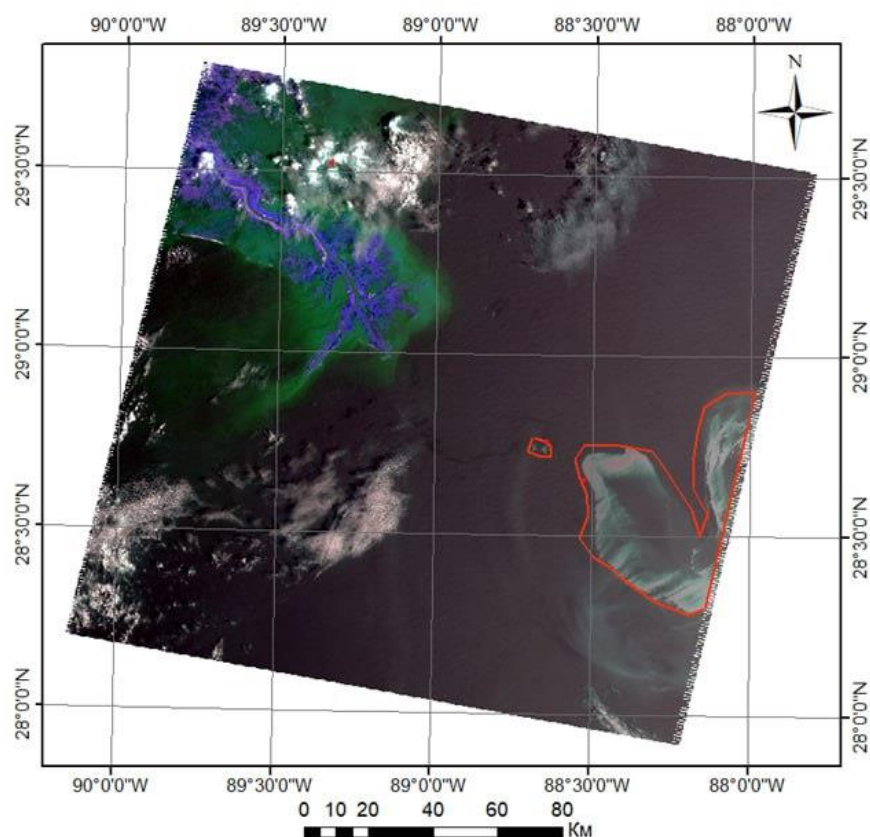


Рис. 2.2 Спектральна зйомка, забруднення нафтою (канали 7-5-2), 15 травня 2010 р, Мексиканська затока

Говорячи про дослідження суходолу застосовуються спектральні знімки з комбінацією каналів у тепловому та інфрачервоному діапазонах. Нафтові забруднення в інфрачервоному та тепловому діапазонах сильно контрастують із загальним фоном космічного знімка.

Окрім комбінації GRS, існують й інші комбінації спектральних знімків, які використовуються для виявлення нафтових забруднень, наприклад, комбінація каналів Landsat TM 3, 4 та 5 (Red, Near Infrared, Shortwave Infrared) або комбінація Sentinel-2A/B 2, 3 та 11 каналів (Blue, Green, Shortwave Infrared). Кожна з цих

комбінацій має свої переваги та недоліки та використовується в залежності від умов дослідження.

Дослідження нафтових розливів за допомогою спектральних знімків проводяться у багатьох країнах світу, де відбувається видобуток та транспортування нафти.

Застосування спектральних знімків для виявлення нафтових забруднень є важливим елементом контролю за станом довкілля та безпекою енергетичних проектів. Висока роздільна здатність та широкий спектр каналів спектральних знімків дозволяють отримати детальну інформацію про стан навколишнього середовища, що є важливим для ефективного прийняття рішень у галузі охорони навколишнього середовища та забезпечення безпеки людей.

За допомогою спектральних знімків можна виявити нафтові забруднення, визначити їх розміри та поширення, а також відстежувати їх динаміку в часі. Це дозволяє оперативно реагувати на ситуацію та приймати необхідні заходи для зменшення впливу нафтових розливів на навколишнє середовище.

Другий варіант дослідження нафтових розливів за допомогою радіолокаційних знімків, що проводиться з метою виявлення та моніторингу нафтових забруднень у водних тілах та на узбережжі.

Радіолокаційна зйомка водних поверхонь дозволяє виявляти нафтові розливи. Вони через особливості структури речовини мають згладжену поверхню та іншу відбивну здатність радіолокаційної зйомки на відміну від природної води. Це дозволяє досить легко визначити нафтовий розлив на радіолокаційному знімку (*Радіолокаційне знімання, 2023*).

Для отримання радіолокаційного знімка використовуються спеціальні радіолокаційні супутники, які висилають радіохвильовий сигнал на землю та приймають його відразу ж після відбиття від поверхні. Під час проходження сигналу через нафтову плівку, він змінює свою поляризацію, що викликає зміну

амплітуди та фази відбитого сигналу. За допомогою обробки цих змін можна визначити розташування та розміри нафтових забруднень.

Такі дослідження проводяться у водних тілах різних регіонів світу, де існує ризик нафтових розливів, таких як узбережжя Мексиканської затоки, Перської затоки, Північного моря, Каспійського моря та ін.

Залежно від умов, використовується різна поляризація радіосигналів. Наприклад, для дослідження нафтових забруднень у воді часто використовується горизонтальна поляризація сигналу, а для дослідження нафтових забруднень на узбережжі - діагональна або кругова поляризація.

Варто говорити про нафтове забруднення морської поверхні, що виявляється на космічних знімках завдяки тому, що нафтова плівка стримує хвилі і спричиняє появу сліків.

Сліки (від англ slick - гладкий, блискучий) - це гладкі дзеркальні смуги або плями на поверхні океанів, морів або внутрішніх водойм, які мають на радіолокаційних зображеннях практично чорний колір. За легкого бризу вони можуть мати вигляд плям, а за вітру понад 5 м/с розбиваються на вузькі смуги. Основна причина їхньої появи - плівки різних органічних сполук, зокрема поверхнево-активних речовин (ПАР). Джерелами органічної речовини в океані є тварини і рослини, а також природні джерела сирої нафти. Речовини біогенного походження утворюють на поверхні моря плівки в кілька мономолекулярних шарів товщиною 10^{-7} - 10^{-6} см, скупчуючись у районах високої біологічної активності (*Моніторинг розливів нафти, 2023*).

Біогенні плівки - результат життєдіяльності морських організмів і рослин, головним чином фіто- і зоопланктону, а також бактерій; вони утворюються в морі під час складних біохімічних реакцій у процесі життєдіяльності й розкладання морських організмів, і не можуть вважатися забрудненнями в прямому сенсі слова. Органічні плівки зберігаються в морі за слабких вітрів

протягом тривалого часу і починають руйнуватися, коли швидкість вітру перевищує 6-7 м/с. Після припинення дії сильного вітру органічні речовини знову виносяться на поверхню й утворюють слики (*Моніторинг розливів нафти, 2023*)

Після розливу нафти в морі, на поверхні утворюються плівки залежно від товщини і складу нафти та її переробних продуктів. Це може тривати досить довго, оскільки нафта має унікальні фізико-хімічні властивості. Розповсюдження плівок по поверхні моря залежить від дії вітру, хвиль і течій, а також від їх товщини і складу. При сильному вітрі плями можуть розгублюватися і утворювати нафтову емульсію, а після часу водна емульсія може осідати на дно. Проте нафта ніколи не розтікається до мономолекулярних шарів (*Моніторинг розливів нафти, 2023*).

Радіолокаційні супутникові зображення водної поверхні можуть бути використані для виявлення нафтових плям в акваторіях водойм, оскільки вони є незалежними від хмарності та освітленості та майже не залежать від погодних умов на морі. Такі зображення можуть бути використані для націлювання повітряних або морських засобів на конкретні райони для подальших досліджень. На сьогоднішній день такі можливості доступні на борту супутників ENVISAT і ERS-2 Європейського космічного агентства (ESA) і RADARSAT Канадського космічного агентства, а також на супутнику Sentinel-1 (*Моніторинг розливів нафти, 2023*).

Космічні знімки можуть відобразити нафтові забруднення, що виникають внаслідок аварій та розливів нафти, у вигляді темних плям чи смуг на морській поверхні. Радіолокаційна зйомка є важливим інструментом для районів видобування нафти та газу, оскільки дозволяє відображати на знімках нафтові забруднення та слики, які виділяються з темнішим відтінком порівняно

з незабрудненими ділянками, що можна спостерігати в Перській затоці (Рис. 2.3) (Моніторинг розливів нафти, 2023).

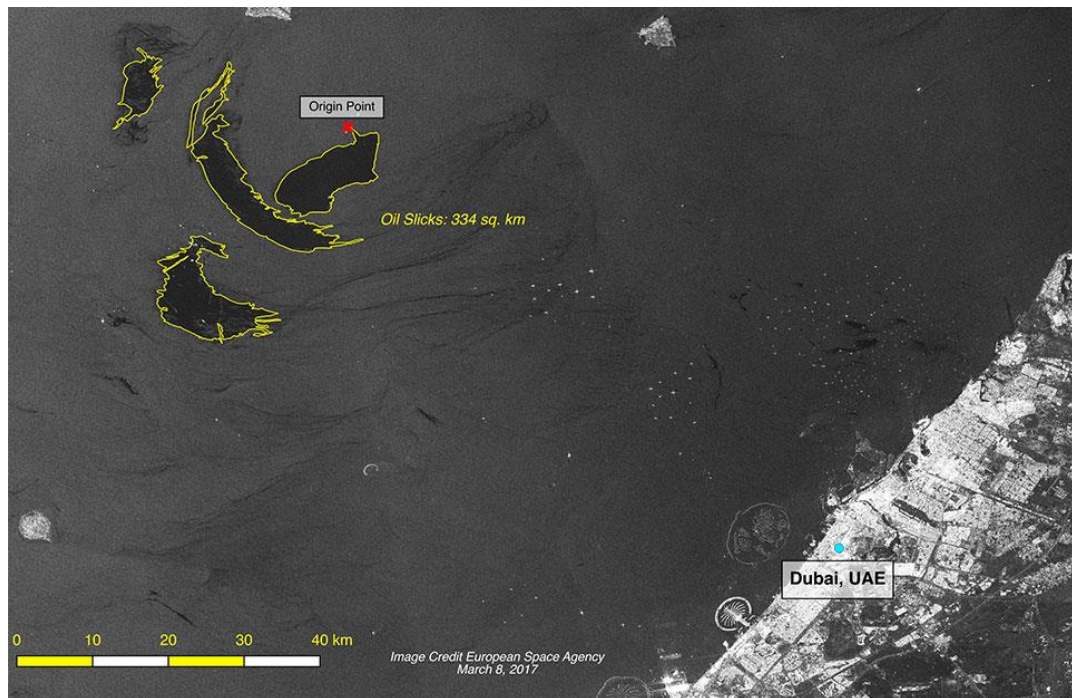


Рис. 2.3. Радіолокаційна зйомка, аномальні забруднення нафтою в Перській затоці (темний тон). (*Oil spill over Arabian Gulf, 2017*)

Хоча радіолокаційна зйомка має переваги, такі як можливість роботи в будь-яких погодних умовах і незалежність від освітлення, її можливості є обмеженими у залежності від стану морської поверхні. Водночас, контрасти шорсткості на морській поверхні можуть спричинювати інші процеси в океані та атмосфері, що можуть створювати подібні радіолокаційні зображення. Тим не менше, завдяки можливості моніторингу в будь-яку погоду, радіолокатори є незамінним засобом дистанційного зондування (*Моніторинг розливів нафти, 2023*).

Можливість радіолокаторів із синтезованою апертурою виявляти забруднення на морській поверхні в цілому залежить від самих умов знімання, геометричних характеристик, також впливає стан поверхні в залежності від

швидкості вітру і самого забруднювача чи типу нафтопродуктів. Плями нафти при вітрі до 12 м/с на радіолокаційних знімках можна визначити досить точно.

Точність радіолокаційних знімків залежить від багатьох факторів, таких як якість супутникового зв'язку, стан морської поверхні, наявність інших джерел перешкод, наприклад, інших суден або вітру. Тому, для отримання максимально точних даних, проводяться кілька знімків в різний час доби та при різних погодних умовах.

Одним із важливих аспектів радіолокаційного дослідження нафтових розливів є вибір поляризації. Поляризація радіохвиль визначає напрямок коливань електричного поля в хвилі. У радіолокаційному дослідженні нафтових розливів найчастіше використовуються дві типи поляризації: вертикальна та горизонтальна.

Поляризація впливає на якість зображення, що отримуються в результаті радіолокаційного дослідження. У випадку з нафтовими забрудненнями, вертикальна поляризація зазвичай дає кращі результати, оскільки нафта має більшу діелектричну проникність у вертикальному напрямку, ніж у горизонтальному. Тому, при використанні вертикальної поляризації, нафтові забруднення виділяються на зображенні яскравішим кольором, що дозволяє визначити їхні межі та розміри з більшою точністю.

Вигляд розливів нафти може відрізнитися на зображеннях SAR, оскільки радіометричні характеристики радіолокаційного зображення можуть відрізнитися залежно від довжин хвиль, частот і поляризацій. L (довжина хвилі 24 см), C (довжина хвилі 6 см) і X (довжина хвилі 3 см) зазвичай використовуються для виявлення розливів нафти. Цей огляд показав, що C-діапазон широко використовується в радіолокаційних зображеннях для виявлення розливів нафти, а потім X- та L-діапазони. Системи SAR працюють у різних схемах

поляризації (VV, HH, VH та HV). Ця умова дозволяє отримувати унікальну інформацію для виявлення та моніторингу розливів нафти. Наприклад, Sentinel-1 і Radarsat-2 можуть надавати дані SAR з подвійною поляризацією, тобто HH (горизонтальна передача та прийом) + HV (горизонтальна передача та вертикальний прийом) або VV+VH. Моді поляризації можуть бути одиничними (тобто HH або HV), подвійний (тобто HH/HV або VV/VH) і чотирикутний (HH, HV, VH і VV). Однак деякі особливості можна спостерігати лише за допомогою певних поляризацій. Наприклад, інцидент розливу нафти можна побачити на діапазоні VV даних Sentinel-1, але він може бути невидимим у відповідному діапазоні VH (*Machine Learning for Oil Spill, 2021*).

Враховуючи притаманні радіометричні та геометричні похибки оптичних датчиків і датчиків SAR, а також сильний вплив умов навколишнього середовища, попередня обробка даних дистанційного зондування є фундаментальним кроком у підвищенні якості даних і підвищення точності розроблених систем класифікації розливів нафти. Ланцюжок попередньої обробки оптичних даних може змінюватися на основі якості джерела даних і необхідного рівня обробки для аналізу (тобто рівні 0, 1B і 1C). Загалом цей процес можна розділити на п'ять основних етапів, а саме: радіометричне калібрування, атмосферна корекція, геометрична корекція, покращення зображення та маскування. Радіометрична корекція оптичних зображень потрібна для пом'якшення атмосферних впливів для покращення ідентифікації розливів нафти і усунути ефекти старіння радіометричних датчиків і радіометричну розбіжність між датчиками (тобто Landsat TM і ETM+). Атмосферна корекція пом'якшує атмосферні ефекти, усуваючи вплив атмосферних молекул і розсіювання аерозолів і покращуючи вилучення параметрів реальної поверхні із супутникових зображень (тобто коефіцієнт відбиття поверхні, коефіцієнт випромінювання та температура

поверхні). Ця поправка враховується в різних дослідженнях розливів нафти (*Machine Learning for Oil Spill, 2021*).

Дослідження нафтових розливів за допомогою радіолокаційних знімків проводяться в різних частинах світу, де відбувається видобуток та транспортування нафти, а також де можливі надзвичайні ситуації, що можуть призвести до нафтових розливів. Наприклад, такі дослідження проводяться в Мексиканській затоці, Перській затоці, Північному морі, Каспійському морі та багатьох інших регіонах світу. Вони дозволяють контролювати стан навколишнього середовища та приймати ефективні заходи для зменшення наслідків нафтових розливів на природне середовище.

Отримані дані дозволяють не тільки виявляти наявність нафтових забруднень, але і визначати їх розміри та форму, оцінювати кількість нафти та її розподіл по поверхні води. Ці дані є важливими для прийняття рішень щодо моніторингу та боротьби з нафтовими забрудненнями.

2.3 Програмне забезпечення для обробки даних і його інструментарій для роботи в напрямку визначення нафтових розливів.

Програмне забезпечення для обробки даних ДЗЗ (дистанційного зондування землі) і космознімків є надзвичайно важливим для різноманітних галузей, таких як геодезія, картографія, екологія, аграрний сектор, гірничо-видобувна промисловість та інші. Для роботи зі спектральними чи радарними знімками і їх обробки можна використовувати багато різних геоінформаційних систем з хорошим функціоналом. Актуально проводити попередній огляд даних і їх обробку з інструментарієм програмного забезпечення.

Найбільш відомими програмними продуктами для обробки даних ДЗЗ та космічних знімків є ArcGIS, SNAP, ENVI, QGIS, ERDAS IMAGINE, PCI Geomatica.

Важливим програмним забезпеченням є ArcGIS (Esri), який дозволяє обробляти дані з різних джерел, таких як космічні знімки, GPS-дані, картографічні дані та інші. ArcGIS дозволяє проводити геоаналітику, побудову карт, аналіз територій та інші функції.

Для повноцінного використання ArcGIS Desktop використовуються додаткові модулі, що відкривають доступ до інструментарію і додаткових функцій. Серед таких модулів можна виділити: 3D Analyst, Spatial Analyst, Network Analyst, Survey Analyst, Geostatistical Analyst (ArcGIS, 2020).

Додатковий модуль Spatial Analyst володіє широким діапазоном можливостей просторового моделювання та аналізу. Ви можете створювати, будувати запити, відображати на карті і аналізувати растрові дані; здійснювати повноцінний переклад даних з растра в вектор і навпаки; отримувати нові дані на основі існуючих; обробляти інформацію з декількох шарів даних; а також повністю поєднувати растрові дані, засновані на осередках, і традиційні векторні джерела даних (ArcGIS, 2020).

Під час роботи зі спектральними знімками актуально для попередньої обробки використовувати інструментарій ArcGIS Desktop, що дає хорошу можливість для обробки мультиспектральних космознімків. Насамперед є можливість без проблем створювати різні комбінації знімків в різних спектральних діапазонах, для кращого виділення тих чи інших об'єктів. Наступною перевагою є потужна алгебра карт, що дозволяє робити будь-які обчислення з даними для отримання потрібного результату чи їх фільтрації.

ArcGIS дозволяє робити розрухунки NDVI і інших індексів за спектральними знімками, що дозволяють за вторинними ознаками, а саме за станом рослинності розглядати можливі розливи нафти і нафтопродуктів. Також однією з можливостей є попередня фільтрація знімків і збільшення їх просторової розрізненості за рахунок комбінації з панхроматичним, що має зазвичай вище просторове розрізнення.

Для попередньої фільтрації можна використати інструмент Filter. Даний інструмент виконує фільтрацію вхідного растру, для покращення його якості шляхом видалення помилкових викидів даних. Можна вибрати декілька варіантів фільтрації, так звана низькочастотна і високочастотна (*How Filter works, 2015*).

Для даного методу фільтрації використовується ковзне вікно, що проходить по кожній комірці растру роблячи зміни для центральної комірки з урахуванням значень сусідніх. З параметром низькочастотний, фільтр буде працювати як усереднюючий, тобто центральній комірці ковзного вікна буде присвоюватися середнє значення за всіма комірками, що входять в область цього вікна. Це в свою чергу призводить до згладження растру з видаленням екстремальних викидів даних (*How Filter works, 2015*).

Інтерферометричний радар із синтетичною апертурою (InSAR) використовує різницю фаз між двома комплексними зображеннями SAR, отриманими з дещо різних положень датчиків, і витягує інформацію про земну поверхню. Сигнал SAR містить інформацію про амплітуду та фазу. Амплітуда – це потужність відгуку радара, а фаза – це частка одного повного циклу синусоїдальної хвилі (одна довжина хвилі SAR). В першу чергу це визначається відстанню між супутниковою антеною та наземними цілями (*DEM with Sentinel-1, 2023*).

Для роботи саме з радарними даними актуально використовувати програмне забезпечення Snap. Платформа додатків Sentinel або коротко SNAP — це набір виконуваних інструментів і інтерфейсів програмування додатків (API), які були розроблені для полегшення використання, перегляду та обробки різноманітних даних дистанційного зондування. Функціональність SNAP доступна через Sentinel Toolbox . Мета Sentinel Toolbox полягає не в тому, щоб дублювати існуючі комерційні пакети, а в тому, щоб доповнити їх функціями,

призначеними для обробки продуктів даних із супутників спостереження Землі (*Sentinel Toolbox, 2011*).

Основними компонентами Sentinel Toolbox є:

- інтуїтивно зрозуміла настільна програма, яка використовується для візуалізації, аналізу та обробки даних EO;
- набір процесорів наукових даних, що запускаються з командного рядка або викликаються програмою для робочого столу;
- інструмент командного рядка `gpt` (інструмент обробки графів) використовується для виконання графів обробки, що складаються з вузлів операторів, розроблених за допомогою SNAP GPF (див. Java API нижче);
- інструмент для конвертації продуктів даних `rconvert`, який дозволяє користувачеві перетворювати продукти необроблених даних у стандартний формат BEAM-DIMAP, у GeoTIFF, у HDF-5 або зображення RGB (*Sentinel Toolbox, 2011*).

Java™ API, який надає готові до використання компоненти для розробки додатків, пов'язаних із дистанційним зондуванням, і точки плагінів для нових модулів розширення SNAP. Окрім ряду точок розширення, таких як програма для читання та запису продукту, API SNAP містить структуру обробки графіків (GPF), яка використовується для швидкого створення процесорів растрових даних. Платформа Rich Client використовується для розробки додатків з графічним інтерфейсом користувача на основі SNAP (*Sentinel Toolbox, 2011*).

SNAP містить набір інструментів для роботи з даними обраного супутника. Sentinel-1 Toolbox (S1TBX) складається з набору інструментів обробки, пристроїв для зчитування та запису даних, а також програми для відображення та аналізу для підтримки великого архіву даних місії ESA SAR, включаючи Sentinel-1, ERS-1 & 2 і ENVISAT., а також дані сторонніх SAR від ALOS PALSAR, TerraSAR-X, COSMO-

SkyMed і RADARSAT-2. Набір інструментів містить інструменти для калібрування, спекл-фільтрації, співреєстрації, ортотрансформації, мозаїки, перетворення даних, поляриметрії та інтерферометрії. Sentinel-1 Toolbox розробляється для ESA компанією Array у партнерстві з DLR, Brockmann Consult і OceanDataLab (*Sentinel Toolbox, 2011*).

Дані Sentinel-1 покривають велику територію і розрахунок за ними є досить затратними, тому актуально перед обробкою провести відбір даних, що покривають обрану територію. Датасети складається Sentinel-1 складаються з окремих 27 знімків. Для відбору і їх об'єднання можна застосовувати інструмент S-1 TOPS Split, щоб вибрати лише ті пакети, які потрібні для аналізу. В параметрах обробки можна обирати VV поляризацію.

Знімок може бути спотворений шумами часової та геометричної декореляції, об'ємним розсіюванням та іншими помилками обробки. Вданому програмному забезпеченні є можливість застосування спеціалізованих фазових фільтрів, таких як фільтр Гольдштейна, який використовує швидке перетворення Фур'є (ШПФ) для покращення співвідношення сигнал/шум зображення в інструменті Goldstein Phase Filtering (*DEM with Sentinel-1, 2023*).

Радарні знімки мають геометричні спотворення, що пов'язані з особливістю проведення знімання. В таких випадках потрібно виправляти геометричні спотворення і помилки геолокації.

Радіометрична корекція передбачає усунення оманливого впливу топографії на значення зворотного розсіювання. Корекція рельєфу виправляє геометричні спотворення, які призводять до помилок геолокації (Рис. 2.4). Викривлення викликані зображенням, що дивиться збоку (а не прямо вниз або в найнижчу точку) і ускладнюється пересіченою місцевістю. Корекція ландшафту переміщує пікселі зображення в правильне просторове співвідношення один з

одним. Радіометрична корекція рельєфу поєднує обидві корекції для отримання чудового продукту для наукових застосувань (*Terrain-Correct Sentinel-1, 2023*).

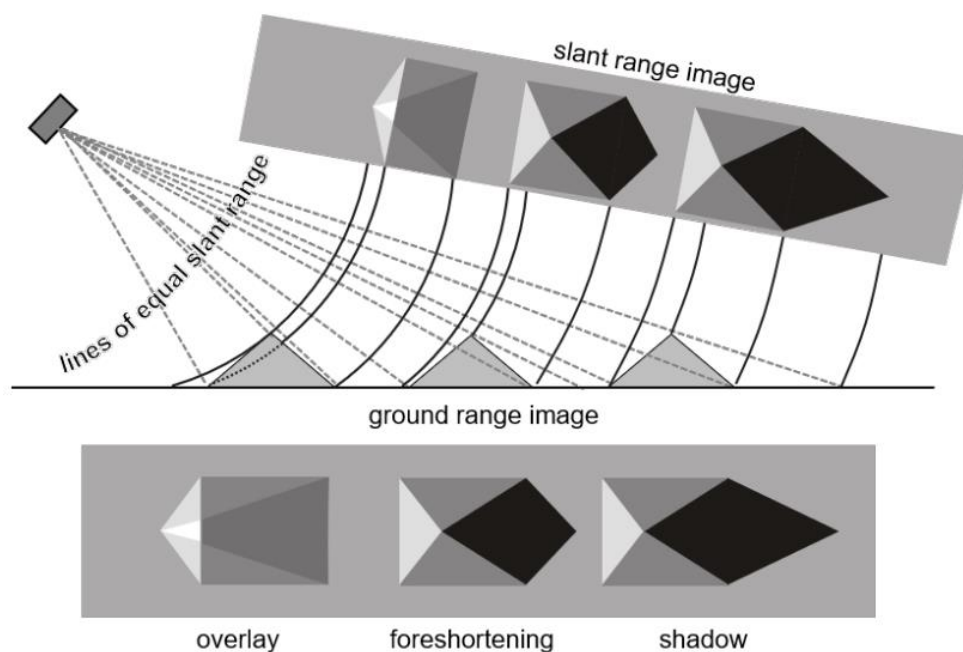


Рис. 2.4 Геометричні спотворення на радіолокаційних знімках (*DEM with Sentinel-1, 2023*)

В SNAP для радіолокаційної корекції можна використати інструмент Terrain Correction. Він геокодує зображення виправляючи геометричні спотворення РЛС. Геокодування перетворює зображення з геометрії похилої проекції або наземної в систему координат карти. Даний інструмент виконує корекцію властивих геометричних спотворень, таких як ракурс, накладання і тінь (*Рис. 2.4*) (*DEM with Sentinel-1, 2023*).

Якщо розглядати направлений інструментарій для покращення зображення перед виділенням нафтових розливів, то варто розглядати насамперед фільтри для боротьби із спекл-шумом на радарних знімках. Одним з таких інструментів в Snap є Speckle-filter. Спекл-шум погіршує якість зображення та ускладнює інтерпретацію об'єктів. Спекл спричинений випадковою конструктивною та деструктивною інтерференцією дефазних, але когерентних зворотних хвиль, розсіяних елементарними розсіювачами в межах кожної

комірки роздільної здатності. Для зменшення спекл-шуму можна застосувати просторову фільтрацію або багатоканальну обробку. Інструмент підтримує різні спекл-фільтри для обробки спекл-шуму різного розподілу (гауссівського, мультиплікативного або гамма), одним найчастіше з використовуваних саме для радарних знімків є фільтр Lee.

Фільтр Лі усуває зернистість, застосовуючи просторовий фільтр до кожного пікселя зображення, який фільтрує дані на основі локальної статистики, обчисленої в квадратному вікні. Значення центрального пікселя замінюється на значення, обчислене за допомогою сусідніх пікселів. Фільтр Лі дає змогу видалити як адитивні, так і множинні шуми. Використовуйте фільтр Лі для згладжування даних з наявністю спекла, в яких є адитивний або множинний компонент (Speckle function, 2022).

Приклад алгоритму:

$$\text{pixel} = LM + K * (PC - LM), \quad (1.2)$$

де K (функція ваги) = $LV / (LV + AV)$;

PC – значення центрального пікселя вікна;

LM – локальне середнє значення вікна фільтра;

LV – локальна дисперсія вікна фільтра;

A – середнє значення адитивного шуму;

AV – дисперсія аддитивних шумів (Speckle function, 2022).

Наступний корисний інструмент Land-sea-mask, суть якого полягає в тому, що він відділяє сушу від водних об'єктів і в залежності від параметрів обнуляє один із заданого типу території залишаючи тільки потрібну для дослідження ділянку. Є важливим коли дослідження ідуть тільки по суші чи акваторіях, щоб значення пікселів не змішувалися. Інструмент перетворить усі пікселі на суші на відсутність даних. Якщо прапорець "Зберегти сушу" встановлено на true, то всі пікселі суші будуть збережені, а всі пікселі океану стануть без даних.

Інструмент автоматично завантажить -хвилинну матрицю висот SRTM при першому використанні. Ця матриця висот використовується для дуже швидкого визначення того, чи знаходиться піксель на суші або в океані. Крім того, можна також використовувати геометрію з продукту. Це може бути створений користувачем ROI або імпортований Shape файл.

Oil Spill Detection (виявлення розливів нафти) - інструмент виявляє темні плями, такі як нафтові розливи на поверхні моря, за допомогою радіолокаційних знімків. Основні етапи обробки:

- попередня обробка: на цьому етапі до вихідного зображення застосовуються калібрування та спекл-фільтрація;

- маскування суші і моря: на цьому етапі створюється маска суша-море, щоб гарантувати, що виявлення буде сфокусовано лише на області, яка становить інтерес;

- виявлення темних плям: на цьому кроці темні ділянки виявляються за допомогою методу адаптивного порогового значення;

- кластеризація та дискримінація: пікселі, виявлені як частина темної плями, кластеризуються, а потім видаляються на основі розміру кластера і вибраного користувачем мінімального розміру кластера.

Темні плями виявляються за допомогою адаптивного порогового методу. Спочатку оцінюється локальний середній рівень зворотного розсіювання, використовуючи пікселі у великому вікні.

Потім встановлюється поріг виявлення на k децибел нижче оціненого середнього локального рівня зворотного розсіювання. Пікселі у вікні зі значеннями, нижчими за поріг, виявляються як темні плями.

3 РОЗДІЛ ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВИЯВЛЕННЯ НАФТОВИХ РОЗЛИВІВ МЕТОДАМИ ДЗЗ

3.1 Методика і інструментарій в Snap для виділення нафтових розливів

Для аналізу ДЗЗ даних необхідно використовувати різні методи обробки та аналізу даних, такі як алгоритми класифікації, сегментації, фільтрації та візуалізації. Деякі методи можуть бути застосовані для виявлення змін у масштабах декількох метрів, тоді як інші можуть бути корисними для виявлення змін на великих територіях.

Додатково, для виявлення нафтових розливів можуть використовуватись геоінформаційні системи (ГІС), які дозволяють об'єднувати різні види даних та аналізувати їх у контексті географічних об'єктів та їх характеристик.

Загалом, вибір та аналіз ДЗЗ даних для виявлення та моніторингу нафтових розливів повинен бути здійснений з урахуванням різних параметрів та методів аналізу даних.

Основний етап обробки даних - це попередня обробка, що передуює використанню алгоритмів автоматичного аналізу. Вона включає в себе калібрування та корекцію даних ДЗЗ, щоб усунути шум та інші артефакти, що можуть впливати на точність та достовірність результатів.

Після попередньої обробки використовуються різні алгоритми автоматичного аналізу даних ДЗЗ. Для виявлення нафтових розливів використовуються спектральні алгоритми, які аналізують зміни кольору води на місці можливого розливу.

Для визначення розливів нафти було обрано саме водні об'єкти, акваторії, що мають свої особливості проведення досліджень в них і визначення розливів. Так вхідними даними обрано знімки Sentinel-1, а саме радарні дані з поляризацією VV. Для виконання даного завдання взято за основу інструментарій програмного забезпечення Snap розглянутий раніше.

В основі методики лежить три етапи:

- 1) завантаження даних і їх попередня обробка;
- 2) фільтрація даних і геометрична корекція для нівелювання негативних особливостей від радарного знімання;
- 3) виявлення темних ділянок ділянок і кластеризація для для виділення розливів.

Більш детально (Рис.3.1) відображено послідовність інструментарію, для створення ланцюжка з інструментів і збереження його в форматі XML скориставшись GraphBuilder.

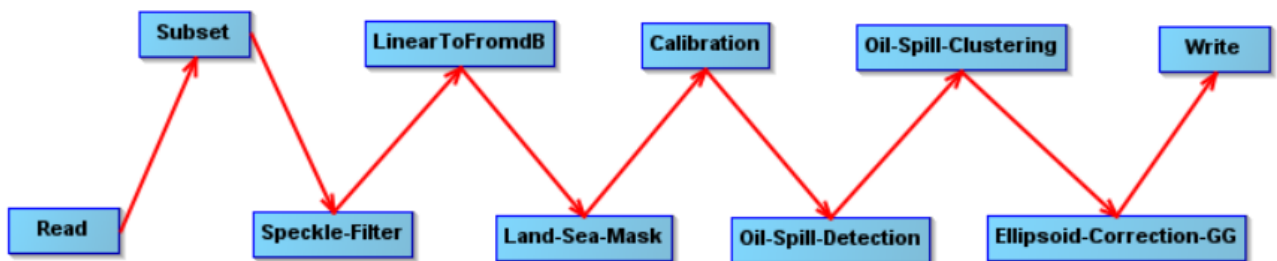


Рис. 3.1 Графічна модель набору використання інструментів для виявлення розливу в ПЗ SNAP (SNAP, 2023)

Дана методика включає набір інструментів і процесів:

- 1) Виділення і обрізання актуальної ділянки (Subset);
- 2) Фільтрація від спекл-шуму, від якого страждають всі радарні знімки (Speckle-filter);
- 3) Створення маски для відсікання суші, щоб залишити лише акваторію для дослідження (Land-sea-mask);
- 4) Радіометрична корекція, щоб значення пікселів у зображенні дійсно відображали радіолокаційне зворотне розсіювання від поверхні (Calibration)
- 5) Виділення темних плям на радіолокаційних знімках за допомогою адаптивного порогового методу; (Oil-spill-detection);

- 6) Об'єднання пікселів виділених як нафтове забруднення в кластери (Oil-spill-clustering);
- 7) Геометрична корекція для нівелювання особливостей знімання (Ellipsoid-correction).

3.2 Завантажені дані і використання методики в Snap на попередньому дослідженні

Для отримання радіолокаційного знімка використовуються спеціальні радіолокаційні супутники, які висилають радіохвильовий сигнал на землю та приймають його відразу ж після відбиття від поверхні. Під час проходження сигналу через нафтову плівку, він змінює свою поляризацію, що викликає зміну амплітуди та фази відбитого сигналу. За допомогою обробки цих змін можна визначити розташування та розміри нафтових забруднень. Для дослідження було завантажено радіолокаційні знімки Sentinel-1.

Одним із важливих аспектів радіолокаційного дослідження нафтових розливів є вибір поляризації. Поляризація радіохвиль визначає напрямок коливань електричного поля в хвилі. У радіолокаційному дослідженні нафтових розливів актуально було вибрати вертикальну поляризацію VV.

Поляризація впливає на якість зображення, що отримуються в результаті радіолокаційного дослідження. У випадку з нафтовими забрудненнями, вертикальна поляризація зазвичай дає кращі результати, оскільки нафта має більшу діелектричну проникність у вертикальному напрямку.

Також варто було завантажити дані HRD, тобто оброблені за алгоритмом High Resolution Direction-of-arrival (HRD) є одним з алгоритмів обробки даних радару в супутниках Sentinel-1, який використовується для знаходження напрямків походження радіосигналів. Застосування цього алгоритму дозволяє

визначити напрямок, з якого був отриманий радіосигнал, та дозволяє здійснювати напрямлене зіткнення даних.

HRD використовується для обробки сигналів, що відбиваються від об'єктів, таких як кораблі, нафтові плями тощо. Для розрахунку напрямку походження радіосигналу алгоритм використовує фазову інформацію та кутові виміри антени радару, що дозволяє визначити напрямок, з якого був отриманий радіосигнал.

І останнім важливим параметром при завантаженні було обрати IW в Sentinel-1, що означає режим зондування смуги з синтезованою апертурою (Interferometric Wide swath). Це один з режимів збору даних з супутника Sentinel-1, що забезпечує зйомку з високою роздільною здатністю та широкою зоною зондування.

Отже насамперед для попереднього дослідження було завантажено радарні знімки Sentinel-1 тип продукту GRD, режим інтерферометричний широкозахватний IW, поляризація VV. Просторова розрізненість знімків 10м.

Для першого дослідження обрано територію в береговій лінії Мавританії, а саме у серпні 2020 року сталася серйозна катастрофа з розливом нафти на узбережжі Мавританії в Атлантичному океані. Розлив стався з танкера, який був залишений на якості боргу у лівій частині моря неподалік від узбережжя Мавританії.

Це судно було плавучим сховищем нафти, яке було залишене без нагляду після того, як компанія, яка його володіла, збанкрутувала. З часом сховище стало корозійним та почало протікати, що призвело до викиду понад 1,3 мільйона барелів нафти в море.

Отже, завантажено знімок за серпень 2020 року вздовж берегової лінії Мавританії і додано в робочу область Snap. Перед використанням інструментарію було обрізано ділянку для дослідження за допомогою інструменту Subset (Рис. 3.2).

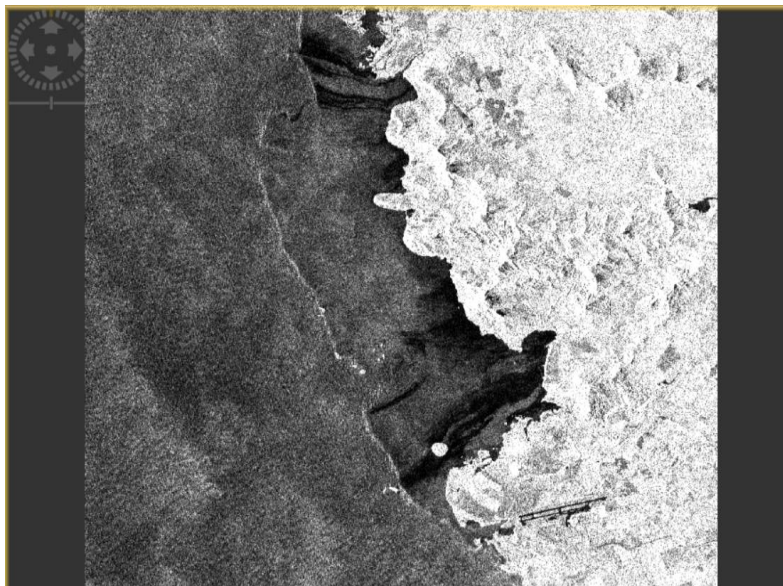


Рис. 3.2 Амплітудні дані Sentinel-1 з сервісу scihub.copernicus.eu за серпень 2020 року візуалізовані в SNAP

Відразу на знімку спостерігається стандартна проблема радарних знімків, а саме спекл-шум або зашумлення типу “сіль та перець”. Отже, потрібно провести фільтрацію, для цього використовується інструмент Speckle-filter.

Під час фільтрації було обрано саме Lee фільтрацію, вона досить добре підходить для роботи з даним типом зашумлення і радарними даними(Рис. 3.3).

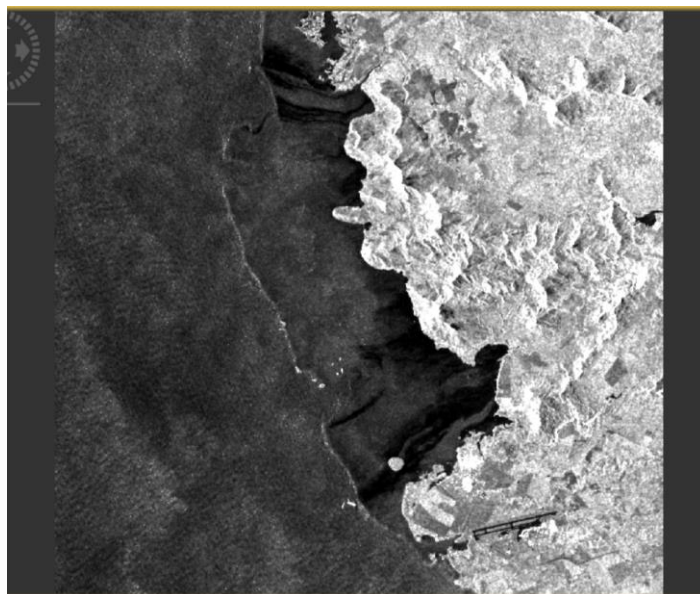


Рис. 3.3 Амплітудні дані Sentinel-1 з сервісу scihub.copernicus.eu за серпень 2020 року візуалізовані

Наступним етапом перед є виділення в окремий шар акваторії, так дослідження відбуваються саме в даному середовищі. Дана опція потрібна для більш детального виявлення розливів нафти в акваторії без захоплення значень на суші і їх впливу при визначенні темних ділянок (рис.3.4).

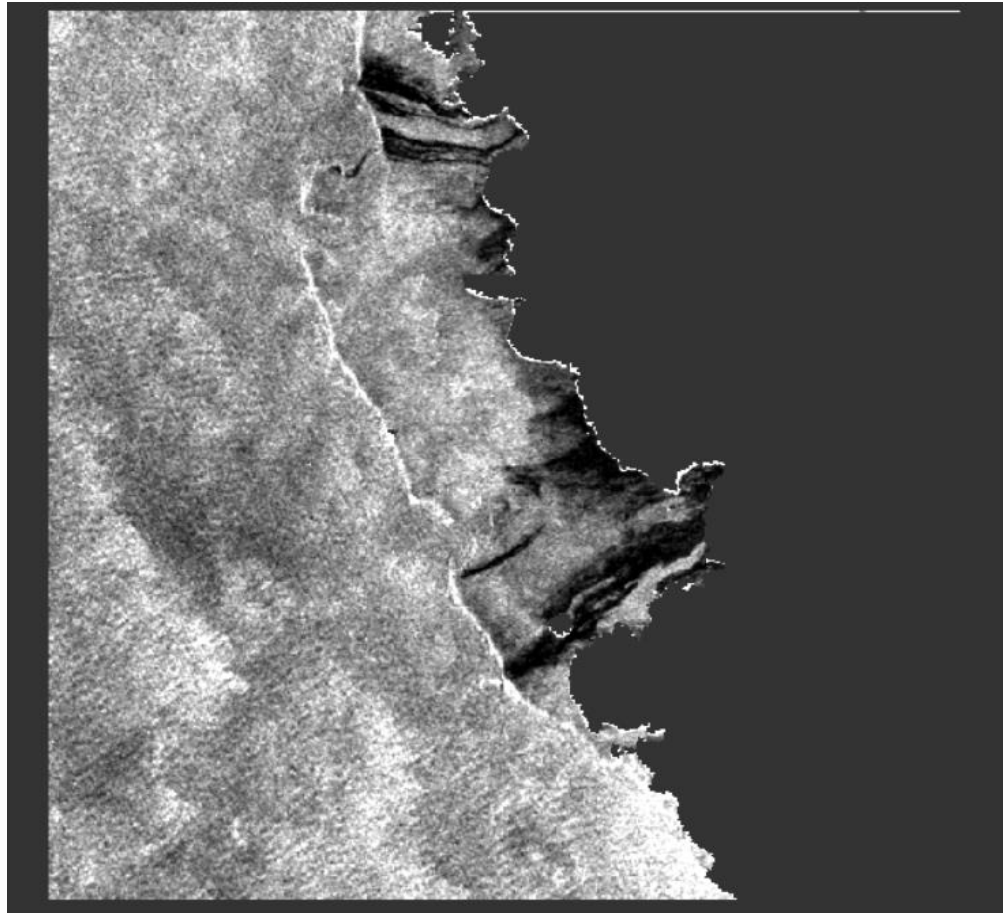


Рис. 3.4 Результат інструменту Land-sea-mask на даних Sentinel-1 для берегової лінії Мавританії, для відсікання суші

З використанням інструменту Land-sea-mask було отримано окремий шар, що включає лише акваторію з відсіканням суші. Для більш кращого виділення темних об'єктів актуально перевести амплітудні значення в фізичні одиниці, а саме дБ . Да не перетворення робить воду і світлі об'єкти більш яскравіші і відповідно темні також краще виділяються (рис. 3.5).

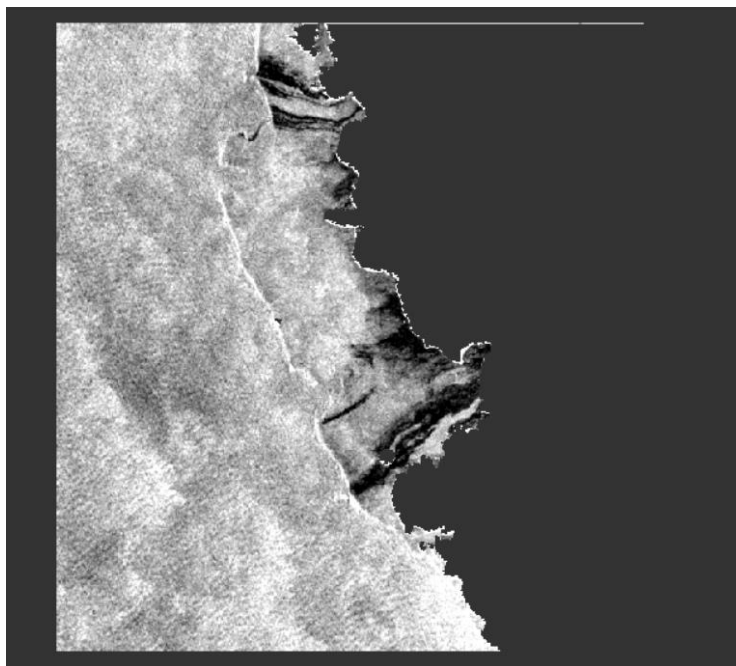


Рис. 3.5 Результат інструменту Linear to/from dB на даних Sentinel-1 для берегової лінії Мавританії

В результаті переведення амплітудних значень з безрозмірних одиниць можна спостерігати більш яскравий фон води, в результаті чого краще виділяються темні об'єкти. Далі перейдемо до визначення розливів, що можливо зробити з використанням інструменту oil spill detection (рис. 3.6).

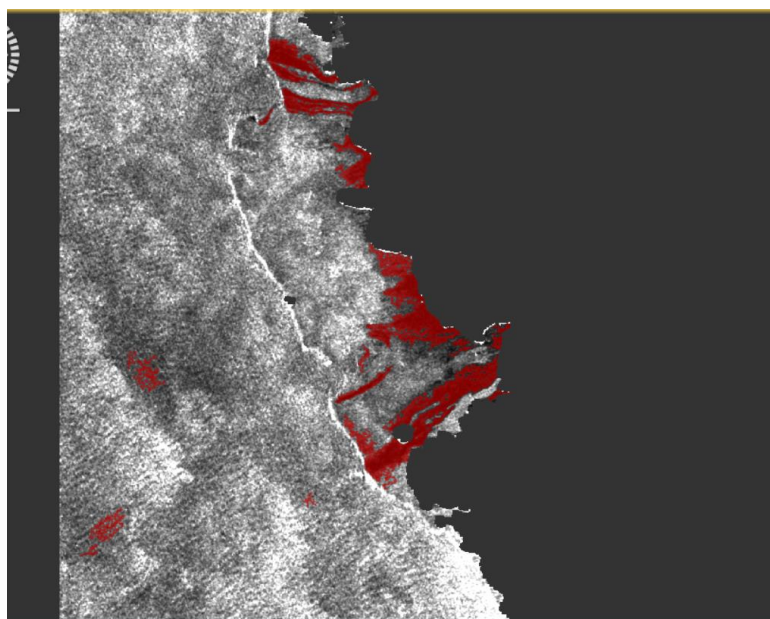


Рис.3.6 Кластер з виділеними нафтовими розливами інструментом Oil spill detection за даними Sentinel-1 для берегової лінії Мавританії

В результаті використання інструментарію і методики отримуємо маску , що являє собою виділені нафтові розливи за досліджуваною територією. Також окремим шаром було отримано маску розливів яку можна імпортувати в інші ГІС системи.

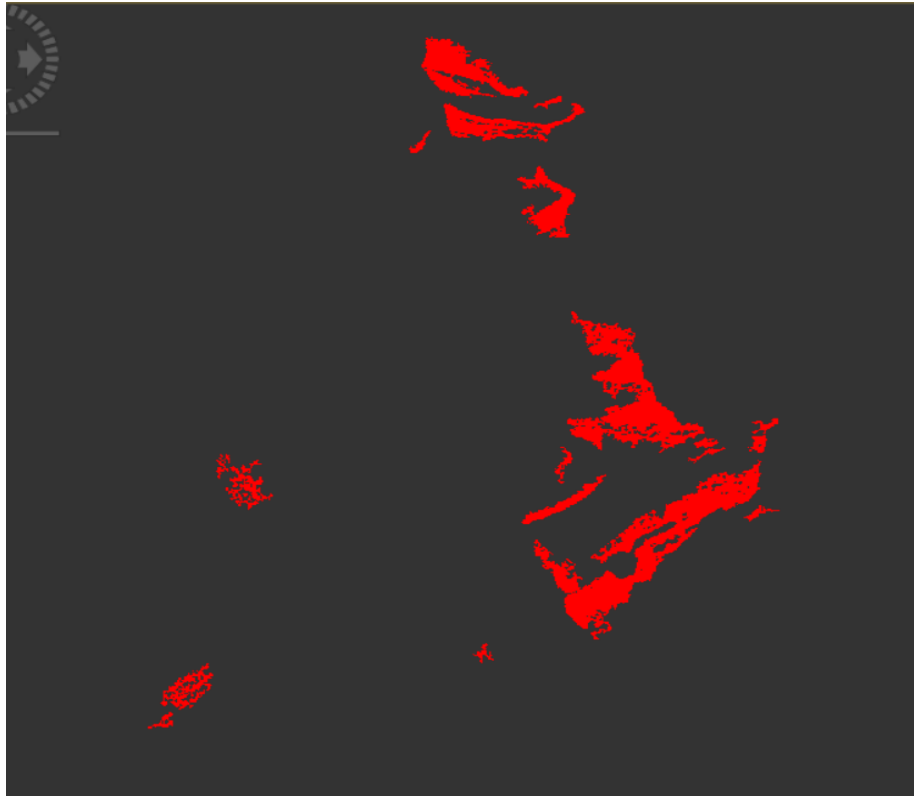


Рис. 3.7 Маска нафтових розливів за проведеним дослідженням для берегової лінії Мавританії

Перед експортом маски, варто провести геокодування, задати проекцію і систему координат. Для цього використовуємо інструмент Ellipsoid correction (рис.3.8).

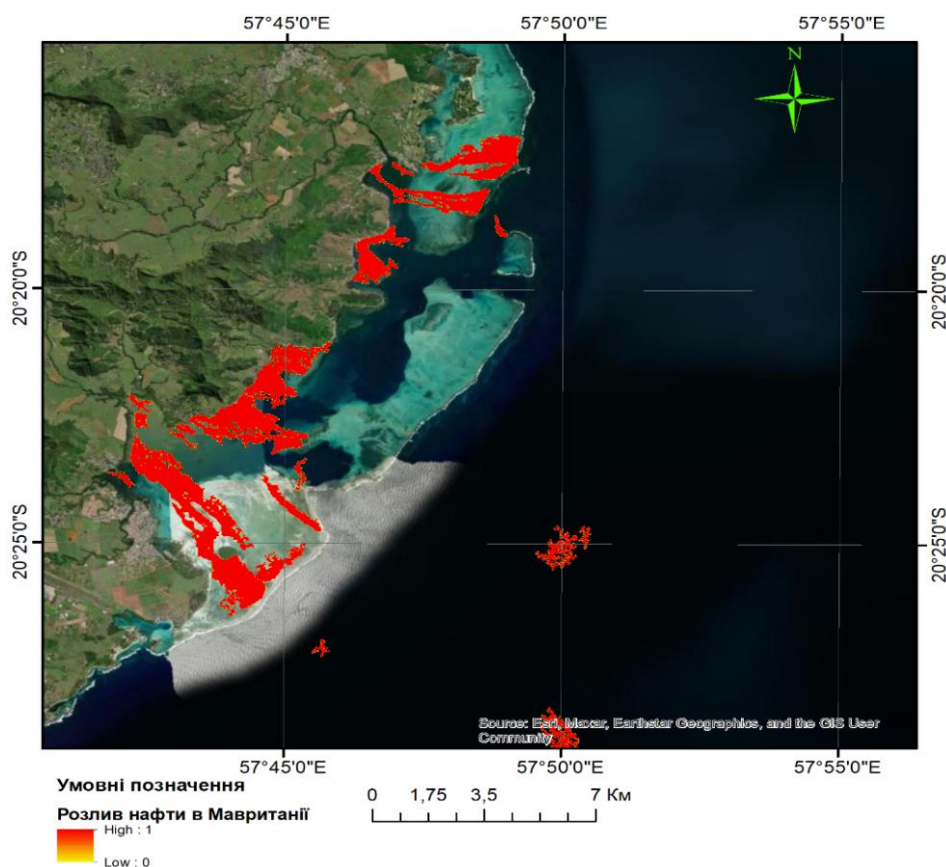


Рис. 3.8 Маска нафтових розливів експортована в ArcGIS і накладена на онлайн шар BaseMap

В результаті було визначено розливи нафти (рис. 3.9) для берегової лінії Мавританії станом на серпень 2020 року , після аварії. Також підраховано, що розлив покрив територію 39 км.кв.

3.3 Виявлення розливів нафти в Азовському морі за даними Sentinel-1

Для практичного дослідження було обрано акваторію Азовського моря поблизу м. Бердянськ. Під час війни зі сторони агресора відбуваються протиправні дії на тимчасово окупованих територіях, що призводять також і до екологічних забруднень, і навіть катастроф. Так в кінці серпня – вересня є згадки від очевидців про забруднення акваторії нафтопродуктами. На разі для перегляду масштабів і виявлення розливів залишається лише варіант за даними ДЗЗ.

Насамперед було завантажено дані Sentinel-1 станом на 1 вересня 2022 року і додано їх в Snap (Рис. 3.9).

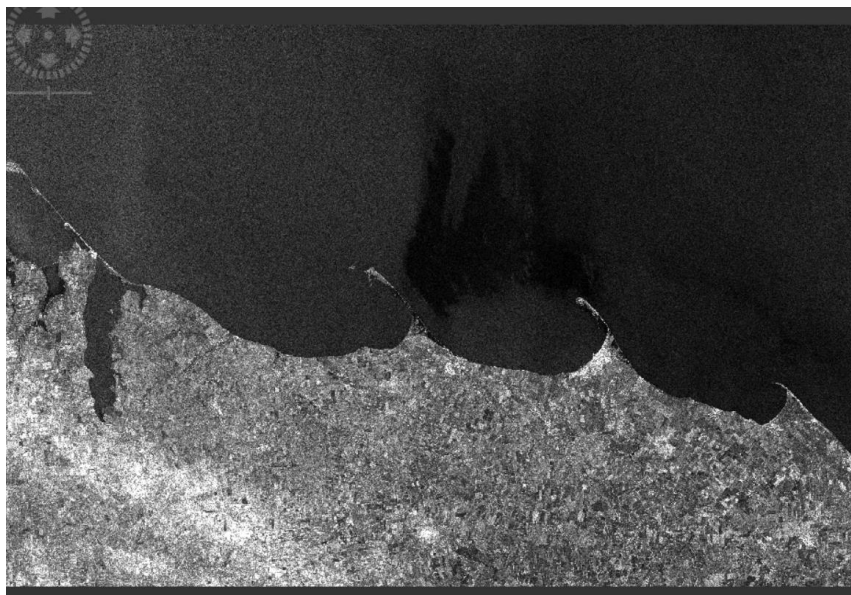


Рис. 3.9. Амплітудні дані Sentinel-1 для Азовського моря поблизу м. Бердянськ з сервісу scihub.copernicus.eu за 1 вересня 2022 року візуалізовані в SNAP

Далі насамперед для виявлення розливів було проведено фільтрацію даних для прибирання спекл шуму, а також переведено амплітудні значення в дБ . В результаті отримали оброблений знімок (Рис. 3.10).

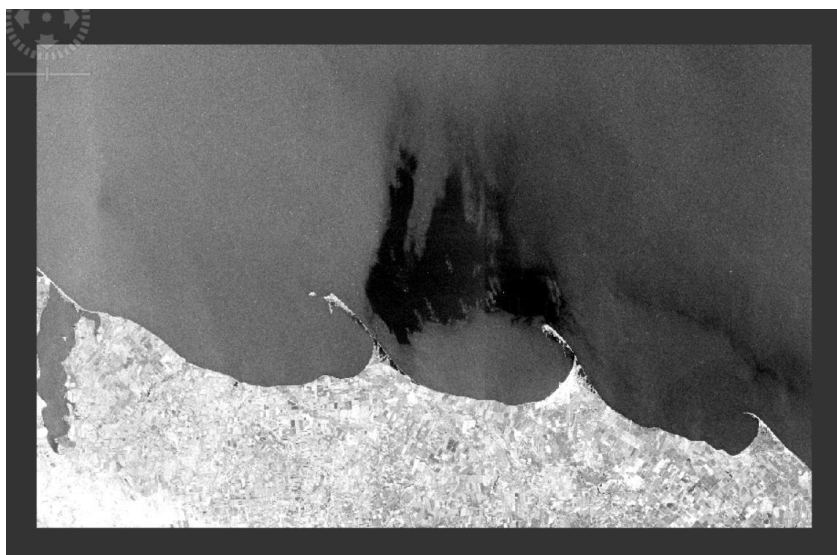


Рис. 3.10. Амплітудні дані Sentinel-1 для Азовського моря поблизу м. Бердянськ за 1 вересня 2022 року переведені в дБ і після фільтрації

Далі за методикою в Snap було використано інструментарій для виділення нафтових розливів, отримано маску розливу. Отриманий результат було експортовано в ArcGIS і векторизовано (Рис. 3.11).

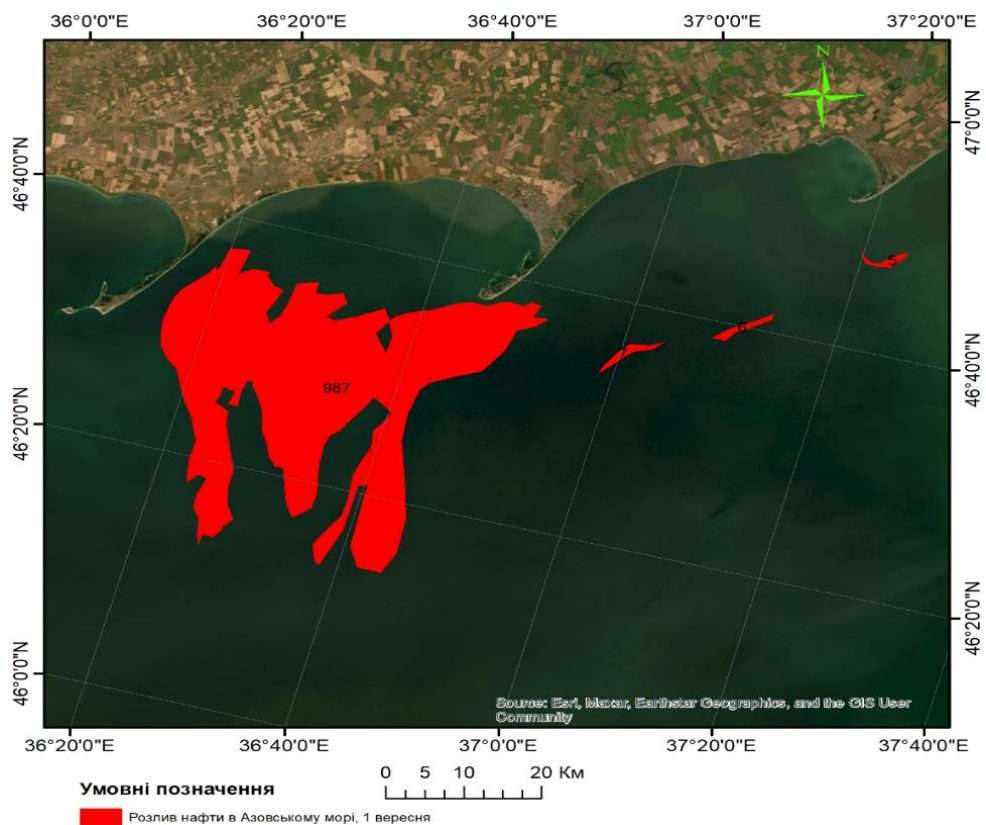


Рис. 3.11 Маска нафтових розливів експортована в ArcGIS і накладена на онлайн шар BaseMap станом на 1 вересня 2022 року в Азовському морі

Станом на 1 вересня 2022 року було виділено поблизу Бердянська нафтові розливи, що покривали ділянку в акваторії площею 986 км.кв.. Отже, можна говорити, що в результаті не визначених дій, ймовірно зі сторони агресора в Азовському морі відбувся розлив нафтопродуктів, що призвів до забруднення території.

Після визначення зони забрудненої нафтовим розливом було побудовано переріз (Рис. 3.12). В результаті можна спостерігати, що амплітудні значення є нижчими в районі розливу відносно незабрудненої ділянки. В даному випадку

чиста територія зі значеннями приблизно в межах 17,5 дБ , а значення забруднена від 13 до 15 дБ, на такий розкид впливає товщина нафтової плівки.

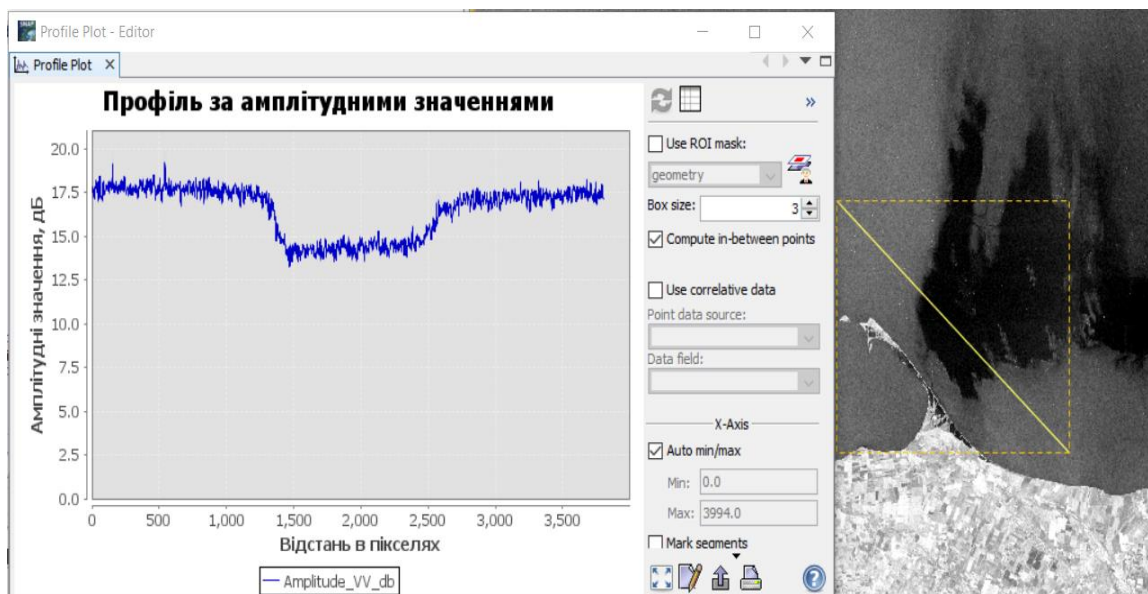


Рис. 3.12 Переріз за нафтовим розливом станом на 1 вересня 2022 року

Також варто промоніторити стан нафтового розливу з часом, для цього також було завантажено знімок за 17 вересня 2022 року для тієї ж території і додано в Snap (Рис. 3.13)

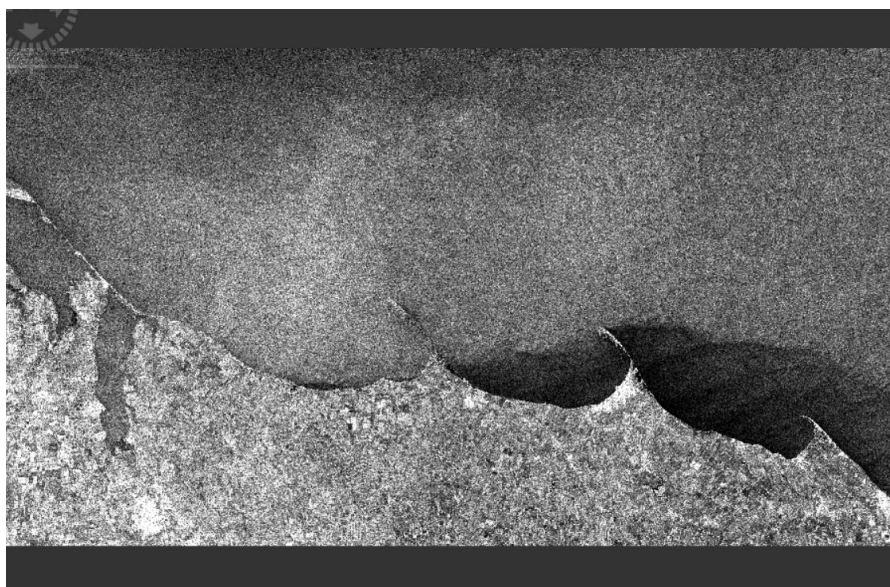


Рис. 3.13 Амплітудні дані Sentinel-1 для Азовського моря поблизу м. Бердянськ з сервісу scihub.copernicus.eu за 12 вересня 2022 року візуалізовані в SNAP

Далі насамперед для виявлення розливів було проведено фільтрацію даних для прибирання спекл шуму, а також переведено амплітудні значення в дБ. В результаті отримали оброблений знімок (Рис. 3.14)



Рис. 3.14 Амплітудні дані Sentinel-1 для Азовського моря поблизу м. Бердянськ за 12 вересня 2022 року переведені в дБ і після фільтрації

Далі за методикою в Snar було використано інструментарій для виділення нафтових розливів, отримано маску розливу. Отриманий результат було експортовано в ArcGIS і векторизовано (Рис. 3.15).

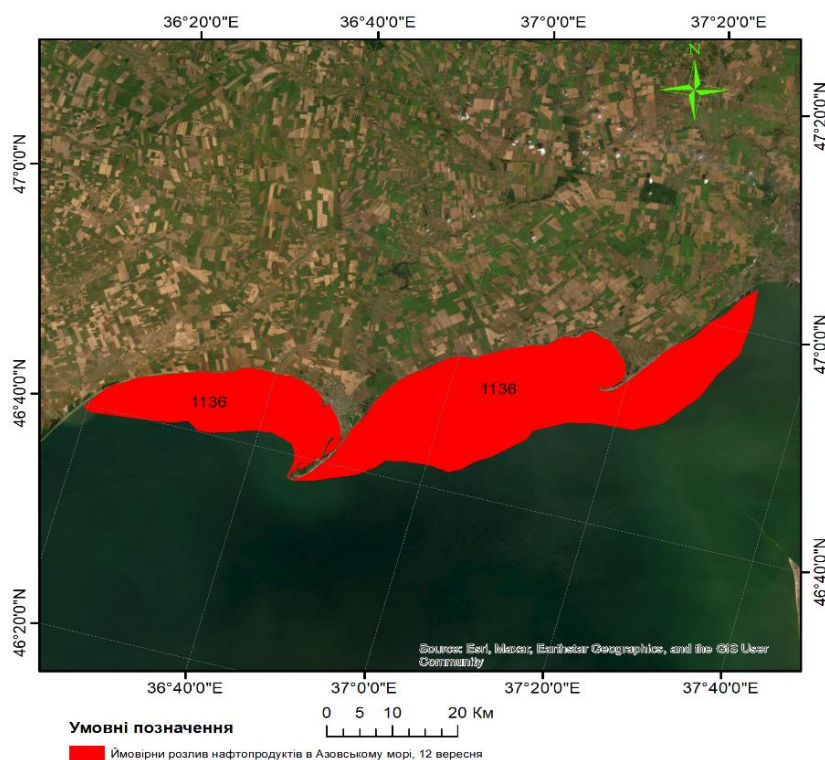


Рис. 3.15 Маска нафтових розливів експортована в ArcGIS і накладена на онлайн шар BaseMap станом на 12 вересня 2022 року в Азовському морі

Станом на 12 вересня ймовірно також спостерігається забруднення нафтопродуктами. Відбулося переміщення нафтової плями в прибережні ділянки і площа становила понад 1136 км. кв. Якщо порівнювати амплітудні значення з попередньою датою, то для території розливу вони дещо вищі і можна припускати з цього про меншу плівку нафтопродуктів поверх водойми.

ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена вивченню проблемам нафтових розливів, методиці їх виявлення та моніторингу з використанням методів дистанційного зондування Землі.

У розділі 1 наведені теоретичні відомості про природу нафтових розливів, їх наслідки для довкілля та здоров'я людей, а також методи їх виявлення та моніторингу.

У розділі 2 проведений огляд літератури про методи виявлення та моніторингу нафтових розливів, Також розглянуто методи виявлення та моніторингу нафтових розливів з використанням ДЗЗ, розглянуто інструментарій програмного забезпечення для здійснення вибір та аналіз даних, оброблено та проаналізовано дані.

У розділі 3 визначено методіку для пошуку розливів нафти в SNAP, а також проведено практичне дослідження, описано область дослідження, використано дані ДЗЗ для виявлення та моніторингу нафтових розливів в Азовському морі, а також проаналізовано результати.

У результаті аналізу методів виявлення та моніторингу нафтових розливів за допомогою ДЗЗ було встановлено, що радарні знімки є ефективним інструментом для даної задачі в межах водойм. Вони можуть забезпечити високу точність результату, зокрема за рахунок відображення змін рельєфу поверхні води.

Методика роботи в SNAP дає хорошу можливість отримання даних про нафтові розливи і їх моніторинг в автоматизованому режимі. Обраний інструментарій дозволяє отримати маску нафтового розливу на досліджувану територію.

За даною методикою було зроблено декілька практичних досліджень. Основне дослідження для Азовського моря за вересень 2022 року. Виявлено, що

в той період було нафтове забруднення акваторії з площею близько 1000 км. кв. і переміщення його з часом. Можна робити висновки про велике забруднення нафтою акваторії Азовського моря, що могло завдати великої шкоди навколишньому середовищу.

У процесі оцінки даної методики і інструментарію під час використання на реальних даних радарних знімків можна робити висновки про ефективність у виявленні та моніторингу нафтових розливів в акваторіях. Але також було виявлено мінуси, а саме це ефект схожості і вплив швидкості вітру на можливості коректного визначення розливів. Сміття і біологічні плівки можуть бути схожими на нафтові сліки. А також погодні умови, коли за низької вітряності виділити забруднення можливо лише при великому шару нафти.

Результати дослідження демонструють ефективність використання методів ДЗЗ для виявлення та моніторингу нафтових розливів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Моніторинг розливів нафти (2023), [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://stud.com.ua/136023/ekologiya/virobnichiy_ekologichniy_monitoring_avariy_nih_rozlivah_nafti_naftoproduktiv

Березовський, В. М. (2009). Дистанційне зондування Землі в екологічному моніторингу. Київ: Інститут геофізики НАН України.

Борисенко В. М., Луценко О. М. (2009). Використання супутникових даних в задачах моніторингу навколишнього середовища. Київ: Наукова думка.

ДЗЗ (2023), [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.wik-uk-ua.nina.az/%D0%94%D0%97%D0%97.html>

Дистанційне зондування Землі (2023), [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Дистанційне_зондування_Землі

Екологія (2011), [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://osvita.ua/vnz/reports/ecology/21232/>

Забруднення океанів нафтою (2023), [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.zoology.dp.ua/z13_023.html

Забруднення океану нафтопродуктами (2011), [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/naukpraci/ecology/2011/150-138-18.pdf>

Зацерковний В.І., Тішаєв І.В., Віршило І.В., Демидов В.К., (2016). Геоінформаційні системи в науках про Землю. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 510.

Методи ДЗЗ (2023), [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/view.php?id=187200&chapterid=53471>

Основи ДЗЗ (2019), [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://api.man.gov.ua/api/assets/man/6331858c-e004-4eec-93b1-9c363c90690b/>

Основи ДЗЗ: практичне застосування (2019), [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://api.man.gov.ua/api/assets/man/a5604a2e-2165-4e6e-9169-2c7cd2e03e24/>

Радіолокаційне знімання (2023), [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://innoter.com/services/obrabotka-radarnykh-dannykh/obrabotka-dannykh-radiolokatsii/>

Шевченко, В. М., Грищенко, В. В. (2013). Дистанційне зондування Землі в екологічному моніторингу. Київ: Видавничий дім "КМ-БУКС"

Alpers, W., Häusler, H. (2015). A Review of Spaceborne Synthetic Aperture Radar (SAR) Applications in Support of Oil Spill Response. Remote Sensing. Vol. 7, no. 10: 1949-1972.

ArcGIS. (2020), [Електронний ресурс]. - Режим доступу <https://en.wikipedia.org/wiki/ArcGIS>

Armitage, D., Mckee, D., Collins, M. (2006). The use of satellite imagery for oil spill response. Journal of Environmental Management. V. 80, no. 1: 16-21.

Biodiversity and Role of Animals in Ecosystems (2023), [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.zoology.dp.ua/wp-content/downloads/zoocenosis/Z_13_07.pdf

Deepwater Horizon (2023), [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon

DEM with Sentinel-1 (2023), [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20DEM%20generation%20with%20Sentinel-1%20IW%20Tutorial.pdf>

How Filter works. (2015), [Електронний ресурс]. - Режим доступу <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-filter-works.htm>

InSAR (2023), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://postminquake.eu/insar-satellite-radar-interferometry/>

Li, B., Wang, Y., Zhang, L., et al. (2016). Oil Spill Detection Based on Combination of Polarimetric SAR and Optical Images. Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. 54, no. 7: 4056-4069.

Machine Learning for Oil Spill (2020), [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/20/3338>

Oil Spill Sentinel-1 (2021), [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/698/1/012019/pdf>

Marine Oil Spill Detection from SAR (2022), [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/ijerph191912315>

Oil Spill Detection (2016), [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1347>

Oil spill over Arabian Gulf (2017), [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.eumetsat.int/oil-spill-over-arabian-gulf>

Oil Spill Research (2023), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www2.whoi.edu/site/chrisreddylab/oil-spill-research>

Sentinel Toolbox Overview (2023), [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://seadas.gsfc.nasa.gov/help8.1.0/general/overview/SnapOverview.html>

Sentinel-2 for mapping oil spill (2023), [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016121001205#bib0028>

Shao, W., Liu, Y., Liu, J., et al. (2019). Oil spill detection with the sentinel-1 and sentinel-2 sensors: a case study in the Bohai Sea, China. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 40, no. 16: 6260-6281

Speckle function (2022), [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/speckle-function.htm#GUID-A8F0F653-5BF1-4C58-9C2C-BDEE2B858FAE>

Sentinel Toolbox (2011), [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://seadas.gsfc.nasa.gov/help-8.1.0/general/overview/SnapOverview.html>

Terrain-Correct Sentinel-1 (2023) [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://asf.alaska.edu/how-to/data-recipes/how-to-radiometrically-terrain-correct-rtc-sentinel-1-data-using-s1tbx-script/>

Terrestrial oil spill mapping using satellite earth (2021), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721014869#bib2>

Wang, X., Xie, C., Han, Y., et al. (2019). Oil spill detection in high-resolution Gaofen-3 SAR images using convolutional neural networks. *Remote Sensing*. Vol. 11, no. 10: 1162

Zhang, J., Liu, J., Chen, Y., et al. (2016). A multi-temporal synthetic aperture radar (SAR) based method for detecting oil slicks on water surface. *Remote Sensing*. Vol. 8, no. 2: 138

Marine oil spil detection (2022), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/19/12315>

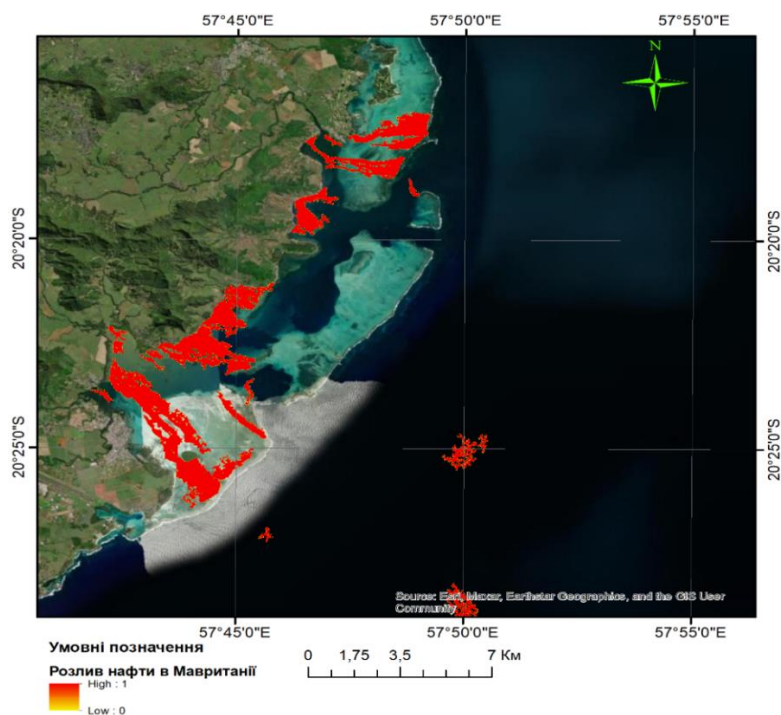
Mapping Using Sentinel 2 (2018), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2077-1312/6/1/4>

SNAP (2023), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>

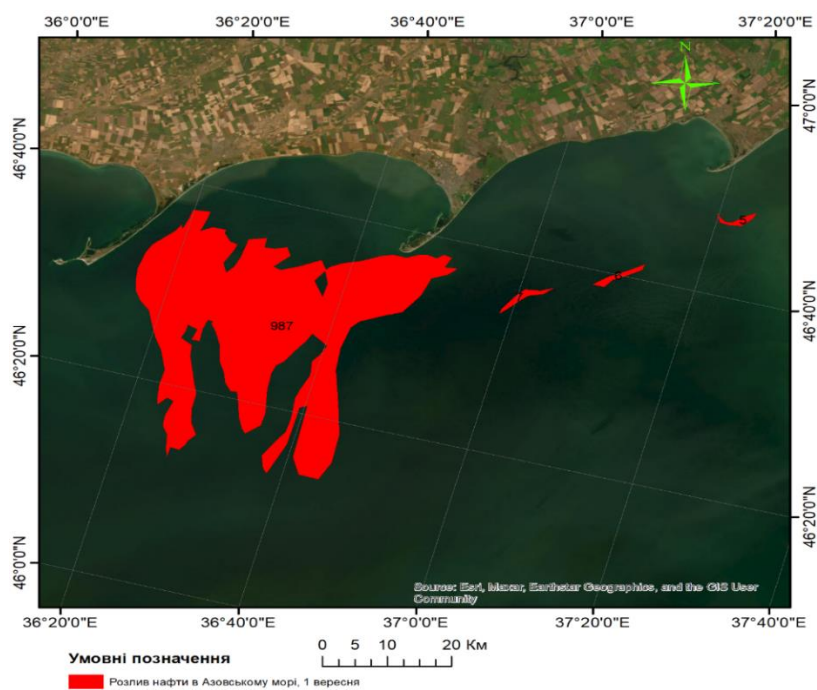
ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Маска нафтових розливів експортована в ArcGIS і накладена на онлайн шар BaseMap для берегової лінії Мавританії



Маска нафтових розливів експортована в ArcGIS і накладена на онлайн шар BaseMap станом на 1 вересня 2022 року в Азовському морі



Маска нафтових розливів експортована в ArcGIS і накладена на онлайн шар BaseMap станом на 12 вересня 2022 року в Азовському морі

