

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Б. В. Четверіков, І. В. Калинич

**МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ В ОЦІНЦІ НАСЛІДКІВ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Монографія

Львів
Видавництво Львівської політехніки
2022

Рецензенти:

Даценко Л. М., доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри геодезії та картографії Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Тревого І. С., доктор технічних наук, професор кафедри геодезії Національного університету “Львівська політехніка”;

Каблак Н. І., доктор технічних наук, професор кафедри міського господарства та будівництва Ужгородського національного університету

*Затвердила Вчена рада
Ужгородського національного університету
(протокол № 7 від 08.09.2022)*

Подано результати досліджень наслідків надзвичайних ситуацій, спричинених ураганами, землетрусами, пожежами та розливанням нафти за космічними знімками. Розглянуто методики оцінювання руйнацій за різночасовими космічними знімками в програмному пакеті ErdasImagine за допомогою інструментарію модуля DeltaCue, класифікації та онлайн-сервісів, а також за допомогою бібліотеки комп’ютерного зору OpenCV.

Для широкого кола фахівців, що займаються вивченням наслідків, спричинених стихійними лихами та надзвичайними ситуаціями через втручання людей.

ЗМІСТ

Передмова	5
Розділ 1. Методика визначення наслідків пожеж за допомогою даних ДЗЗ	9
1.1. Моніторинг пожеж за допомогою сервісу FIRMS.....	9
1.2. Застосування дерев рішень для класифікації об'єктів за даними ДЗЗ.....	16
1.3. Використання бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV для обробки растрових даних	18
1.4. Методика визначення наслідків пожеж за допомогою дерев рішень та бібліотеки OpenCV	20
1.5. Висновки до розділу 1	32
Розділ 2. Методика опрацювання різночасових космічних зображень для визначення площ розливів нафти	33
2.1. Огляд основних техногенних катастроф ХХІ століття	33
2.2. Досвід проведення супутникового моніторингу навколишнього середовища.....	37
2.3. Основні завдання моніторингу розливів нафти.....	48
2.4. Методика опрацювання різночасових космічних зображень для визначення площ розливів нафти	54
2.5. Висновки до розділу 2	69
Розділ 3. Визначення зон затоплень внаслідок ураганів за даними ДЗЗ	70
3.1. Класифікація стихійних лих за способом їх відображення на космічних знімках та вимоги до даних космічного знімання	70
3.2. Методи визначення змін об'єктів за космічними знімками	74
3.3. Методика визначення наслідків стихійних лих за різночасовими даними космічного знімання.....	79

3.4. Визначення зон затоплень за допомогою неконтрольованої класифікації.....	87
3.5. Висновки до розділу 3.....	90
Розділ 4. Методика визначення руйнацій, спричинених землетрусами, за різночасовими даними ДЗЗ	91
4.1. Основні характеристики землетрусів та приклади найбільших з них	91
4.2. Опис території досліджень та основні характеристики землетрусу	98
4.3. Методика визначення різницевих показників наслідків землетрусу за допомогою ПП Erdas Imagine	99
4.4. Висновки до розділу 4.....	109
Загальні висновки	110
Список літератури	112

ПЕРЕДМОВА

За останні десятиріччя відбулися масштабні землетруси, пожежі, техногенні катастрофи та цунамі, що завдали величезної шкоди міській і сільській місцевості світу. Також швидке розширення міських територій у країнах, що розвиваються, зробило регіони більш вразливими до різних стихійних лих. Останні досягнення в дистанційному зондуванні та застосування його технології дозволили використовувати ці дані для оцінки вразливості території та для фіксації розподілу збитків від катастроф. Щоб отримати інформацію до та після надзвичайної події, існує декілька методів, таких як польове обстеження, повітряне дистанційне зондування та супутникове дистанційне зондування. Завдяки його здатності охопити величезну площу за одне дослідження з часом супутникове дистанційне зондування стало дуже потужним інструментом стеження за станом земної поверхні. Супутникові знімки високої просторової розрізненності, які стали доступні в останні роки, зробили супутникове дистанційне зондування кориснішим у боротьбі зі стихійними лихами, оскільки навіть статус пошкоджень окремих будівель можна визначити без відвідування місць катастроф.

Космічні системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) забезпечують збір даних у глобальному масштабі з високою просторовою та спектральною розрізненністю, проте для досягнення успіху потрібна можливість не тільки доступу до масивів даних, а також їх швидка та якісна обробка. Моніторинг надзвичайних ситуацій (НС) та їх наслідків із використанням даних ДЗЗ потрібен для оперативного виявлення змін природних ландшафтів та забезпечення безпеки життєдіяльності населення. Для кожного регіону небезпечні природні явища мають свої особливості, пов'язані з територіальним розміщенням, природними умовами, геологічною будовою та антропогенними факторами. Все це пояснює необхідність опрацювання космічних знімків у комплексі з векторними картами, цифровими моделями рельєфу, погодними даними тощо. Для обробки та аналізу матеріалів космічного

знімання (оптичних та радіолокаційних), а також суміщення в єдиному геоінформаційному просторі різнорідних даних на українському ринку існують потужні програмні комплекси ErdasImagine, ENVI, ArcGIS тощо. Ці комплекси дозволяють на основі матеріалів супутникового знімання вирішувати широкий спектр завдань з моніторингу надзвичайних ситуацій.

Лісові пожежі залишаються одним з найпотужніших природних катастрофічних явищ. Своєчасне виявлення вогнищ загоряння та найповніше інформаційне забезпечення багато в чому визначають ефективність вжитих заходів щодо попередження та ліквідації загрози для економічно важливих об'єктів та населення прилеглих територій. Головними завданнями космічного моніторингу пожеж є оперативне визначення вогнищ пожеж та оцінка площ горіння.

Застосування космічного моніторингу повеней дозволяє отримати оперативну та достовірну інформацію щодо масштабів затоплення та постраждалих від повені ділянок, зокрема населених пунктів.

Під загрозою землетрусів перебувають великі території, часто густонаселені. Найбільша небезпека землетрусів полягає в їх несподіваності та невідворотності. Дослідження, спрямовані на пояснення причин землетрусів, зі змінним успіхом ведуться вже багато років. Проте наукові досягнення останніх років у геофізиці, сейсмології та інших суміжних науках наблизили вирішення завдання прогнозування землетрусів. Космічні системи моніторингу відкрили можливість безперервно та оперативно спостерігати за сейсмонезбезпечними регіонами й аномаліями, що у них виникають. Ці аномалії виявляються у всіх середовищах – літосфері, атмосфері та магнітосфері Землі. На сьогодні вивчено понад 200 провісників землетрусів, але жоден з них не є абсолютно надійним, хоча комплексне використання класів провісників іноді дозволяє вирішити завдання прогнозу – визначити місце, час та магнітуду землетрусу.

У монографії висвітлено дослідження, що стосуються землетрусів, техногенних катастроф, пожеж та затоплень, які виконувала група авторів упродовж десяти років.

У першому розділі подано реалізацію методики визначення наслідків пожеж за даними дистанційного зондування Землі на основі використання дерев рішень та бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV.

Другий розділ присвячено методиці опрацювання різночасових космічних зображень для визначення площ розливів нафти на прикладі Керченської протоки та Мексиканської затоки.

У третьому розділі описано методики визначення зон затоплень внаслідок ураганів за допомогою неконтрольованої класифікації та модуля визначення різницевих показників різночасових космічних знімків.

Четвертий розділ присвячено методиці оцінки наслідків землетрусів за допомогою програмного забезпечення Erdas Imagine.

Усі методи досліджень, подані в монографії, можна застосувати для моніторингу пошкоджень і руйнацій, завданих цивільній інфраструктурі внаслідок російської агресії.

Авторський колектив висловлює подяку за допомогу в проведенні досліджень О. Сороці, К. Онуфрак, О. Волоско, Н. Ковальчук.

Розділ 1

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАСЛІДКІВ ПОЖЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАНИХ ДЗЗ

1.1. Моніторинг пожеж за допомогою сервісу FIRMS

Уся система моніторингу лісових пожеж дозволяє:

- Ø здійснювати контроль лісопожежної ситуації;
- Ø оцінювати та надавати інформацію про параметри лісових пожеж: координати і площі осередків горіння, віддаленість вогнищ від об'єктів інфраструктури, напрям поширення пожеж;
- Ø виявляти зони та площі задимлення від лісових пожеж із зазначенням населених пунктів, які опинилися в зонах задимлення;
- Ø виявляти не лише активні лісові пожежі, але й пожежі в стадії початку їх розвитку;
- Ø визначати можливість виникнення лісових пожеж у тому чи іншому місці території, яку охороняють [1].

Сервіс FIRMS (The Fire Information for Resource Management System) (рис. 1.1) розроблений в університеті штату Меріленд і підтримується Національним агентством США із авіонавтики і дослідження космічного простору (NASA). У серпні 2010 р. на основі цього сервісу продовольча і сільськогосподарська організація ООН (FAO) запустила власний ресурс Global Fire Information Management System (GFIMS), визнавши FIRMS своїм базовим інструментом у моніторингу пожеж [2].

Система ґрунтується на тих самих загальнодоступних супутникових знімках, які використовує більшість систем оперативного супутникового моніторингу лісових пожеж у світі. Ті самі знімки використовуються інформаційною системою дистанційного моніторингу Федерального агентства лісового господарства. Система FIRMS є загальнодоступною, тобто її даними можуть користуватися не тільки

спеціально уповноважені організації, але і всі люди та організації, яким потрібна оперативна інформація про лісові пожежі. Система FIRMS не дозволяє виявляти дрібні лісові пожежі, але про середні й великі дає цілком якісну інформацію [3].

Система дозволяє отримувати оперативну інформацію про місцезнаходження пожеж (гарячі точки), таку як центри пікселів 1×1 км, на основі автоматичної реєстрації високого відбивання в теплових каналах спектра сонячного випромінювання знімків із камери MODIS (середньої розрізненості спектрорадіометра), встановленої на супутниках Terra і Aqua. Для моніторингу використовується стандартний продукт MODIS Земля MOD14/MYD14 (вогонь теплових аномалій).

Оперативні дані, представлені у вебінтерфейсі (Web Fire Mapper), доступні для скачування в різних форматах (Active Fire Data), можуть бути вислані електронною поштою (e-mail Alerts). Сервіс надає доступ до вихідних зшитих знімків (MODIS Subsets) програми MODIS Rapid Response System, де завантажено архів у зручному форматі для перегляду синтезації каналів.

Переваги та недоліки використання сервісу FIRMS

Перевагами використання інформаційного сервісу FIRMS є:

- оглядовість (дані надаються на всю земну поверхню);
- регулярність отримання даних (декілька разів на день);
- точність прив'язки до місцевості;
- незалежність наданої інформації;
- легкість використання користувачами мережі Інтернет;
- доступ до зшивання вихідних знімків на території в зручній синтезації каналів.

Недоліки використання сервісу FIRMS пов'язані з низькою просторовою розрізненістю вихідних знімків, автоматичними алгоритмами обробки і затримкою надання отриманої інформації, що не дозволяє відстежувати пожежі в режимі реального часу. Сервіс не дозволяє відрізнити пожежу від будь-яких інших джерел теплового випромінювання (на підприємствах, територіях нафтовидобутку тощо).

Оперативні знімки MODIS, що використовуються для моніторингу, не дозволяють детектувати слабкі, низькотемпературні, короточасні, невеликі за площею пожежі. Результати моніторингу залежать від погодних умов (хмарності, дощу).

Дані завантажуються із затримкою в 5–10–18 годин, при цьому в одному шарі відображаються дані на різний час протягом останньої доби. Завантажити можна тільки відносно свіжі пожежі – доступ до архівів не реалізований. Векторний шар пожеж не відображає реальні контури згорілих територій, а лише показує центри квадратів зі стороною 1 км. При цьому пожежа може займати не всю площу пікселя.

Таким чином, система дає цілком якісну інформацію про верхові і сильні низові пожежі. Однак для моніторингу деяких торф'яних і трав'яних пожеж вона не завжди зручна.

Можливості FIRMS для оперативного виявлення пожеж і виявлення спалених територій

Найшвидше відстежити пожежі можна на онлайн-карті (вкладка Web Mapping Services) Web Fire Mapper. На ній точками відображаються пожежі (fires) за останні 24, 48, 72 години, 7 днів або довільно з камер Terra і Aqua при виборі як джерела даних Modis Rapid Response. Підкладкою (backgroundimages) може слугувати карта рельєфу, річок або сцена безхмарних знімків MODIS із просторовою розрізненністю 500 м (у 1 пікселі вміщається територія 500×500 м). Додатково можна показати кордони країни, населені пункти і природні території під особливою охороною (вкладка layers). До недоліків веб-версії можна віднести неможливість завантаження даних, незручність навігації, повільне завантаження файлів, відсутність масштабної лінійки і знімків високої розрізненності в підкладці. Влітку 2010 р. на Web Fire Mapper з'явилася функція візуалізації щомісячних масок спалених територій з квітня 2000 р.



Рис. 1.1. Вікно сервісу FIRMS

Оперативне виявлення пожеж у масштабах країни

Найзручніше виявляти місця розташування пожеж, довантажуючи їх у ГІС програми або на геосервери (наприклад, в Google Earth) (рис. 1.2). У другому випадку на комп'ютері має бути встановлений додаток “Googl eEarth”. У головному меню FIRMS знаходиться вкладка Active Fire Data і вибирається зручний формат даних, shp або kml. Дані доступні для скачування в першому випадку за останні 7 днів, 48 і 24 години, у другому – тільки за останні 48 і 24 години. Якщо потрібні дані за більш ранній період (за останні 2 місяці) – їх завантажують у вигляді текстового файлу з ftp сервера, відправивши анкету в групу з розробки. Оновлення на сайті відбувається 3–4 рази на добу. Дані про пожежі розподілені за регіонами. Дані містять інформацію про камеру, координати, дату і час реєстрації, поріг довіри детектування (%).

FIRMS
FIRE INFORMATION FOR RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM

Home
About
Web Mapping Services
Email Alerts
Active Fire Data
Burned Area ^{New!}
MODIS Subsets
Resources
Publications
FAQs
Links

Active fire/hotspot KML
Keyhole Markup Language (KML) is available for the last 24 hours and 48 hours. The KML are updated every hour starting at 01:00 ET (USA). An [auto-updating KML](#) is also available for visualization of MODIS active fire/hotspot detections for most parts of the world for the last 24 hours. The KML automatically refreshes every 2 hours and downloads the latest available MODIS active fire/hotspot detections.

Active fire/hotspot KML time series
FIRMS is offering an experimental version of MODIS KML time series showing active fire/hotspot detections by animating the location of fires that have occurred in the region in the last 48 hours.
For further information regarding MODIS active fire/hotspot detections, please visit the [FAQ](#) section.

World	Auto-updating KML
	24 Hours 48 Hours Time Series
Alaska	24 Hours 48 Hours Time Series
Australia and New Zealand	24 Hours 48 Hours Time Series
Canada	24 Hours 48 Hours Time Series
Central America	24 Hours 48 Hours Time Series
Congo Basin	24 Hours 48 Hours Time Series
Europe	24 Hours 48 Hours Time Series
Mozambique	24 Hours 48 Hours Time Series
Namibia	24 Hours 48 Hours Time Series
Northern Africa	24 Hours 48 Hours Time Series

Рис. 1.2. Вікно вибору країн для моніторингу у сервісі FIRMS

При візуалізації місцеположення пожеж у GoogleEarth (рис. 1.3) можна налаштувати зовнішній вигляд значків. Для цього вибирають назву шару, наприклад, *Russia an dAsia 24h MODIS Hotspots*, у властивостях якого можна поміняти назву шару, а також виставити розмір.

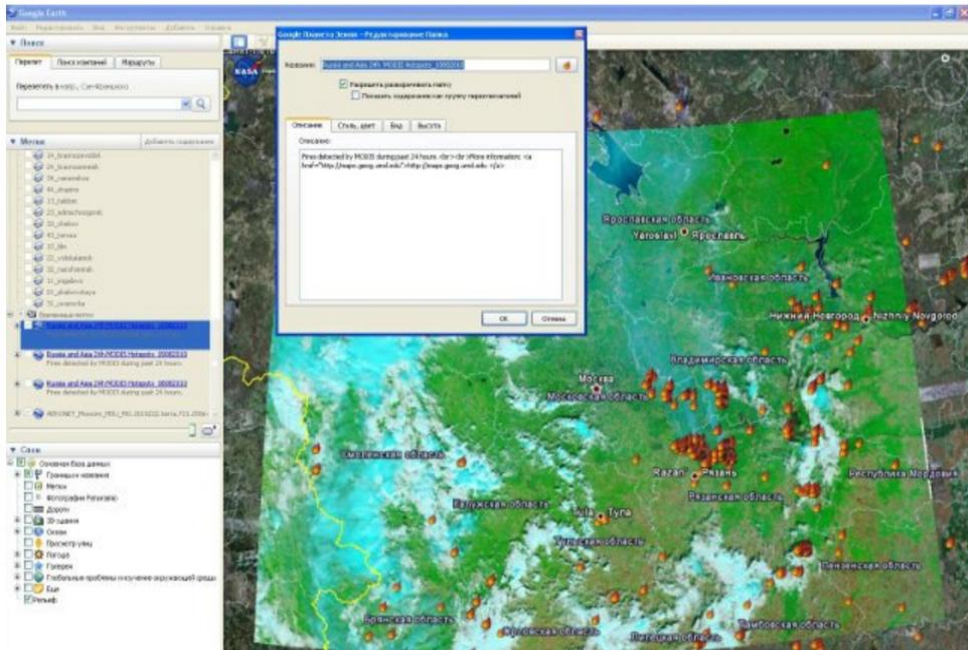


Рис. 1.3. Візуалізація даних у GoogleEarth (взято з мережі Інтернет)

Щомісячна оцінка пройденої пожежами території

Нова функція системи FIRMS – карта згорілих територій (на основі продукту MODIS – MCD45A1). Вона являє собою щомісячне грід-покриття (зображення, в якому номінальною одиницею є піксель/квадрат заданого розміру). Всі пікселі (спалені території) розфарбовані відповідно до легенди залежно від часу пожежі (шкала з днями місяця) (рис. 1.4). Перейти на неї можна з окремої вкладки меню Burned Area або безпосередньо на онлайн-карті. За допомогою цього можна прочитати про методику, відкрити дані на онлайн-карті й завантажити дані у форматі geotiff і hdf з вихідного сайту MODIS Active Fire and Burned Area Products. Сервіс був запущений в серпні 2010 р.

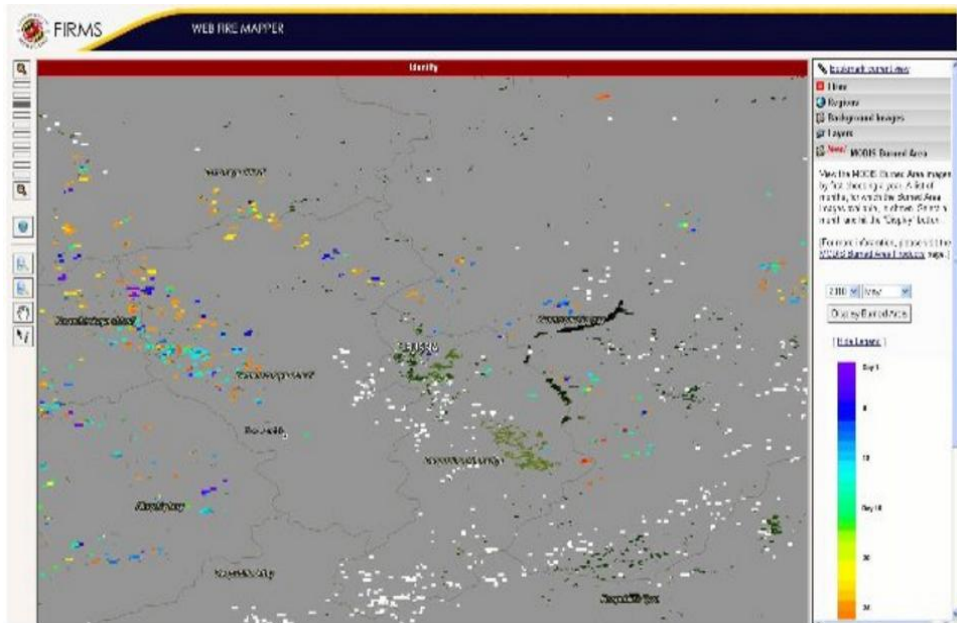


Рис. 1.4. Вікно території України з місцями виникнення пожежі

Доступ до знімків MODIS

Система FIRMS також дозволяє користувачеві без складнощів, пов'язаних з попередньою обробкою знімків, побачити знімки, які є першоджерелами даних про пожежі з сайту *MODIS Rapid Response System*. Для цього використовують пункт меню *Modis Subsets*. На карті вибирають необхідний “квадрат”.

Повідомлення про пожежі на e-mail.

Є можливість налаштувати автоматичне повідомлення про пожежі в її межах і в радіусі 5/10/15 км. На електронну пошту щодня надходитиме інформація, що містить текстові дані про координати нових згорілих площ і зображення їхнього місцеположення [2].

1.2. Застосування дерев рішень для класифікації об'єктів за даними ДЗЗ

Розвиток комп'ютерних технологій дозволяє спростити процедури виявлення та розпізнавання об'єктів місцевості на космічних знімках і перейти від візуального дешифрування до автоматизованого, що прискорює проведення географічного аналізу зображень. В наш час розроблено велику кількість алгоритмів автоматизованого дешифрування (класифікації космічних знімків), під яким розуміють процес розбиття пікселів зображення на класи, на однорідні за деяким критерієм області [4].

Дерева рішень – це спосіб представлення правил в ієрархічній, послідовній структурі, де кожному об'єкту відповідає єдиний вузол, що надає розв'язок. Усі завдання, які вирішуються за допомогою цього способу, об'єднуються у три класи:

• *Опис даних.* Дерева рішень дозволяють зберігати інформацію про дані в компактній формі, замість них можна зберігати дерево рішень, яке містить точний опис об'єктів.

• *Класифікація.* Дерева рішень відмінно справляються з завданнями класифікації, тобто віднесення об'єктів до одного з задалегідь відомих класів. Цільова змінна повинна мати дискретні значення.

• *Регресія.* Якщо цільова змінна має безперервні значення, дерева рішень дозволяють встановити залежність цільової змінної від незалежних (вхідних) змінних. Наприклад, до цього класу відносяться завдання чисельного прогнозування (передбачення значень цільової змінної).

На сьогодні існує значна кількість алгоритмів, що реалізують дерева рішень CART, C4.5, NEWID, ITrule, CHAID, CN2 і т.д. Але найбільшого поширення і популярності набули два:

• *CART* (Classification and Regression Tree) – це алгоритм побудови бінарного дерева рішень – дихотомічної класифікаційної моделі. Кожен вузол дерева при розбитті має тільки двох нащадків. Як видно з назви алгоритму, він вирішує завдання класифікації і регресії.

• *C4.5* – алгоритм побудови дерева рішень, кількість нащадків у вузла не обмежена. Цей алгоритм не вміє працювати з безперервним цільовим полем, тому вирішує тільки завдання класифікації.

Якщо атрибут був один раз вибраний і по ньому було виконано розбиття на підмножини, то алгоритм не може повернутися назад і вибрати інший атрибут, який дав би краще розбиття. Тому на етапі побудови не можна сказати, чи дасть вибраний атрибут оптимальне розбиття.

Для побудови дерева на кожному внутрішньому вузлі необхідно знайти таку умову (перевірку), яка б розбивала множину, асоційовану з цим вузлом, на підмножини. Для такої перевірки повинен бути вибраний один з атрибутів. Загальне правило для вибору атрибута можна сформулювати так: обраний атрибут повинен розбити множину так, щоб одержувані внаслідок підмножини склалися з об'єктів, що належать до одного класу, або були максимально наближені до цього, тобто кількість об'єктів з інших класів у кожній з цих множин була якомога меншою. Основними критеріями є теоретико-інформаційний та статистичний критерії.

Теоретико-інформаційний критерій

Алгоритм С4.5 використовує теоретико-інформаційний підхід. Для вибору найпридатнішого атрибута пропонується такий критерій:

$$Gain(X) = Info(T) - Info_x(T), \quad (1)$$

де $Info(T)$ – ентропія множини T , а

$$Info_x(T) = \sum_{i=1}^n \frac{|T_i|}{|T|} * Info(T_i), \quad (2)$$

Множини $T_1, T_2 \dots T_n$ отримані при розбитті вихідної множини T з перевірки X . Вибирається атрибут, який дає максимальне значення за критерієм (1).

Уперше цю міру запропонував Р. Куінлен у розробленому ним алгоритмі ID3.

Статистичний критерій

Алгоритм CART використовує так званий індекс GINI, який оцінює “відстань” між розподілами класів.

$$Gini(c) = 1 - \sum_j p_j^2, \quad (3)$$

де c – послідовний вузол; а p_j – ймовірність класу j у вузлі c [5].

Первинною ознакою при класифікації об'єктів космічних знімків є яскравість пікселів у різних спектральних діапазонах знімання. Як вторинні ознаки використовуються характерний розмір, форма і текстура об'єктів. Отримане в результаті зображення називається тематичною картою, на якій кожному кольору відповідає певний клас об'єктів [6].

Тематична класифікація за допомогою дерев рішень складається з чотирьох основних етапів:

- підготовка класифікуючих (растрових) даних;
- збір та підготовка тестових даних;
- класифікація тестових даних – створення моделі (дерева);
- застосування моделі до класифікованих даних – отримання результату [7].

1.3. Використання бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV для обробки растрових даних

Для опрацювання растрових даних можна використовувати бібліотеку комп'ютерного зору OpenCV.

OpenCV (англ. *Open Source Computer Vision Library*) – бібліотека функцій та алгоритмів комп'ютерного зору, опрацювання зображень і чисельних алгоритмів загального призначення з відкритим кодом. Бібліотека надає засоби для опрацювання і аналізу вмісту зображень, у тому числі розпізнавання об'єктів на знімках (наприклад, осіб і фігур людей, тексту тощо), відстежування руху об'єктів, перетворення зображень, застосування методів машинного навчання і виявлення загальних елементів на різних зображеннях.

Бібліотека розроблена компанією Intel і нині підтримується Willow Garage та Itseez. Основний код бібліотеки написаний мовою C++ і поширюється під ліцензією BSD. Біндинги підготовлені для різних мов програмування, таких як Python, Java, Ruby, Matlab, Lua та

інших. Може вільно використовуватися в академічних та комерційних цілях.

Офіційно проект OpenCV був запущений у 1999 р. за ініціативою Intel Research з метою розвивати CPU-ресурсомісткі додатки. Основними вкладниками у проект була Intel's Performance Library Team та певна кількість експертів з чисельної оптимізації. На перших етапах розвитку OpenCV основними задачами бібліотеки були:

- Ø розвивати дослідження у напрямку комп'ютерного зору, забезпечуючи добре оптимізований та відкритий код бібліотеки;

- Ø поширювати знання у сфері комп'ютерного зору, забезпечуючи загальну інфраструктуру, яку б могли розвивати розробники, і код ставатиме легшим для сприйняття та обміну;

- Ø розвивати основані на роботі з комп'ютерним зором комерційні додатки, створюючи незалежну від платформи, оптимізовану та безкоштовну бібліотеку. Для цього використовувалася ліцензія, яка не вимагала від таких комерційних додатків бути відкритими.

Перша альфа-версія OpenCV була оприлюднена на IEEE конференції з комп'ютерного зору й розпізнавання образів у 2000 р., і п'ять бета-версій було випущено у період між 2001 і 2005 рр. Перша версія 1.0 була випущена у 2006 р. У середині 2008 р. OpenCV отримала корпоративну підтримку від Willow Garage і знову перейшла у стадію активної розробки. Передрелізна версія 1.1 була випущена у жовтні 2008 р.

Другий великий випуск OpenCV відбувся у жовтні 2009 р. OpenCV2 включала у себе серйозні зміни у інтерфейсі C++. Ці зміни спрямовані на простіші моделі, додавання нових функцій, і кращу реалізацію існуючих моделей у плані швидкодії (особливо на багатоядерних системах). Офіційні релізи надалі відбуваються кожні 6 місяців.

У серпні 2012 р. підтримку OpenCV було передано некомерційній організації OpenCV.org.

Бібліотека містить понад 2500 оптимізованих алгоритмів, серед яких повний набір як класичних, так і практичних алгоритмів машинного навчання і комп'ютерного зору. Алгоритми OpenCV застосовують у таких сферах, як аналіз та опрацювання зображень; системи з розпізнавання обличчя; ідентифікації об'єктів; розпізнавання жестів у відео; відстежування переміщення камери; побудова 3D моделей об'єктів; створення 3D хмар точок із стереокамер; склеювання зображень між собою для створення зображень усієї сцени з високою просторовою розрізненістю; системи взаємодії людини з комп'ютером; пошуку схожих зображень із бази даних; усунення ефекту червоних очей при фотозніманні зі спалахом; стеження за рухом очей; аналіз руху; ідентифікація об'єктів; сегментація зображення; трекінг відео; розпізнавання елементів сцени і додавання маркерів для створення доповненої реальності.

OpenCV написана на C++ і її основний інтерфейс також реалізовано на C++, але бібліотека і досі представляє старий інтерфейс. На сьогодні реалізовано інтерфейс на мовах Python, Java і MATLAB / OCTAVE (починаючи з версії 2.5). API для цих інтерфейсів можна знайти в онлайн-документації. Оболонки для інших мов, таких як C#, C#, Ruby, були розроблені з метою охоплення ширшої аудиторії.

Усі нові розробки та алгоритми OpenCV зараз розробляються у C++ інтерфейсі [8].

1.4. Методика визначення наслідків пожеж за допомогою дерев рішень та бібліотеки OpenCV

Для реалізації методики визначення наслідків пожеж за допомогою дерев рішень та бібліотеки OpenCV нами запропонована технологічна схема, що подана на рис. 1.5.

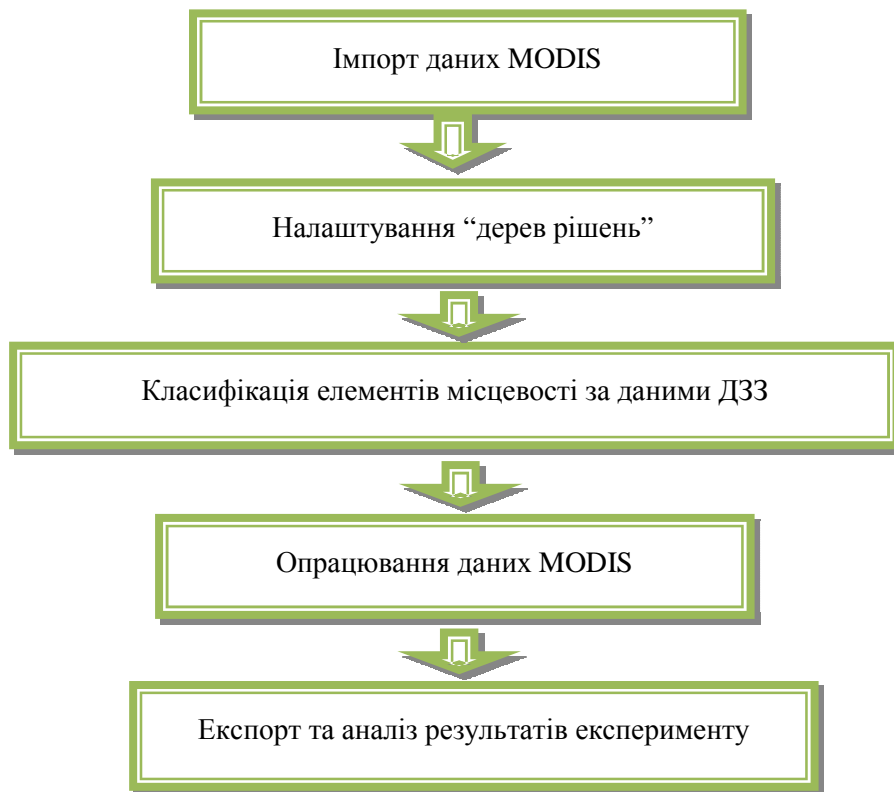


Рис. 1.5. Технологічна схема визначення площ спалених територій за даними MODIS

Між селами Коблиця і Великий Ліс Бородянського району на території “Іванківського агролісу” і “Клавдієвського лісгоспу” о 16.30 31 серпня 2015 р. виникла пожежа хвойного лісу на площі близько 24 га. Станом на 3 вересня пожежа тривала [9]. На рис. 1.6 подано фрагментарну фотофіксацію цієї пожежі.

Враховуючи ці дані, отримано космічне зображення, відзняте системою MODIS у цей період. На рис. 1.7 та 1.8 наведено дані щодо пожеж на території України у вересні 2015 р. за даними системи MODIS [10].



Рис. 1.6. Фотофіксація пожежі у Бородянському районі Київської області

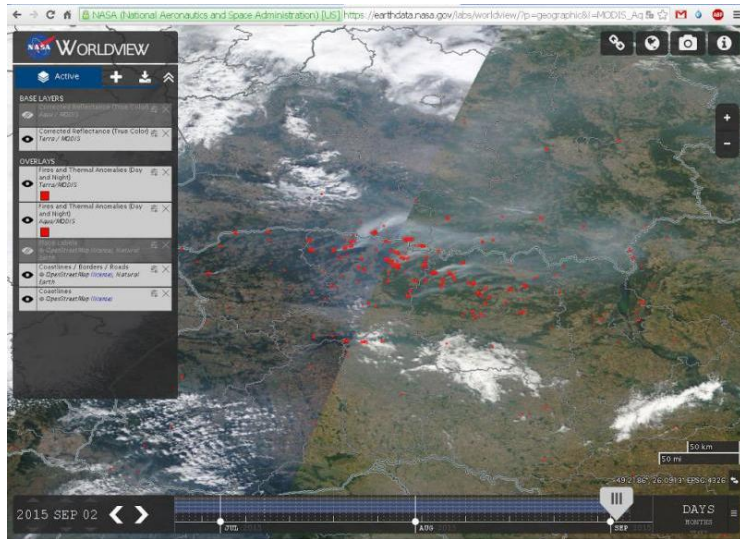


Рис. 1.7. Розташування природних пожеж в Україні станом на 2 вересня за даними ДЗЗ



Рис. 1.8. Розташування та щільність природних пожеж протягом 1–3 вересня 2015 р. в Україні та сусідніх країнах за даними ДЗЗ (MODIS)

Дані про земну поверхню генеруються у ряді груп продуктів на базі даних MODIS. Інформація зі спектро радіометра MODIS передається на наземні станції безперервно та безкоштовно. Готовність даних – протягом години після прийому. Отримання даних залежно від широти сцени і з урахуванням одночасної роботи MODIS на двох супутниках (Terra і Aqua) – 4–6 разів на добу, ширина смуги огляду – 2300 км. Знімання тепловою апаратурою MODIS з просторовою розрізненістю 1000 м дає можливість виявити осередок пожежі площею від 1 га або підземну пожежу площею від 9 га. В табл. 1.1 подані технічні характеристики цієї системи [11, 12].

Таким чином, за отриманими даними після пожежі під Києвом із знімальної системи MODIS можна виконувати реалізацію технологічної схеми.

Технічні характеристики даних MODIS

Назва	MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)
Тип	електронно-оптична система
Країна	США
Розробник	
Носій	<u>Aqua, Terra</u>
Смуга охоплення, км	2330
Можливість стереознімання	немає
Джерело даних	<u>EarthObservingSystemDataGateway</u>

За технологічною схемою першим пунктом для реалізації нашої задачі необхідно перевести отримані дані MODIS на Бородянський район з формату HDF, у якому вони поставляються, в графічний формат, що містить географічну прив'язку GeoTIFF.

Для цього використано спеціальну програму Modis Tool.

У полі *Output File* вказуємо назву вихідного файлу з розширенням *.tiff. У полі *Output File Type* вибираємо GEOTIFF, а у полі *Resampling type* – метод найближчого сусіда *Nearest Neighbor*. Після цього необхідно вибрати тип вихідної проекції, в цьому випадку вибрано *Geographic* (рис. 1.9).

У параметрах проекції *Edit projection parameters* задаємо датум WGS 84.

У вибраних діапазонах *Selected bands* кількість назв цих діапазонів дорівнює кількості вихідних зображень tiff (рис. 1.10).

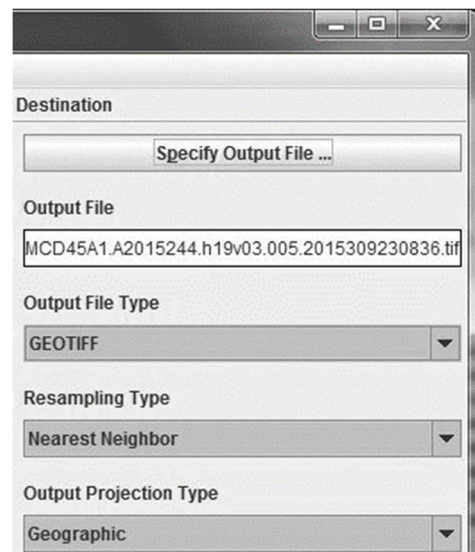


Рис. 1.9. Вікно вибору вихідних типів даних

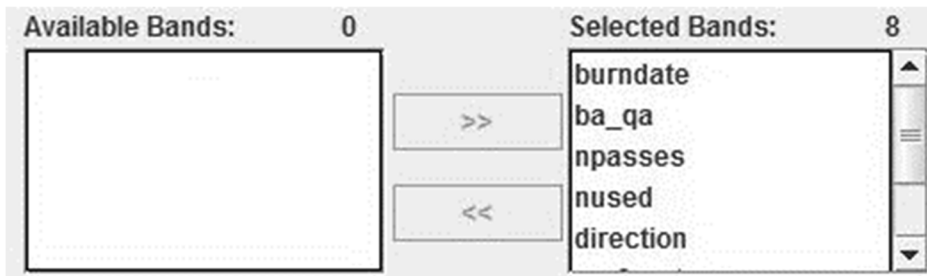


Рис. 1.10. Вибрані діапазони Selected bands

Завершальною дією імпорту даних є застосування команди *Convert format*, в результаті чого отримуємо зображення у форматі GeoTIFF. Вікно конвертації даних подано на рис. 1.11.

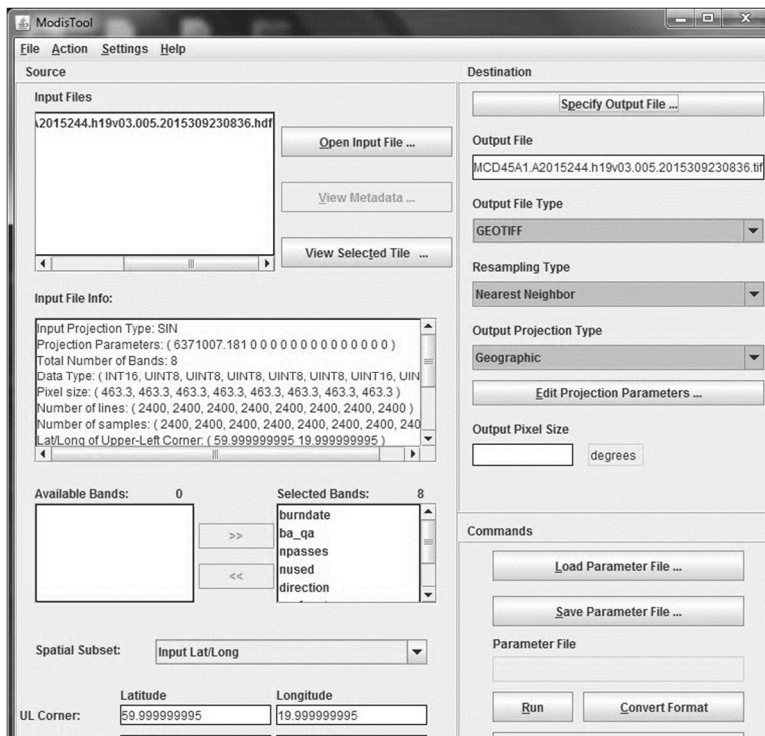


Рис. 1.11. Вікно конвертації даних MODIS

Наступним кроком після трансформування даних є безпосередня класифікація знімка Бородянського району за допомогою бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV.

Цей процес умовно поділяється на три етапи:

- розпізнання зображення;
- візуалізація;
- експорт результатів.

У систему, на якій заздалегідь була встановлена програма Microsoft Visual Studio та під'єднана бібліотека комп'ютерного зору OpenCV (рис. 1.12), завантажено перетворений раніше знімок у форматі GeoTIFF. Це зображення зберігається в OpenCV у матричному вигляді. Для цього використовується клас Mat, як головний клас для роботи із зображеннями в OpenCV.

```
Mat modisBand = imread("Borod_raj_b01.tif",  
CV_LOAD_IMAGE_UNCHANGED); //читаємо зображення з файлу "  
Borod_raj.tif" та записуємо його в матрицю modisBand
```

У цьому випадку завантажено перший канал знімка. Аналогічно завантажуюмо решту каналів на 30 серпня до початку пожежі та ті самі канали станом на 5 вересня, після пожежі. В результаті отримуємо 14-канальну прямокутну матрицю з 14 елементів:

```
vector<Mat> allBands;  
allBands.push_back(modisBand);  
... //під'єднуємо всі канали в allBands  
Mat data;  
merge(allBands, data); //об'єднуємо всі канали в одну матрицю data
```

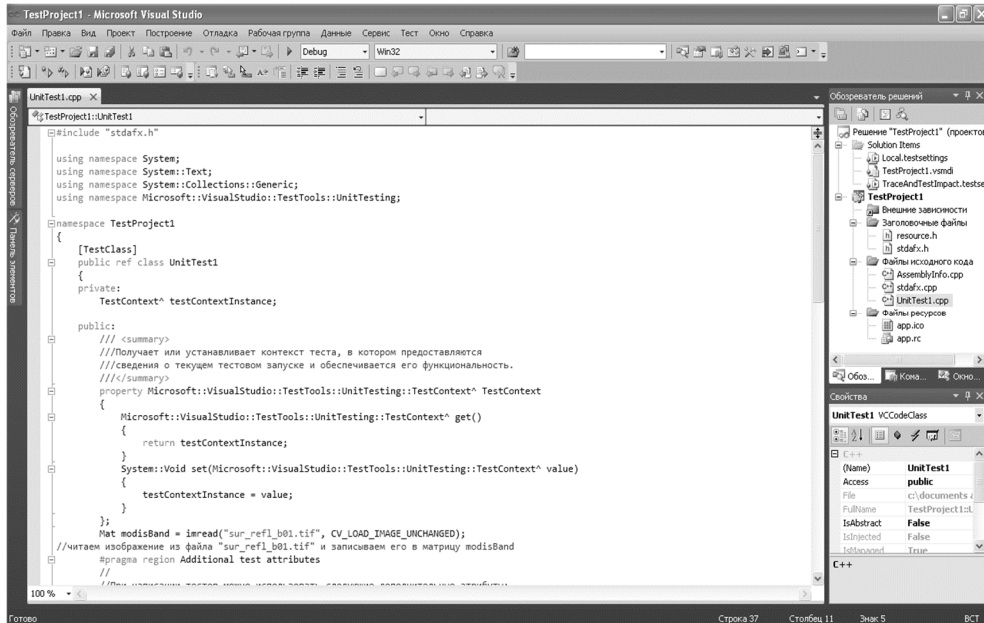


Рис. 1.12. Вікно робочого простору програми Microsoft Visual Studio

Для налаштування дерев рішень та валідації отриманих результатів необхідна інформація про спалені за цей період території. Для цього здійснено операції, що виконуються попіксельно, а саме:

```
Mat burnDate = imread(burnDateFilename,
CV_LOAD_IMAGE_UNCHANGED);
//елемент матриці burnDate містить інформацію про дату пожежі, що
відбулась у відповідному пікселі
Mat unburnedArea = (burnDate == 0);
// елемент матриці unburnedArea буде рівний 255, якщо піксел не згорів
(дата пожежі = нулю), та 0 в протилежному випадку.
uint16_t minBurnDay = 238; //30 серпня
uint16_t maxBurnDay = 248; //5 вересня
```

```
Mat burnedArea = (burnDate >= minBurnDay) & (burnDate <=
maxBurnDay); //елемент матриці burnedArea = 255, якщо в ньому за цей
період була пожежа, та 0 як ні
```

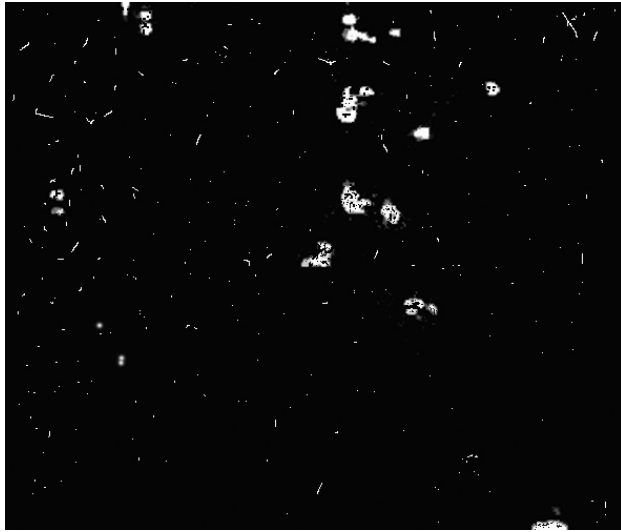
Наступним кроком виконано розпізнання зображення через його класифікацію за допомогою ансамблю дерев рішень:

```
int rowsCount = testData.rows;
//кількість строчок в матриці testData = кількості пікселів, що
класифікуються
Mat prediction = Mat(rowsCount, 1, CV_32SC1);
//створюємо матрицю розміром rowsCount x 1 та типом int
for(int i=0; i<rowsCount; i++)
{ Mat sample = testData.row(i);
  prediction.at<int>(i, 0) = classifier.predict(sample);
  //записуємо результат класифікації в елемент (i, 0) матриці prediction }
```

Далі виконується процес постобробки зображення. Щоб правильно розпізнати сусідні пікселі спалених територій, використано операції математичної морфології:

```
dilate(predictedBurnedArea, predictedBurnedArea, Mat(), Point(-1, -1), 5);
//нарощуємо піксел в 5 раз. Використовується квадратний елемент за
замовчуванням 3x3
erode(predictedBurnedArea, predictedBurnedArea, Mat(), Point(-1, -1), 7);
//застосовуємо ерозію в 7 крат
dilate(predictedBurnedArea, predictedBurnedArea, Mat(), Point(-1, -1), 3);
// застосовуємо нарощування в 3 рази
```

Результати цієї обробки подано на рис. 1.13.



a



б

Рис. 1.13. Результати опрацювання знімка з пожежами в Бордянському районі (білим кольором вказані території, що згоріли): а – до морфології; б – після морфології

Для оцінки якості класифікації було підраховано матрицю помилок:

```
vector<vector<Point>> contours;
//масив для віднайдених контурів
findContours(burnedArea, contours, CV_RETR_LIST,
CV_CHAIN_APPROX_NONE);
//знаходження контурів за маскою території, що вигоріли
drawContours(trueColorImage, contours, -1, Scalar(0, 0, 255), 2);
//контури червоною лінією з товщиною 2
namedWindow("burned area contours", CV_WINDOW_NORMAL);
//створити вікно "burned area contours"
imshow("burned area contours", trueColorImage);
//показати зображення в цьому вікні
waitKey();
//відобразити зображення поки не натиснуть будь -яку клавішу
```

Останнім кроком був експорт отриманих результатів у файл з розширенням tif:

```
imwrite("burnedArea.tif", trueColorImage);
```

У табл. 1.2 подана розрахована нами матриця помилок для ансамблю дерев рішень.

Таблиця 1.2

Матриця помилок для ансамблю дерев рішень

		Прогнозований клас території, пік.	
		Неспалена	Спалена
Реальний клас території, пік.	Неспалена	124367	52654
	Спалена	343	11589

Використовуючи ансамбль дерев рішень, було віднайдено 97 %. Отже, за знімком MODIS спалена частина території Бородянського району займає 9 % знімка.

Також на рис. 1.14 подано саме побудоване зображення з оконтуреними територіями пожеж.

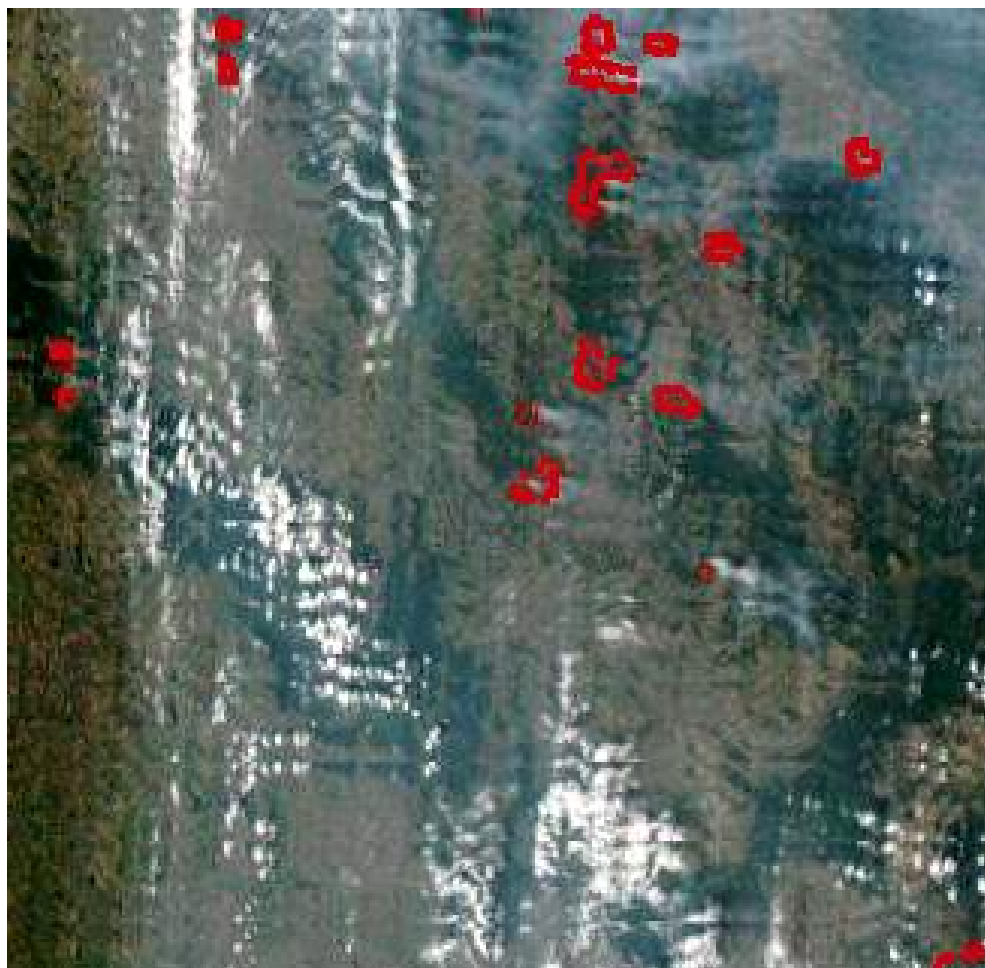


Рис. 1.14. Побудоване зображення Бородянського району з оконтуреними територіями, що були випалені пожежею

Для перевірки ефективності цієї методики паралельно в програмному пакеті Erdas Imagine виконувалась неконтрольована класифікація того ж зображення. Класифікація навіть після 6 ітерацій дала незадовільні результати. Отримане зображення містило дуже багато шумів. Подібна класифікація зображення в Erdas Imagine потребує в декілька разів більше часу [13].

1.5. Висновки до розділу 1

У результаті опрацювання методики визначення наслідків пожеж за допомогою даних дистанційного зондування Землі можемо зробити такі висновки:

- Ø розглянуто теоретичні засади моніторингу пожеж за допомогою сервісу FIRMS;

- Ø розглянуто та описано бібліотеку комп'ютерного зору OpenCV;

- Ø опрацьовані космічні знімки MODIS, за допомогою дерев рішень та бібліотеки комп'ютерного зору, з метою визначення пошкоджених пожежами територій у Бородянському районі Київської області у 2015 р.;

- Ø складено технологічну схему та описано методику виявлення спалених територій за космічними знімками, основу на використанні “дерев рішень”. За цією методикою визначено, що пошкоджена пожежею територія Бородянського району становить 11589 пікселів, або 9 % опрацьованого знімка.

Розділ 2

МЕТОДИКА ОПРАЦЮВАННЯ РІЗНОЧАСОВИХ КОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩ РОЗЛИВІВ НАФТИ

2.1. Огляд основних техногенних катастроф ХХІ століття

У сучасних умовах надзвичайні ситуації та катастрофи техногенного характеру набувають таких масштабів, що постійно зростає небезпека для життя людини та соціуму. Забезпечення всебічної безпеки особистості, суспільства, держави та світової спільноти загалом стало найважливішим пріоритетом, перетворилося на одну з головних цілей стратегії існування цивілізації в сучасних умовах. Рівень безпеки є одним із основних показників стану суспільства, якості життя людини. Уявлення про те, що небезпечно і що безпечно для людини, відображають цінні підстави буття. Безпека – це одна з основних потреб людини, виражена в її прагненні забезпечити реалізацію свого потенціалу з мінімальними загрозами для власного життя, здоров'я, честі та гідності. Все це вимагає нового погляду на світ і на те місце, яке займає безпека, змушує дослідників шукати нові шляхи у вирішенні світоглядних проблем. Соціально-філософський аналіз виникнення та наслідків надзвичайних техногенних ситуацій дає можливість зрозуміти та ґрунтовно досліджувати причини та наслідки ситуацій, що загрожують людині.

Щороку в світі відбувається кілька потужних техногенних катастроф, які забирають людські життя і завдають непоправної шкоди екології.

27 липня 2013 року в Сіамській затоці стався прорив нафтового трубопроводу. Понад 50 тонн сирової нафти з труби розлилося. Через годину нафтова пляма досягла пляжів острова-курорту Самет у Таїланді. Численні туристи змушені були перервати свій відпочинок.

18 квітня 2013 року в американському місті Вест у штаті Техас вибухнув завод добрив. Через потужний вибух понад 100 будівель в окрузі було фактично зруйновано. Загиблих і зниклих безвісти виявилося 15 людей, близько 160 отримали тяжкі поранення, а саме містечко мало відрізнялося від зони військових дій.

Для прикладу, 25 серпня 2012 року на території найбільшого у Венесуелі нафтозаводу Paraguana Refining Center стався витік газу, який призвів до потужного вибуху. Займання парів пропану сталося у зоні нафтосховищ. Пізніше запалали два резервуари. Вогонь перекинувся на розташовану поруч казарму, трубопроводи та припарковані поблизу автомобілі. Третій резервуар з нафтою вогонь охопив у ніч на 28 серпня. Повністю загасити полум'я вдалося лише вдень 28 серпня. У результаті катастрофи загинули 42 людини, поранено 150.

22 квітня у Мексиканській затоці біля узбережжя штату Луїзіана (США) після 36-годинної пожежі услід за потужним вибухом, який забрав життя 11 людей, затонула керована бурова платформа Deepwater Horizon. Зупинити витік нафти вдалося лише 4 серпня. У води Мексиканської затоки вилилося близько п'яти мільйонів барелів сирої нафти. Платформа, на якій сталася аварія, належала швейцарській компанії Transocean. На момент аварії платформою керувала компанія British Petroleum [14].

11 березня 2011 року після найпотужнішого землетрусу на північному сході Японії на АЕС “Фукусіма-1” сталася найбільша техногенна катастрофа XXI століття. Не минуло й чверті століття після аварії на Чорнобильській АЕС, як “мирний” атом знову ставить перед цілим народом загрозу радіаційного зараження. Услід за підземними поштовхами магнітудою 9,0 балів, узбережжя острова накрила величезна хвиля цунамі. Пошкодивши 6 реакторів атомної станції, водяний потік вивів з ладу систему охолодження, що призвело до серії глобальних вибухів водню та розплавлення активної зони. Радіоактивні речовини йод-131 та цезій-137 були викинуті в атмосферу. І хоча обсяг викиду становив не більше ніж 20 % порівняно з

Чорнобильською аварією, жителям японського острова не полегшало. Загальні ж збитки від катастрофи атомної станції “Фукусіма-1” експерти оцінили у 74 млрд доларів. А на повну ліквідацію наслідків аварії та демонтаж зруйнованих реакторів потрібно близько 40 років.

4 жовтня 2010 року в західній Угорщині на великому алюмінієвому заводі сильний вибух розірвав греблю величезного резервуару, де зберігалися отруйні відходи. Це так званий червоний шлам, що утворюється під час виробництва оксиду алюмінію. Понад мільйон кубометрів отруйних відходів буквально затопили триметровим потоком два угорські міста – Колонтар та Дечевєр. Потрапляючи на шкіру, червоний шлам діє як сильний луг. Внаслідок техногенної катастрофи 10 людей загинули. Понад 150 отримали опіки та різні травми.

26 серпня 2004 року біля міста Гуммерсбах поблизу Кельна на заході Німеччини бензовоз, що перевозив 32 тисячі літрів палива, впав з мосту заввишки 100 метрів і вибухнув. Винуватцем аварії стала спортивна машина, яку занесло на слизькій дорозі, вона опинилася між бензовозом та його причепом. У результаті автопоїзд також занесло, він пробив огорожу і впав з мосту. Ця аварія вважається однією з найдорожчих техногенних катастроф в історії: витрати на тимчасовий ремонт мосту досягли 40 мільйонів доларів, а повна заміна обійшлася в 318 000 000.

30 листопада 2002 року біля узбережжя Іспанії потрапив у сильний шторм нафтовий танкер Prestige, у трюмах якого було понад 77 тисяч тонн високосірчаного мазуту. У результаті шторму в корпусі судна утворилася тріщина завдовжки близько 50 метрів. 19 листопада танкер розламався навпіл і затонув. До моря потрапили 64 тисячі тонн мазуту. Повне очищення акваторії коштувало 12 мільярдів доларів, проте повністю оцінити збиток, завданий екосистемі, неможливо.

21 вересня 2001 року постраждало французьке місто Тулуза, де працює хімічний комбінат. Стався вибух трьохсот тонн нітрату амонію. Речовина вибухнула через те, що керівництво компанії заощаджувало на зберіганні, тому склад для готової продукції було обладнано з порушеннями правил безпеки. Вибух спричинив попадання

величезної кількості хімічних речовин в атмосферу, тому цю трагедію вважають однією з найбільших техногенних катастроф на Землі. Внаслідок вибуху комбінат був практично повністю знищений.

У липні 2000 року в Бразилії в результаті катастрофи на нафтопереробному заводі “Петробрас” до річки Ігуасу потрапило понад мільйон галонів нафти. Утворена пляма просувалася за течією, загрожуючи отруїти питну воду відразу для декількох міст. Ліквідатори аварії побудували декілька загороджувальних бар’єрів, але зупинити нафту вдалося лише на п’ятому. Одну частину нафти зібрали з поверхні води, інша пішла спеціально побудованою відвідною протокою. Компанія “Петробрас” виплатила 56 мільйонів доларів штрафу до державного бюджету і 30 мільйонів – до бюджету штату [14].

Аналізуючи наведені дані, можна помітити, що наслідки техногенних катастроф є надзвичайно масштабними і спричиняють велику загрозу для життя та здоров’я людини, підривають економіку багатьох держав, а також завдають непоправної шкоди флорі та фауні.

Серед найбільш небезпечних, а тому і найважливіших екологічних проблем, – проблема, пов’язана із забрудненням вод Світового океану.

Під “забрудненням океану” розуміють пряме або побічне надходження речовин чи енергії в морське середовище, що спричиняє такі негативні впливи, як завдання шкоди живим ресурсам, небезпека для здоров’я людей, перешкоди морській діяльності, включаючи рибальство, погіршення якості морської води.

Існують різні види забруднень: фізичне – нерозчинні домішки: глина, пісок, намул, пил тощо; хімічне – важкі метали, кислоти, луги, мінеральні солі, нафта і нафтопродукти, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), мийні засоби, канцерогени, мінеральні добрива, пестициди; біологічне – різні мікроорганізми (бактерії, віруси), яйця гельмінтів, спори грибів; радіоактивне – радіонукліди (цезій-137, стронцій-90, калій-40 тощо); теплове – підігріті води ТЕС та АЕС.

Джерел забруднення Світового океану багато, основними з них є:
• безпосередні викиди забруднюючих речовин в океан, наприклад, нафтопродуктів при перевезенні;

• безпосереднє надходження забруднюючих речовин при підводних розробках та видобуванні мінеральних ресурсів;

• річковий стік;

• прямий стік із суші (теригенний стік);

• перенесення забруднюючих речовин через атмосферу;

• підводні викиди нафти та газу;

• аварійні викиди із суден або підводних трубопроводів;

• випробовування атомної зброї.

Основними видами забруднювачів є вуглеводні (сира нафта, нафтопродукти, нафтові вуглеводні), хлоровані вуглеводні (пестициди, поліхлоровані біфеніли), токсичні метали, радіоактивні речовини [15].

Саме тому техногенний вплив на морське середовище можна назвати найбільшим і велика увага при проведенні будь-якого екологічного моніторингу приділяється саме процесам техногенної діяльності людини, яка, починаючи з 1964 р., в основному пов'язана з нафтосировинним комплексом. За останні 40 років на морському шельфі пробурено понад 2500 тисяч свердловин, а транспортування нафтопродуктів за допомогою суден та танкерів у деяких випадках є незамінним. Танкерами перевозиться щорічно близько 2 млрд т нафти і нафтопродуктів, а найбільші втрати нафти пов'язані з її транспортуванням із районів добування.

2.2. Досвід проведення супутникового моніторингу навколишнього середовища

За останні роки в районі Балтійського моря було побудовано низку нових нафтових терміналів, що призвело до збільшення транспортування нафти суднами, а, отже, і до підвищення ризику аварій. Транспортування є причиною 45 % нафти в морі, тоді як видобуток на морі є джерелом лише 2 % забруднення нафтою Світового океану (рис. 2.1). У Балтійському морі щодня перебуває близько 2000 великих суден і танкерів. Великі розливи нафти в регіоні

в 1977–2002 рр. стали результатом корабельних аварій: Цесіс (1977, біля Нюнесхамна, Швеція. Розлив: 1000 тонн), Антоніо Грамші (1979, Вентспілс, Латвія. Розлив: 5500 тонн. Новий інцидент 1985 р., Фінляндія. Розлив: 580 тонн), Хосе Марті (1981, біля Даларо, Швеція. Розлив: 1000 тонн), Globe Asimi (1982, біля Клайпеди, Литва. Розлив: 16 000 тонн), Сивона (1984, The Sound, Швеція. Розлив: 800 тонн), Волгонейфть (1990, біля Карлскруна, Швеція. Розлив: 1000 тонн), Baltic Carrier (2001, міжнародні води між Данією та Німеччиною. Розлив: 2700 тонн). Що стосується видобування нафти у морі та на узбережжі, то вже декілька років у польських водах ведуться офшорні операції (дві підйомні бурові установки); донедавна Німеччина керувала двома платформами дуже близько до узбережжя; у березні 2004 р. Росія почала буріння нафти в акваторії між Калінінградською областю (Російська Федерація) і Литвою.

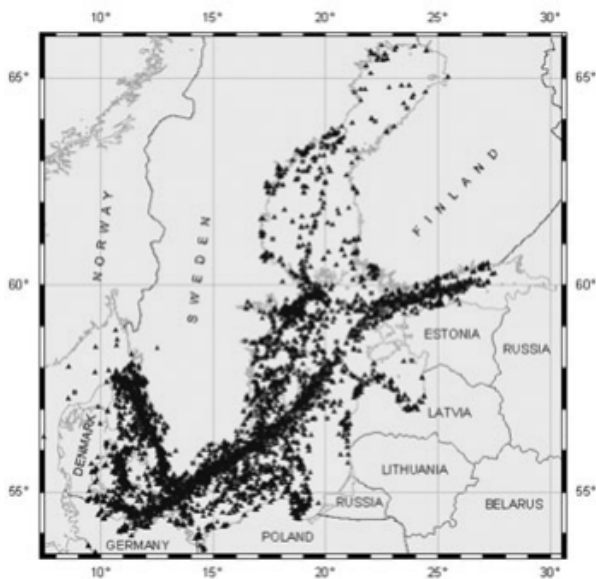


Рис. 2.1. Карта розливів нафти, виявлених у Балтійському морі в 1989–2002 рр. (HELCOM, 2002). Категорія 1 – $< 10 \text{ м}^3$, категорія 3 – $10 < 100 \text{ м}^3$, категорія 4 – $> 100 \text{ м}^3$ (взято з мережі Інтернет)

Таким чином, судноплавна діяльність, у тому числі транспортування нафти та перевали нафти в портах, має серйозний негативний вплив на морське середовище та прибережну зону Балтійського моря. Скиди нафти та нафтових відходів із суден становлять значну загрозу для морських екосистем. Ці виділення можуть виникати під час звичайної діяльності або можуть бути випадковими чи незаконними. Розливи нафти викликають забруднення морської води, берегів і пляжів, яке може тривати кілька місяців і становити загрозу для морських ресурсів.

Одним з головних завдань екологічного моніторингу Балтійського моря є оперативне, супутникове та повітряне виявлення розливів нафти, визначення їх характеристик, встановлення джерел забруднення та прогноз імовірних траєкторій транспортування нафтових розливів. Доки екосистема Балтійського моря зазнає зростаючого антропогенного впливу, особливо пов'язаного зі збільшенням транспортування та видобутку нафти, подальші дослідження зв'язків між фізичними, хімічними та біологічними параметрами екосистеми, комплексний моніторинг стану Балтійського моря, і особливо моніторинг розливів нафти, мають велике значення. Поведінка розливу нафти, моделювання, запобігання, наслідки, методи контролю та очищення вимагають додаткової інформації про велику кількість складних фізичних, хімічних та біологічних процесів і явищ [16].

Дистанційне зондування Землі пропонує ряд різних методів для отримання інформації про стан відкритого моря (океану) та прибережних регіонів у віддалених і часто недоступних районах. Сканувальні радіометри збирають дані про температуру поверхні моря та різні оптичні характеристики поверхні моря, які надають важливу інформацію про динаміку води в мезомасштабах. Скатерометри збирають інформацію про швидкість і напрямок вітру, висотоміри вимірюють аномалії рівня моря, висоту хвилі та визначають швидкість вітру. Датчики SAR, чутливі до просторово змінюваних моделей нерівності морської поверхні та модифіковані розливами нафти, мають

перевагу над оптичними датчиками при виявленні розливів нафти, оскільки можуть надавати дані в хмарних умовах та в темряві (ніч). Початковим фокусом місій ERS-1, ERS-2 та ENVISAT були вимірювання SAR поверхневих течій океану (<http://envisat.esa.int>). Що стосується розливів нафти, складні дистанційні та метеорологічні дані можуть надати інформацію про швидкість, напрям і траєкторію руху нафти за допомогою багаточасових зображень (фільмів) і вхідних даних для моделей прогнозування дрейфу, а також можуть допомогти в оперативному очищенні та контролі. Вся вищезгадана інформація необхідна для комплексного екологічного моніторингу, морської інженерної діяльності, оперативного рибного нагляду та прогнозування штормів.

З червня 2004 р. продовжено комплексний моніторинг південно-східної частини Балтійського моря на основі аналізу всіх даних ASAR ENVISAT Wide Swath (400×400 км, зображення з просторовою розрізненістю 150 м, піксель 75×75 м), які охоплюють південно-східну частину Балтійського моря (рис. 2.2, 2.3).

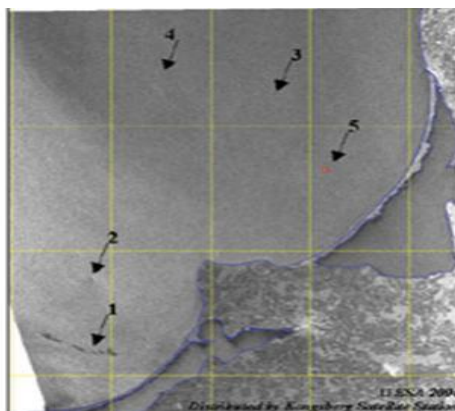


Рис. 2.2. Зображення ASAR ENVISAT південно-східного Балтійського моря 30 липня 2004 р., 20:08 GMT. Стрілка (1) вказує на ланцюг розливів нафти в Гданській затоці; (2) – розлив у циклоні (взято з мережі Інтернет)

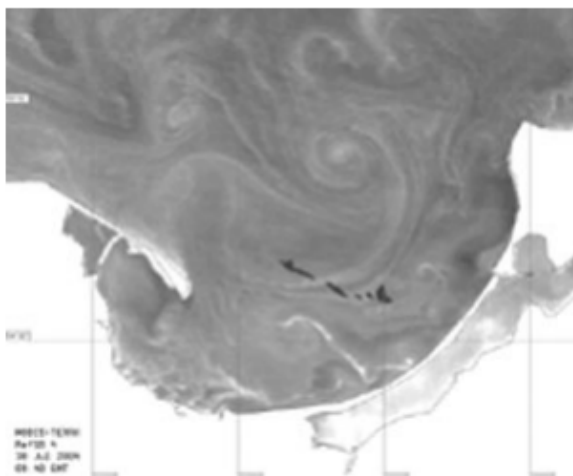
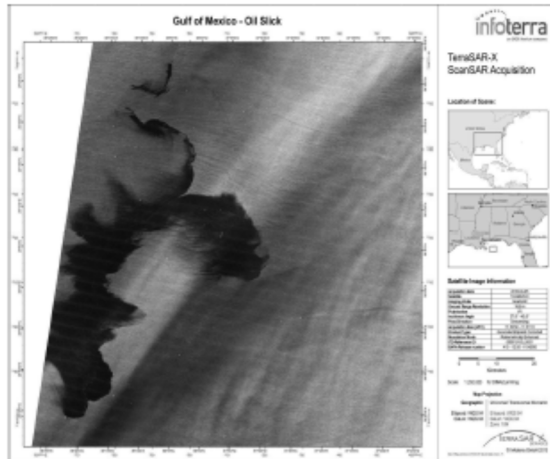


Рис. 2.3. Мезомасштабна динаміка в Гданській затоці, виявлена MODIS-Terra (250 м) 30 липня 2004 р., 09:40 GMT. Чорні плями – це місця розливу нафти, виявлені на знімку ASAR о 20:08 GMT (взято з мережі Інтернет)

Здатність нафти покривати плівкою великі акваторії моря при порівняно невеликих розливах призводить до того, що навіть незначний розлив стає причиною вкрай негативних наслідків. Усього через 10 хв після розливу тонни нафти вона покриває плівкою область радіусом понад 50 км, формуючи нафтову пляму [16]. Опинившись у морському середовищі, нафта і нафтопродукти спричиняють згубний вплив на морську фауну і флору, порушують процеси фізичного, хімічного і біологічного обміну в системі океан – атмосфера, завдають істотної шкоди індустрії туризму та відпочинку. На рис. 2.4. та 2.5 подано приклади відображення на космічних знімках плям розливів нафти у Мексиканській затоці та Керченській протоці.



*Рис. 2.4. Фрагмент радіолокаційного зображення Мексиканської затоки із супутника TerraSAR-X, отриманого 25 квітня 2010 в 11:50 UTC з розширенням 16,8 м на вертикальній поляризації сигналу.
© InfoTerra (взято з мережі Інтернет)*



*Рис. 2.5. Забруднення нафтопродуктами Керченської протоки після аварії танкера “Волгоневфть-139” на радіолокаційному зображенні супутника Radarsat-1 від 16 листопада 2007 року (3:45 UTC).
© CSA (взято з мережі Інтернет)*

Супутниковий моніторинг нафтових забруднень Мексиканської затоки.

20 квітня 2010 року стало чорним днем календаря для компанії British Petroleum (BP) та персоналу бурової платформи Deepwater Horizon (компанія-оператор Transocean). Відразу після аварії почалися знімання місця аварії із космосу з оптичних (Aqua, Terra, SPOT, WorldView та ін.) та радіолокаційних (Envisat, Radarsat, TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed та ін.) супутників. Безперервні щоденні знімання дозволяли точно встановити розміри та конфігурацію нафтової плями, напрямок її дрейфу та ряд інших параметрів.

До того ж оперативні знімання з космосу сприяли отриманню актуальної інформації в масштабі реального часу про вплив розливу нафти на навколишнє середовище та виявлення зон ризику. Загалом професійне використання даних ДЗЗ у нафтогазовій галузі дозволило суттєво зменшити екологічні та соціоекономічні ризики. У перші дні екологічної катастрофи фахівці з охорони навколишнього середовища почали активно співпрацювати з провайдерами супутникових даних, серед яких були космічні агенції (NASA, ESA, CSA, JAXA, DLR та ін.) та різні комерційні компанії. Радіолокаційні ERS-2, ENVISAT, Radarsat-1/2, TerraSAR-X, CosmoSkyMed-1/2/3, ALOS та ресурсні супутники дистанційного зондування Terra, Aqua, SPOT 4, Landsat, IKONOS, Quickbird, WorldView місяцями відстежували з космосу нафтову пляму, починаючи з 22 квітня.

У ліквідації цієї катастрофи дані ДЗЗ відіграли одну з головних ролей, причому як у моніторингу самого розливу, так і в оцінці його впливу на навколишнє середовище. У результаті було отримано та проаналізовано понад 650 супутникових знімків. Уперше повною мірою були професійно реалізовані переваги мультидатчикового підходу для моніторингу катастрофічного розливу нафти, що включають здатність різних датчиків ДЗЗ отримувати квазісинхронні знімки з космосу в спектральних діапазонах, з різним оглядом і просторовою розрізненістю. Крім цього, на основі даних ДЗЗ, ГІС та інтернет-

технологій були створені спеціальні інтерактивні засоби, що візуалізують знімки з космосу, сам розлив, а також різні його параметри та характеристики, включаючи індекси екологічного неблагополуччя (індекси ESI) для узбережжя штатів Луїзіана, Міссісіпі, Алабама та Флорида. Зокрема, було створено низку online-сервісів, що базуються на даних ДЗЗ та надають наочну інформацію про розлив у реальному часі. До проблеми підключилися корпорації ESRI та Google, які створили власні сервіси на основі ГІС та Google Earth технологій. Нарешті науково-дослідні інститути США чисельно моделювали циркуляцію вод Мексиканської затоки з метою визначення найімовірніших траєкторій дрейфу нафтової плями (використано шість різних моделей), також проводили порівняння отриманих результатів з даними ДЗЗ, створили власні сервіси на основі ГІС та Google Earth технологій. Ця екологічна катастрофа застала зненацька світове співтовариство та виявила гостру необхідність у науково-прикладних рішеннях у сфері ДЗЗ та ГІС-технологій для збирання та консолідації інформації у просторовому контексті, забезпечуючи відстеження наслідків та своєчасне реагування. Мексиканська затока стала своєрідним тестовим полігоном, на якому були застосовані технології всіх провідних космічних агентств, що створювало безладний потік даних і ряд неструктурованих способів ідентифікації та верифікації нафтових забруднень.

Але в умовах кризової ситуації емпірично та аналізом отриманих матеріалів було започатковано формування сучасних методик з космічного моніторингу процесів нафтозабруднень світових акваторій.

Супутниковий моніторинг плівкових забруднень Кольської затоки.

Відразу після подій у Мексиканській затоці провідні нафтодобувні країни звернули увагу на проблеми нафтозабруднень та оцінки ризику екологічної безпеки. Супутниковий моніторинг нафторозливів Кольської затоки розпочався у червні 2011 р. Моніторинг затоки тривав чотири роки, космознімки та продукти, отримані під час моніторингу, викладали на геопортал із можливістю доступу через мережу

Інтернет. Для виявлення та ідентифікації плівкових забруднень моря в Кольській затоці використовувалися дані космічного радіолокаційного знімання супутників Radarsat-1 і Radarsat-2. На цих супутниках установлені РСА бічного огляду, що дозволяють отримувати радіолокаційні знімки морської поверхні незалежно від освітленості й погодних умов, що було важливою перевагою в специфічних фізико-географічних умовах території.

За весь період моніторингу було прийнято, оброблено та проаналізовано 200 радіолокаційних знімків супутників Radarsat-1 та Radarsat-2; на 137 знімках (68,5 %) виявлено плівкові забруднення. У 2011 р. проведено 58 сеансів радіолокаційного знімання, на 32 знімках виявлено плівкові забруднення. У 2012 р. кількість отриманих радіолокаційних знімків становила 78, а забруднення виявлено на 55 із них. У 2013 р. кількість знімань Кольської затоки зменшилася до 33 кадрів, на 22 з яких спостерігалися плівки. У 2014 р. на 28 знімках із 31 отриманих були виявлені плівкові забруднення. У відсотковому відношенні у 2011 р. плівкові забруднення були виявлені на 55 % отриманих радіолокаційних знімків, у 2012 р. – на 70,5 %, у 2013 р. – 66,5 %, а у 2014 р. – на 90 %. За даними аналізу радіолокаційних знімків, одержаних у 2011–2014 рр., було створено інтегральні карти надійно ідентифікованих плівкових забруднень, виявлених у Кольській затоці під час моніторингу. Найбільша забрудненість поверхні моря тяжіє до основних портів Кольської затоки.

У результаті за результатами чотирирічного супутникового радіолокаційного моніторингу з використанням ГІС підходу для Кольської затоки було вперше створено карти фактичного розподілу плівкових забруднень, проаналізовано їх просторово-часовий розподіл та виявлено основні джерела нафтового забруднення. Показано, що періодично в затоці спостерігалися великі плівкові утворення у вигляді плівок нафти та нафтопродуктів. Основними джерелами забруднень були підприємства міністерства оборони, морського транспорту та житлово-комунального господарства, а також прибережні нафтосхо-

вища та нафтобази. Істотний внесок у загальне забруднення зробили систематичні скидання різних забруднювальних речовин із суден, що проходять акваторією затоки.

Супутниковий моніторинг нафтових забруднень Перської затоки.

У 2017 р. було реалізовано пілотний проект із супутникового моніторингу Перської затоки. Результати досліджень підтвердили інформацію про серйозне нафтове забруднення. Акваторія Перської затоки зазнає нафтового забруднення постійно: за повідомленнями інформантів, забрудненість її вод неухильно зростає через видобуток нафти, який ведеться на 34 родовищах і більш ніж з 800 свердловин, танкерних перевезень (до 20–30 тис. танкерів), стандартних суднових операцій та аварій суден. За оцінками експертів, у води затоки тим чи іншим шляхом потрапляє в середньому від 100 до 160 тис. тонн нафти та нафтопродуктів щорічно, а рівень нафтового забруднення перевищує середній світовий показник у 47 разів.

Для моніторингу використовувалися радіолокаційні знімки супутників Sentinel-1A і Sentinel-1B, які розміщувалися, оброблялися і аналізувалися на спеціальному геопорталі, створеному на базі веб-ГІС.

Основною підтримкою для аналізу та ідентифікації виявлених плям стали детальні навігаційні карти з об'єктами морського нафтогазового комплексу та карти суднової обстановки у затоці. За необхідності для верифікації радіолокаційних даних та оцінки екологічного стану морського середовища додатково застосовували оптичні дані супутників Terra, Aqua, Suomi NPP, Sentinel-2 та Landsat-8. Всього в ході реалізації проекту в 2017 р. було отримано та проаналізовано понад 300 радіолокаційних знімків з європейських супутників Sentinel-1A та Sentinel-1B, що повністю або частково покривають Перську затоку (територіальні води та економічні зони Ірану, Іраку, Кувейту, Саудівської Аравії, Катару, Об'єднаних Арабських Еміратів). Загалом на 209 знімках було виявлено 4905 плям плівкових/нафтових забруднень. На основі аналізу інтегральних карт

забруднення фахівці зробили висновок, що Перська затока схильна до серйозного нафтового забруднення, головним чином, внаслідок інтенсивного нафтовидобутку, транспортування нафти та активного судноплавства. Ситуація, що склалася, загрожує екології затоки, навіть при формальному дотриманні загальносвітових стандартів і вимог до охорони навколишнього середовища. Систематичне радіолокаційне знімання акваторії здатне допомогти природоохоронним відомствам країн Перської затоки проводити щоденний моніторинг затоки, а також може використовуватися як доказова база.

Сьогодні супутниковий радіолокаційний моніторинг продовжує бути ефективним інструментом контролю нафтового забруднення, у тому числі вод Перської затоки.

Моніторинг нафторозливів у акваторії порту Актау.

Республіка Казахстан на тлі гострої ситуації підтримала світову тенденцію боротьби із забрудненнями водойм нафтою і нафтопродуктами. У 2011 р. науково-виробничий центр “Мекенсак” виконав космічний радіолокаційний моніторинг нафторозливів у акваторії порту Актау за даними супутникового угруповання COSMO-SkyMed (Італія). Космічний моніторинг нафторозливів в акваторії такого великого порту, як Актау, є дуже бажаним, якщо не необхідним для збереження екологічної безпеки в регіоні.

У Каспійському морі розробляється безліч родовищ нафти та газу. Доведені ресурси нафти в Каспійському морі становлять близько 10 млрд т, загальні ресурси нафти і газоконденсату оцінюються в 18–20 млрд т. Місто Актау, розташоване на східному узбережжі Каспійського моря, є великим вантажним портом, і, зокрема, єдиним портом Казахстану, призначеним для міжнародних перевезень сирової нафти та нафтопродуктів.

На першому етапі проекту НВЦ “Мекенсак” було вибрано радіолокаційні супутники для виконання моніторингу нафторозливів. За сумою технічних характеристик було обрано супутникове угруповання COSMO-SkyMed – компанії e-GEOS (Італія). Потім було вибрано

оптимальний режим знімання (ScanSAR Huge Region, просторова розрізненість – 30 м, сцена – 200×200 км). Оскільки основним завданням було виявлення нафторозливів, знімання були заплановані в поляризації VV. Далі НВЦ “Мекенсак” було визначено необхідну частоту знімання (два рази на місяць).

Кожен знімок після виконання знімання надходив до центру обробки радіолокаційних даних у вигляді амплітудного знімка в радіолокаційній геометрії “дальність/азимут”.

Далі до кожного знімка застосовувалася послідовність операцій попередньої обробки, кожен знімок аналізували візуально фахівці з обробки радіолокаційних даних. Ті області, які були інтерпретовані як нафторозливи, оконтурювалися векторним полігоном. Далі кожному полігону (нафторозливу) надавались певні атрибути (площа, периметр, дата та час виявлення тощо).

На знімку, датованому 22 вересня 2011 року, виявлено 6 нафторозливів на поверхні води, у тому числі два нафторозливи безпосередньо в районі порту Актау. Всі шість виявлених нафторозливів поставлені замовнику у вигляді векторного полігонального шейп-файла, в атрибутах кожного нафторозливу записано площу розливу (кв. км), дату та час виявлення.

2.3. Основні завдання моніторингу розливів нафти

Своєчасне виявлення і здійснення екстрених заходів для запобігання поширенню забруднень може у багато разів знизити завдані збитки. Саме тому насамперед виникла необхідність організації дієвого постійного моніторингу за станом як обслуговуючих технічних систем на всіх етапах видобування, переробки, зберігання і транспортування нафти та нафтопродуктів, так і різних характеристик природного середовища.

Існуючі програми та системи аерокосмічного моніторингу прийнято ділити на кілька категорій [17]:

1. Національні системи оперативного контролю нафтових забруднень прибережних акваторій та територіальних вод (створені в Канаді, Норвегії, США, Данії, Італії та ін.).

2. Регіональні системи оперативного контролю нафтових забруднень у рамках міжнародних угод між країнами морських басейнів (наприклад, сервіс CleanSeaNet країн ЄС (рис. 2.6), Гельсінська конвенція по Балтійському морю, Бухарестська конвенція по Чорному морю та ін.).

3. Регіональні наукові, пілотні та демонстраційні проекти та програми космічного моніторингу забруднень окремих акваторій.

4. Проекти моніторингу шельфових зон, які виконуються на замовлення компаній, пов'язаних з видобутком і транспортуванням нафтопродуктів на морському шельфі.

Найбільш ефективним підходом до проблеми аналізу нафтових забруднень акваторій з використанням аерокосмічних і наземних даних є використання геоінформаційних систем (рис. 2.7).



Рис. 2.6. Карта зони покриття сервісу регіональної системи радіолокаційного моніторингу CleanSeaNet країн ЄС

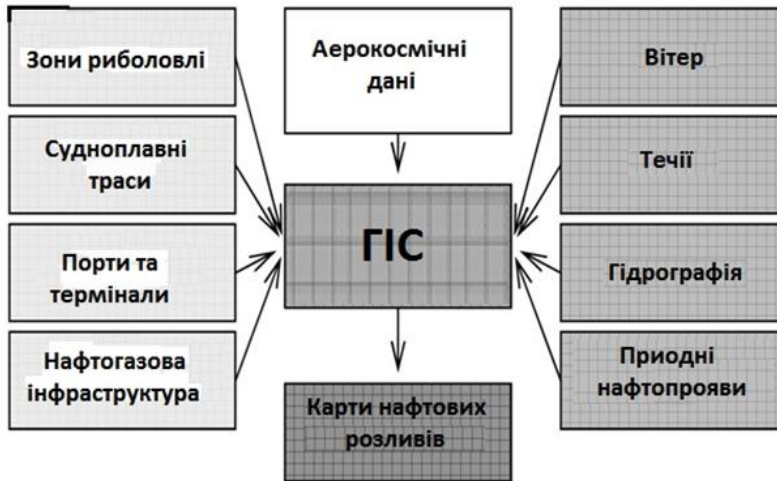


Рис. 2.7. Використання геоінформаційних систем в аналізі нафтових забруднень акваторій з використанням аерокосмічних та наземних даних

У загальному в ГІС можна отримати таку інформацію про нафтові забруднення морських акваторій:

- географічне положення аварії з розливом нафти;
- положення потенційного джерела забруднення;
- зона ризику поширення впливу нафтового забруднення;
- розповсюдження по акваторії;
- розмір/площа нафтової плями.

Приклад інтернет-ГІС-проекту “Чорне море” подано на рис. 2.8.

У цих системах збирають не тільки аерокосмічні дані, але й інформацію про антропогенну діяльність, що є потенційним джерелом забруднень, а також інформацію про природні явища і процеси, які впливають на забруднення. В тому числі повинна використовуватися інформація про природні нафтопрояви.

Дані для створення ГІС морських басейнів можуть бути отримані з різних джерел, а картографічною основою для цього можуть стати оцифровані навігаційні карти чи дані в цифровому вигляді з регіональних геофізичних центрів.

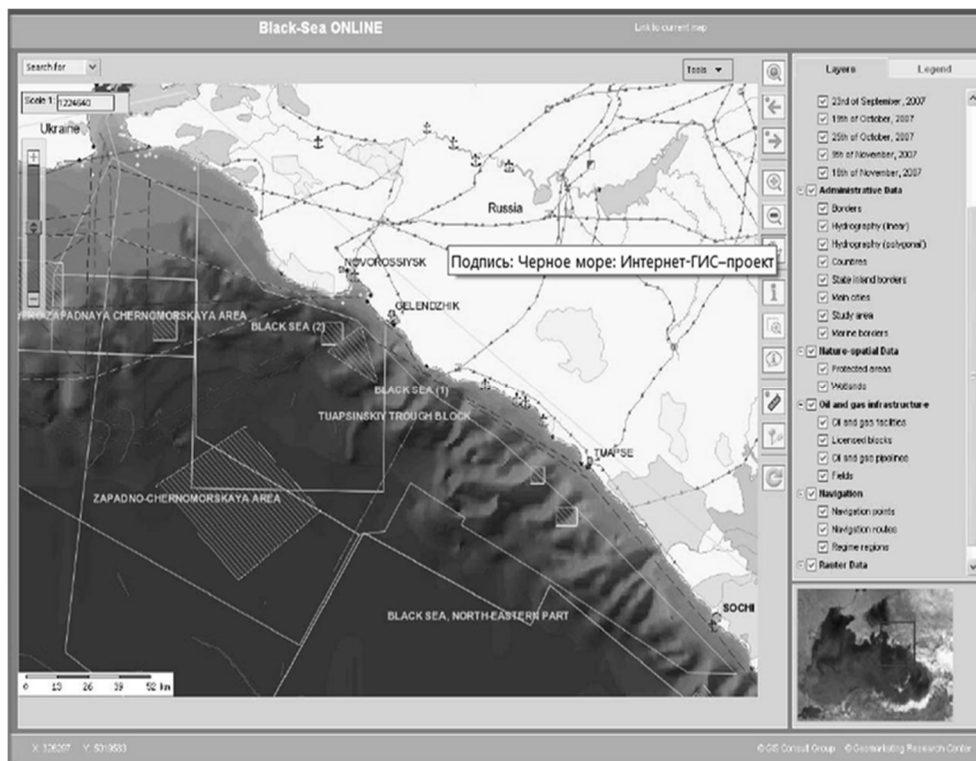


Рис. 2.8. ГІС-проект (Чорне море) (взято з мережі Інтернет)

Як аерокосмічні дані можуть використовуватися результати дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в оптичному діапазоні електромагнітного спектра і радіодіапазоні.

При використанні даних зондування в оптичному діапазоні необхідно дотримуватись таких вимог:

1) сприятливі погодні умови: відсутність хмарності, бажано освітлення акваторії Сонцем під певним кутом (наявність сонячного відблиску);

2) здійснення багатоспектрального знімання, тобто обов'язково зондування на ділянках електромагнітного спектра, відповідних природним видимим відтінкам і в інфрачервоному діапазоні.

Приклад використання даних ДЗЗ в оптичному діапазоні для моніторингу нафтового розливу в Мексиканській затоці наведено на рис. 2.9.

При цьому розроблено методику визначення товщини нафтової плівки за кольором плівки у видимій ділянці спектра (табл. 2.1).

Така методика, як видно, дозволяє отримати досить приблизну оцінку товщини плівки, а знаючи площу плями, за даними ДЗЗ можна розрахувати приблизний обсяг нафти в плямі [18].

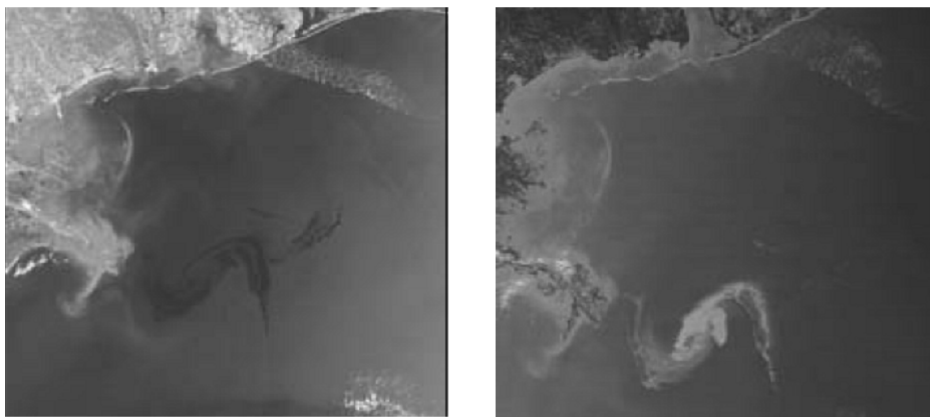


Рис. 2.9. Спектрорадіометри: MERIS на ШСЗ Envisat від 29.04.2010 16:04 UTC (ліворуч) і MODIS на ШСЗ Terra від 29.04.2010 16:50 UTC (праворуч, в зоні сонячного відблиску); розрізнення 250 м. ESA. NASA/GSFC (взято з мережі Інтернет)

Таблиця 2.1

Визначення товщини нафтової плівки за її кольором

Колір плівки	Товщина плівки, 10^3 мм	Об'єм, л/км ²
Срібно-сірий	Від 0,04 до 0,30	40–300
Кольоровий	Від 0,30 до 5,0	300–5000
Блакитний	Від 5,0 до 50	5000–50000
Коричневий	Від 50 до 200	50000–200000
Коричнево-чорний	>200	>200000

Особливостями використання радіолокаційних даних ДЗЗ є:

1) незалежність від погодних умов, але наявність сприятливої вітрової обстановки – швидкість вітру (2–3) – (5–7) м/с;

2) наявність перешкод у вигляді вітрових затінь, скупчень поверхнево-активних речовин (ПАР) або водоростей.

Область застосування даних дистанційного зондування, одержуваних із різних супутників, які досліджують моря і океани, широка і далеко не вичерпується наведеним нижче списком конкретних завдань [19]:

Ø оперативне картографування і вивчення температурного режиму морів і океанів;

Ø аналіз концентрації та розподілу фітопланктону в цілях визначення біопродуктивності моря і цвітіння вод;

Ø відстеження льодової і снігової обстановки на суші й на морі;

Ø моніторинг рівня, стоку і дельт великих річок;

Ø охорона навколишнього середовища;

Ø моніторинг екологічного стану територій і акваторій у районах видобутку, переробки, транспортування нафти і газу, інших корисних копалин;

Ø контроль берегових зон, спостереження за суднами, виявлення та відстеження нафтових забруднень;

Ø поточний контроль будівництва об'єктів інфраструктури транспортування та видобутку нафти і газу та оперативний моніторинг їхнього стану;

Ø вивчення хмарного покриву, моніторинг небезпечних атмосферних явищ, швидкості вітру і висоти хвиль;

Ø моніторинг природних і антропогенних катастроф, лісових пожеж та повеней.

Моніторинг аварійних розливів нафти та нафтопродуктів (МАРНП) покликаний забезпечити:

§ виявлення фактів аварійних розливів нафти;

§ оцінку екологічних наслідків розливів;

§ інформаційне обслуговування робіт з ліквідації розливів нафти та нафтопродуктів.

При цьому моніторингу підлягають також численні фактори природного та антропогенного походження, які прямо чи непрямо впливають на ці характеристики.

Моніторинг навколишнього середовища при виникненні розливів нафти та нафтопродуктів, включаючи візуальний контроль і кількісні вимірювання, повинен передбачати:

- встановлення місця виходу нафти на поверхню землі чи води;
- встановлення місця витoku нафти (місця розгерметизації обладнання, апарата, трубопроводу тощо);
- оцінка параметрів розливу нафти (об'єму, лінійних розмірів, форми, а також динаміки їх зміни);
- визначення і контроль напрямку і швидкості розповсюдження нафтової плями;
- визначення і контроль параметрів навколишнього середовища.

Для МАРНП широко застосовують спеціально обладнані наземні й водні транспортні засоби, за допомогою яких виконується візуальний та інструментальний контроль.

Супутникові спостереження [20] дають можливість особливо оперативно виявляти і точно визначати координати великих аварій, організовувати спостереження за розливами нафти на морських акваторіях.

2.4. Методика опрацювання різночасових космічних зображень для визначення площ розливів нафти

Суттєве погіршення екологічної обстановки Світового океану та підвищення кількості екологічних катастроф природного та антропогенного походження потребує розробки надійних методів контролю і застосування нових засобів прогнозування й оцінки рівня ризику виникнення кризових екологічних ситуацій.

Для вирішення завдань моніторингу розливів нафти перспективним є застосування геоінформаційних технологій, що передбачають

комплексне використання різних джерел даних моніторингу навколишнього середовища.

Якість даних, отриманих засобами супутникового спостереження, останнім часом значно зросла, а такі переваги, як глобальність, екстериторіальність, безперервність, оперативність, на відміну від традиційних морських та повітряних засобів, дозволяють говорити про їх пріоритетність у вирішенні завдань моніторингу техногенних катастроф.

Події трагедії на території Керченської протоки розгортались так: у ніч з 10 на 11 листопада 2007 року з Балканського регіону на акваторію Чорного моря вийшов південний циклон і зі швидкістю 70 км/год кинувся в бік Криму. Шторм приніс вітер небувалої сили, і при цьому вітер південний. Це призвело до того, що на мілководді морські хвилі руйнувалися, з'явилися круті нелінійні хвилі, висота яких за глибин 8 м і вітру до 35 м/с досягала 6–7 м. Нафтоналивне судно “Волгонефть-139”, що перевозило 4777 т мазуту, розламалося в районі якірної стоянки з південного боку острова Тузла. Заякорена носова частина танкера після аварії залишилася на місці, а корму під дією вітру і течій віднесло до острова Тузла і викинуло на міліну. За офіційними даними, з носової частини танкера за 12 год витекло 1000 т мазуту, а з кормової – ще 600 т. Точна кількість мазуту, що потрапив у воду, не відома.

Задачами визначення наслідків техногенних катастроф за різночасовими даними займалося багато як вітчизняних [21–24], так і закордонних вчених [25–31]. Завданням цієї роботи є, окрім отримання кількісних показників розливів нафти, порівняти дві незалежні методики їх визначення.

Для проведення досліджень використовувалась пара радарних знімків з супутника Radarsat – 1 для території Керченської протоки з просторовою розрізненістю 25–30 м (рис. 2.10) та пара RGB знімків із супутника Aqua NASA у видимому діапазоні довжин хвиль. Кожна пара знімків покриває одну і ту ж територію та має однакове розрізнення. Час між знімками – декілька днів.

На рис. 2.10 (знімання 16 листопада) для наочності плями оточені еліпсами. Червоним пунктиром показана акваторія з найбільшою кількістю спостережуваних поверхневих плівкових утворень на знімку 16 листопада. В результаті візуального перегляду добре видно положення плям нафти на поверхні води в акваторії Керченської протоки та південній частині Азовського моря.

Космічна програма RADARSAT є сьогодні однією з найнадійніших радіолокаційних програм у світі й надає кінцевому користувачеві дані з просторовою розрізненністю від 8 до 100 м у смузі огляду від 50 до 500 км. Унікальними властивостями радіолокаційного знімання порівняно з оптичним є незалежність від природної освітленості (часу доби і року) і хмарного покриву.



Рис. 2.10. Космічні знімки на території Керченської протоки за 15 (ліворуч) та 16 листопада (праворуч)

Першими радіолокаційними загальнодоступними даними були отримані та оброблені дані Radarsat-1 від 15 листопада (15:34 UTC) і 12 листопада (3:45 UTC) [32]. 16 листопада через 7 хв після прольоту супутника Radarsat-1 було проведено знімання району катастрофи за допомогою новітнього радіолокатора, встановленого на супутнику німецького космічного агентства (DLR) TerraSAR-X, одночасно на горизонтальній і вертикальній поляризаціях з роздільною здатністю 3 м.

Ці дані становили найбільший інтерес не тільки тому, що вони були отримані з дуже високою просторовою розрізненністю, але й

тому, що, на відміну від даних Radarsat-1, розміщених у мережі Інтернет, дозволяли здійснювати точну географічну прив'язку.

Розлив нафти в Мексиканській затоці відстежували із супутника НАСА і Aqua. Ці супутники допомагають Національному управлінню океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) стежити за ступенем нафтової плями в Мексиканській затоці після вибуху на нафтовій платформі Deepwater Horizon (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Мексиканська затока, розлив нафти, нафтова пляма з супутника НАСА нагадує літеру ‘U’. Знімок отримано 9 травня в 19:05 UTC (3:05 PM EDT) супутником Aqua НАСА. (NASA Goddard/MODIS Rapid Response Team) (а); знімок Мексиканської затоки і пляма нафти Horizon на 10 травня о 16:35 UTC (12:35 вечора EDT) передана супутником НАСА. Нафтова пляма на південний схід від Міссісіпі, Дельта, у формі літери ‘J’. (NASA/Goddard/MODIS Rapid Response Team) (б)

Спектрорадіометр MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) є одним з ключових інструментів на борту американських супутників серії EOS (Terra (EOS AM-1) і Aqua (EOS PM-1)).

MODIS має 36 спектральних каналів з 12-бітовим радіометричним розрізненням у видимому, ближньому, середньому і тепловому інфрачервоному діапазонах.

Потужний вибух на нафтовій платформі Deepwater Horizon у Мексиканській затоці призвів до її затоплення і формування на поверхні моря в північно-східній частині затоки гігантської нафтової плями. Відразу після аварії розпочалось знімання місця аварії з космосу з оптичних (Aqua, Terra, SPOT, WorldView тощо.) і радіолокаційних (Envisat, Radarsat, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed тощо) супутників. Безперервні щоденні знімання дозволяли точно встановити конфігурацію і розмір плями, і навіть більше, сприяли отриманню актуальної інформації в масштабі реального часу про вплив розливу на навколишнє середовище і виявлення зон ризику. В цілому професійне використання даних дистанційного зондування землі (ДЗЗ) дозволило суттєво зменшити екологічні й соціоекономічні ризики. Тим не менш більшість експертів дійшли висновку, що нафтовий розлив у затоці є техногенною катастрофою з непоправними наслідками.

За даними дистанційного зондування вдалось продемонструвати динаміку нафтового розливу в Мексиканській затоці.

26 квітня вдалося зняти нафтову пляму відразу чотирма сенсорами, що дало можливість оцінити його дрейф. Однак слід враховувати, що викид нафти тривав, тривали і роботи з локалізації забруднення (рис. 2.12).

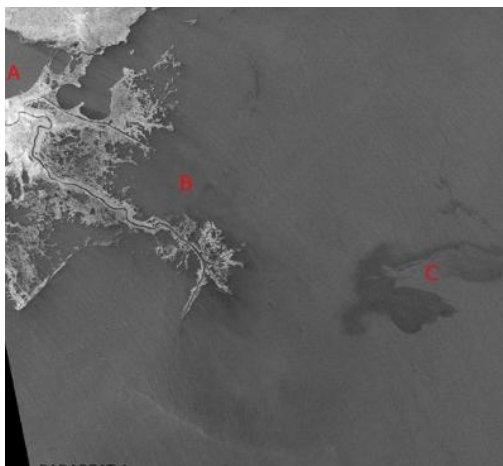


Рис. 2.12. Фрагмент зображення RADARSAT-1, отримано 26 квітня 2010 в 11:59 UTC ScanSARNarrow A Beam. Літерами позначені: А – р. Новий Орлеан, В – дельта річки Міссісіпі, С – нафтова пляма

У результаті аналіз даних ДЗЗ показав, що велика частина нафтового розливу постійно містилась в північній частині затоки, видозмінюючи свою конфігурацію та площу під впливом дії вітру і місцевих течій.

Беззаперечною виявилась ефективність геоінформаційного та мультисенсорного підходів, які використовувались для дослідження просторово-часової динаміки розливу. Перший був запропонований для моніторингових задач, а другий – для аналізу наслідків катастрофи танкера “Волгонефть-139” з розливом мазуту в Керченській протоці.

Насправді у ліквідації наслідків катастрофи, як і у випадку аварії танкера “Волгонефть-139” в Керченській протоці, дані ДЗЗ відіграли головну роль – як у моніторингу самого розливу, так і в оцінці його впливу на навколишнє середовище (отримано більше ніж 650 супутникових знімків)[33].

Основним завданням експериментальної частини роботи є визначення поширення розливу нафти під час катастрофи в Мексиканській затоці та Керченській протоці за різночасовими космічними знімками. Саме тому запропоновано технологічну схему, яка передбачає послідовні кроки виконання поставленого завдання (рис. 2.13).

Оскільки отримані знімки були у вигляді панхроматичних зображень у відтінках сірого (деформація за рельєф була усунена раніше), необхідно було лише зв'язати ці знімки між собою, тобто присвоїти однакову систему координат. Обрано умовну систему координат. Максимальна похибка прив'язки зображень одного відносно другого – 5 пікселів, що цілком задовільно для використання запланованих фільтрів.

Методика опрацювання різночасових космічних зображень для визначення площ розливів нафти в модулі DeltaCue включає такі етапи [34]:

- Нормалізація зображення та обрання параметрів формування різницевого зображення. Цей процес створює нормалізоване зображення Time1 зі статистикою, яка збігається із зображенням Time2. Важливо, щоб на цьому етапі хмари не спотворювали результат. Тому необхідно вказати, чи є на кожному із зображень хмари, чи ні. У результаті цього не відбудеться видалення хмар, але зводиться до мінімуму їх вплив на спосіб нормалізації.

• Обрання методу фільтрації з метою подальшого усунення небажаних змін. Можливим є виявлення більшої диференціації в різних каналах зображення або залежно від об'єкта (рослинність, ґрунт). Найпоширенішими методами є TC Green Diff – оснований на відстеженні рослинних угруповань і TC Soil Driff – на змінах ґрунтового покриття. Залишаємо метод побудови різницевого зображення без змін *Magnitude diff* (рис. 2.14).

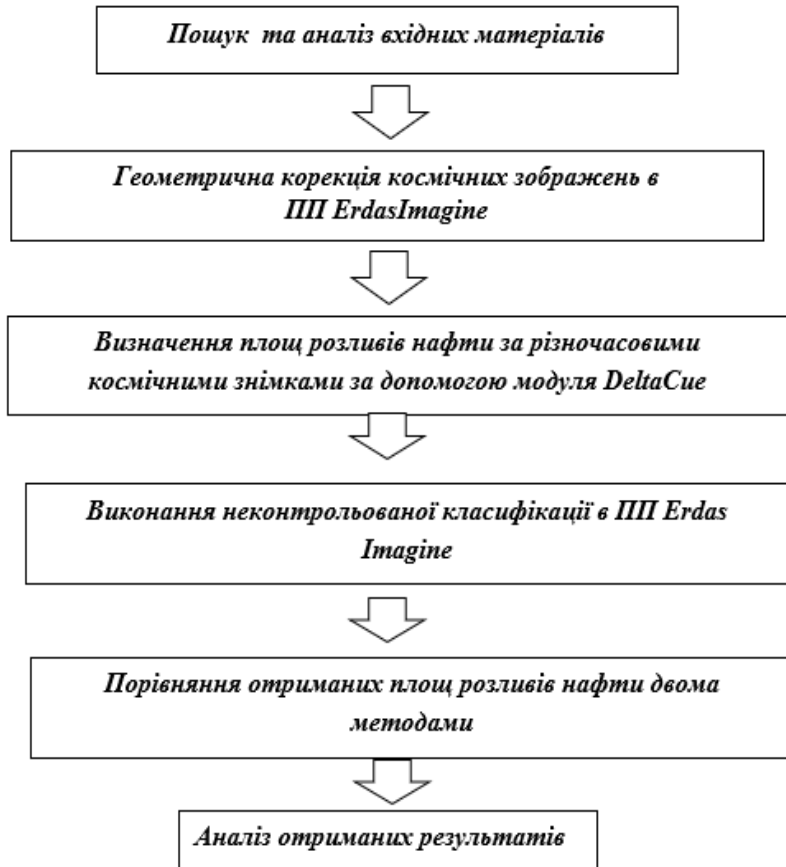


Рис. 2.13. Технологічна схема визначення поширення розливу нафти за різночасовими космічними знімками в ПП ErdasImagine

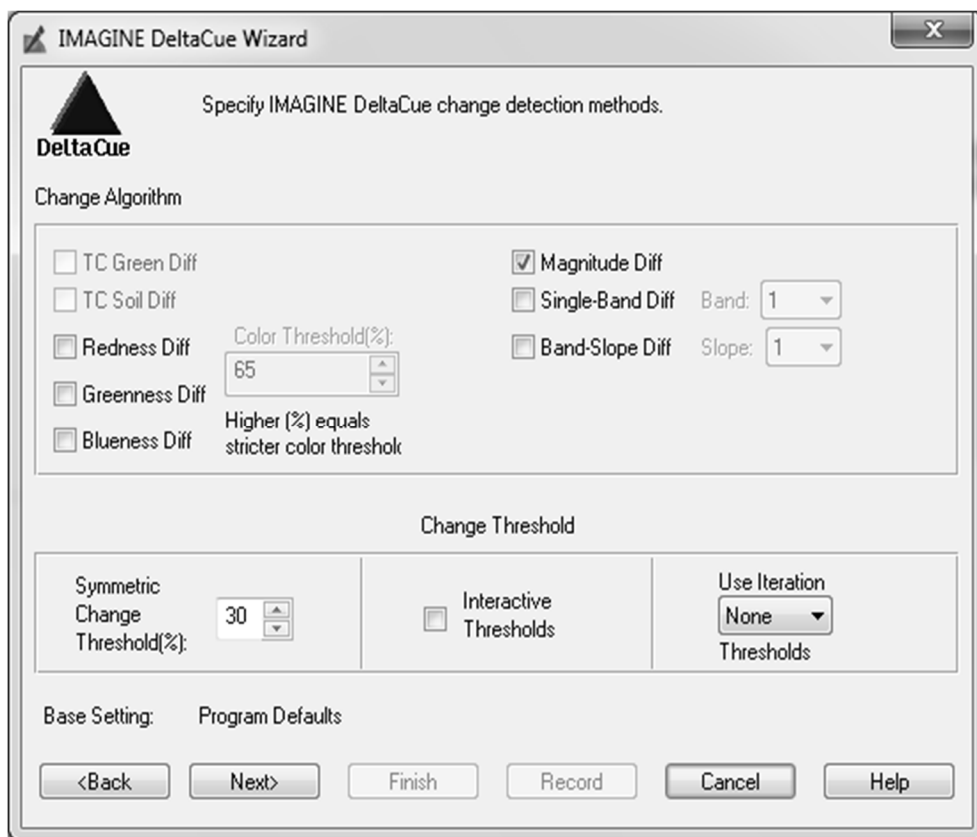


Рис. 2.14. Зміна алгоритмів виявлення різницевих показників

Необхідно переконатись у тому, що увімкнено режим Spectral Segmentation (спектральна сегментація) (рис. 2.15) – це обов’язкова умова якісного пошуку змін. Поле Misteregistration (неправильна реєстрація пікселів пари зображень) також має бути активним. Поле Spatial Filtering (просторова фільтрація) залишається неактивним. Це поле забезпечує налаштування просторових фільтрів, які дають змогу виділяти ті чи інші об’єкти, що змінилися, згідно з просторовими критеріями.

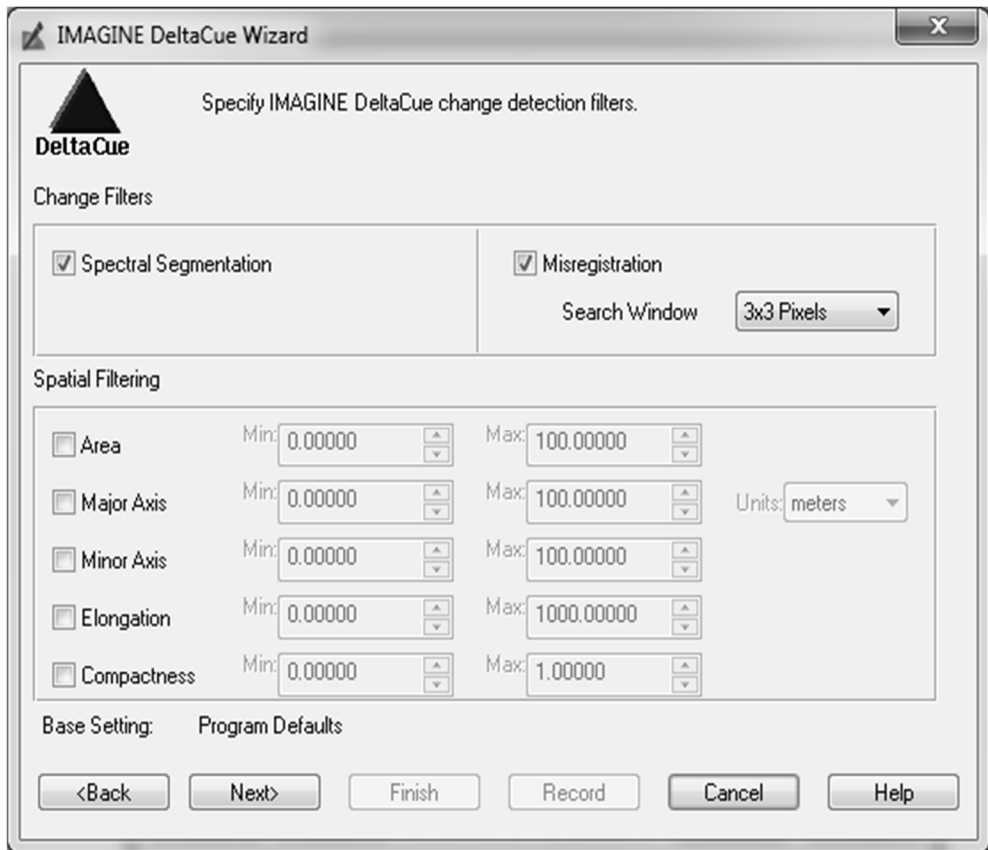


Рис. 2.15. Вікно вибору і налаштування фільтрів

· Наступним кроком є налаштування елементів, що відображатимуться у файлі різниць, це включає можливості фільтрації (функція доступна тільки для вказаних датчиків). Файлом різниць в цьому випадку є тематичний шар, отриманий у вигляді порівняння різночасових знімків (растрів). За необхідності виявлення змін на обмеженій ділянці можна використовувати АОІ файл. У результаті отримуємо вікно проекту (рис. 2.16), у лівій частині якого знаходяться вихідні зображення, а у правій – результуюче із виявленими змінами.

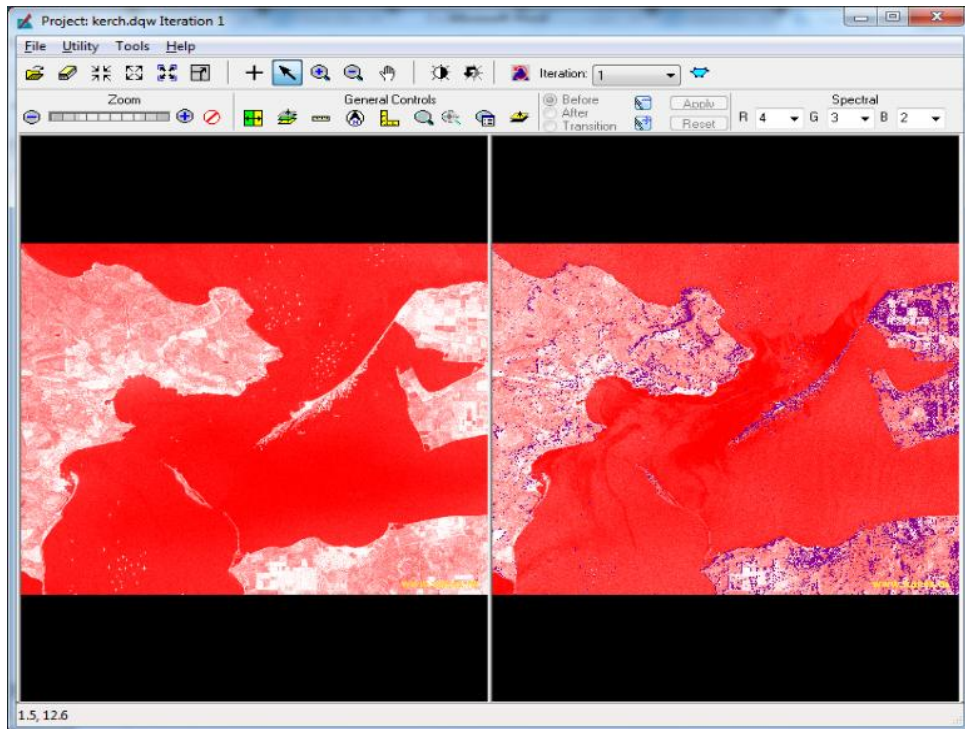


Рис. 2.16. Вікно перегляду космічного зображення після розливу нафти та результату застосування модуля виявлення змін

За замовчуванням зліва вихідні зображення подаються шарами: Time1 у верхньому шарі, а Time2 під ним. Справа відображається знизу Time2, а верхній шар – це кольорові зображення змін.

· Далі виконано декілька ітерацій, у яких проведено пошук змін за всіма трьома фільтрами, додавши і просторовий фільтр. Він обчислює декілька геометричних властивостей на основі контуру. До геометричних властивостей належать:

- Ø площа;
- Ø довжина головної осі;
- Ø довжина незначних осей;
- Ø компактність;
- Ø подовження.

У результаті пошуку змін отримали файл різниці (рис. 2.17).

Проаналізувавши отримане зображення, можна зробити висновок, що застосування фільтрів та виконання ітерацій якісно вплинули на результати виявлення змін.

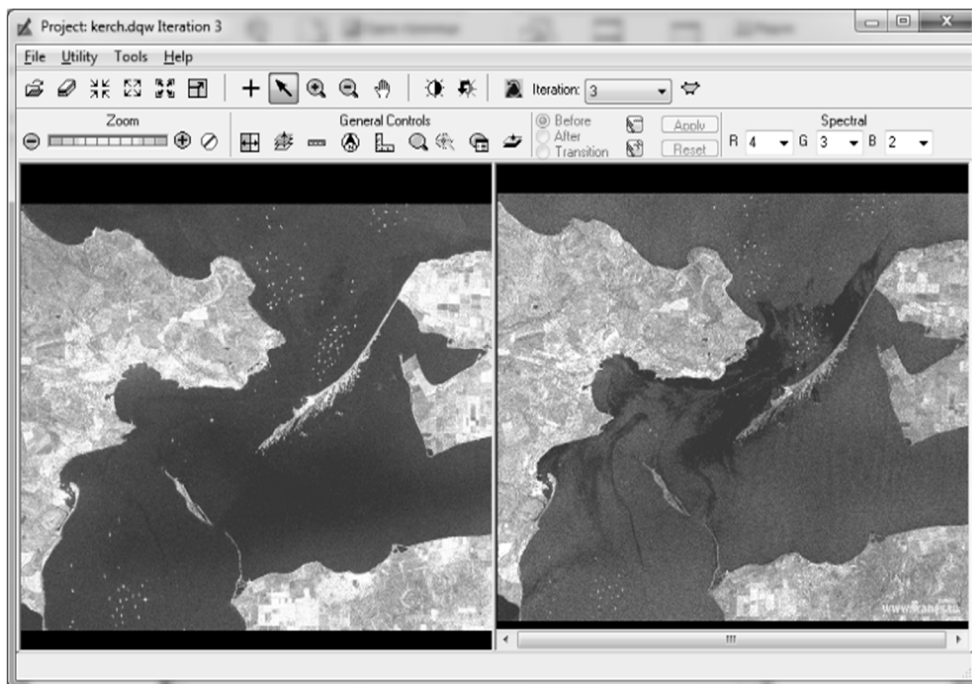


Рис. 2.17. Вікна космічних знімків після аварії та результату виявлення змін

Останній крок – це векторизація файла-різниці в автоматичному режимі та створення шейп-файла. На цьому зображенні міститься уся інформація про зміни, які виявив цей модуль, зокрема зміни в положенні суден у Керченській протоці з 15 до 16 листопада. Зміщення кольорових областей довкола однієї точки показує, що усі судна знаходились на якірній стоянці.

Аналогічні дії виконано і для космічних знімків Мексиканської затоки за 9 та 11 травня. Результатом застосування модуля виявлення змін стали зображення на рис. 2.18.

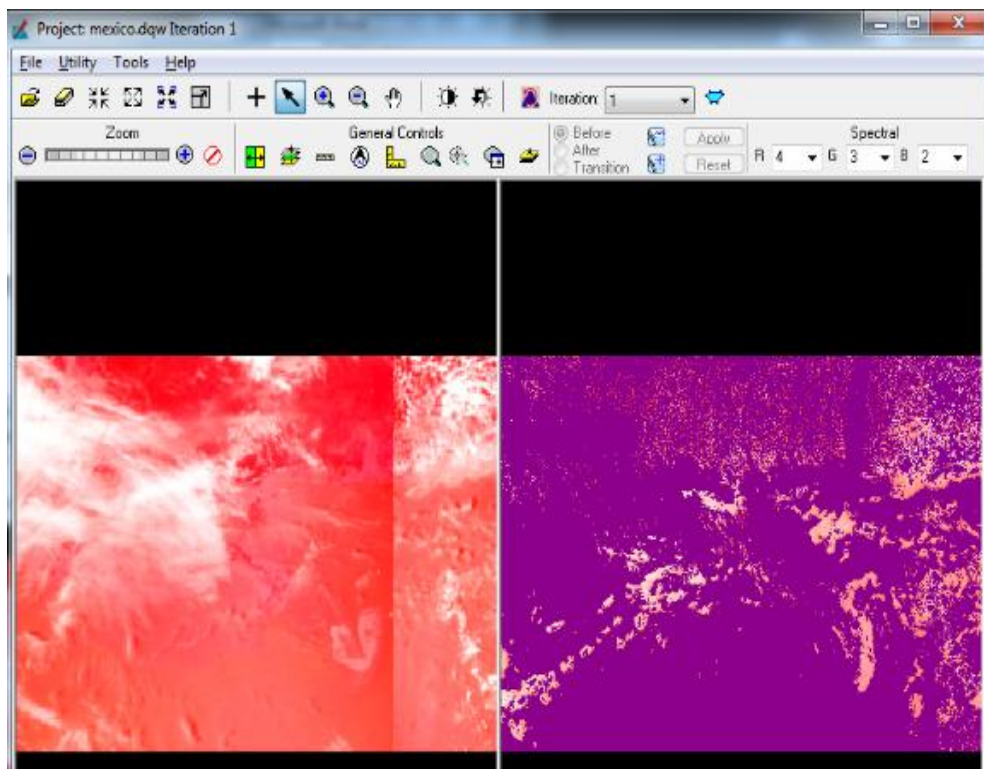


Рис. 2.18. Вікна перегляду космічного зображення після розливу нафти та результату застосування модуля виявлення змін

У лівій частині в'ювера розміщені знімки за 9 травня та 11 травня, а у правій відображаються сформовані класи змін, що розраховані автоматично за тими параметрами, які активовано раніше. Обидві частини зв'язані між собою, це можна побачити під час зміни масштабу правої чи лівої частини.

Як і у попередньому випадку, була проведена конвертація файла різниці у векторний формат в автоматичному режимі для подальшого його опрацювання.

Неконтрольована класифікація виконана методом ISODATA, що запрограмований у програмному пакеті ErdasImagine. Впродовж проведення класифікацій двох зображень за рахунок укрупнення кількості класів змінилася з початкових семи до кінцевих двох. Було проведено 9 ітерацій. Після їх завершення отримано растровий результат у вікні нового в'ювера (рис. 2.19).

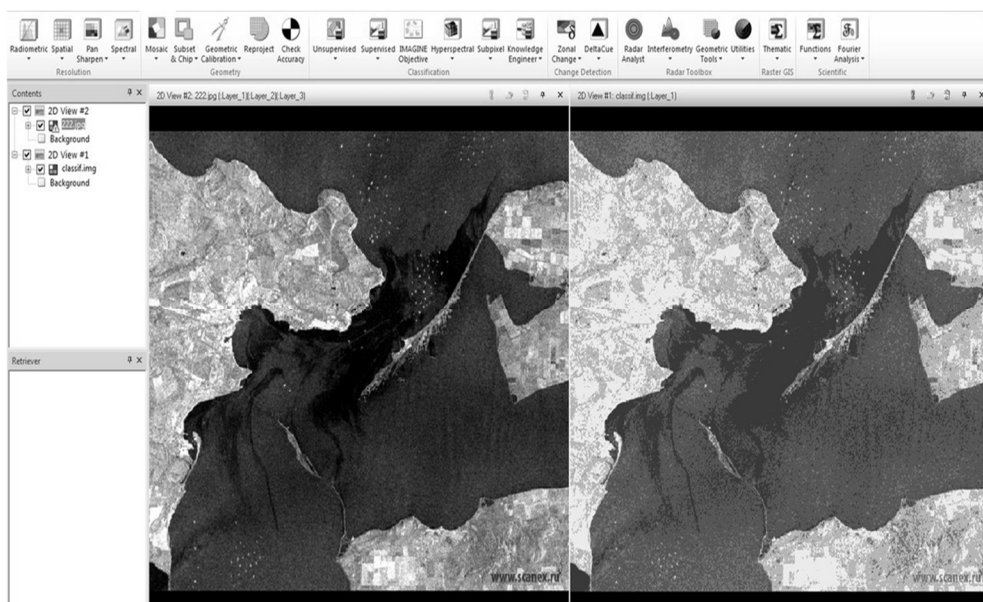


Рис. 2.19. Результат класифікації знімка для досліджуваної території Керченської протоки

Усі попередні дії застосовано і для знімків території Мексиканської затоки. Результати подано на рис. 2.20.

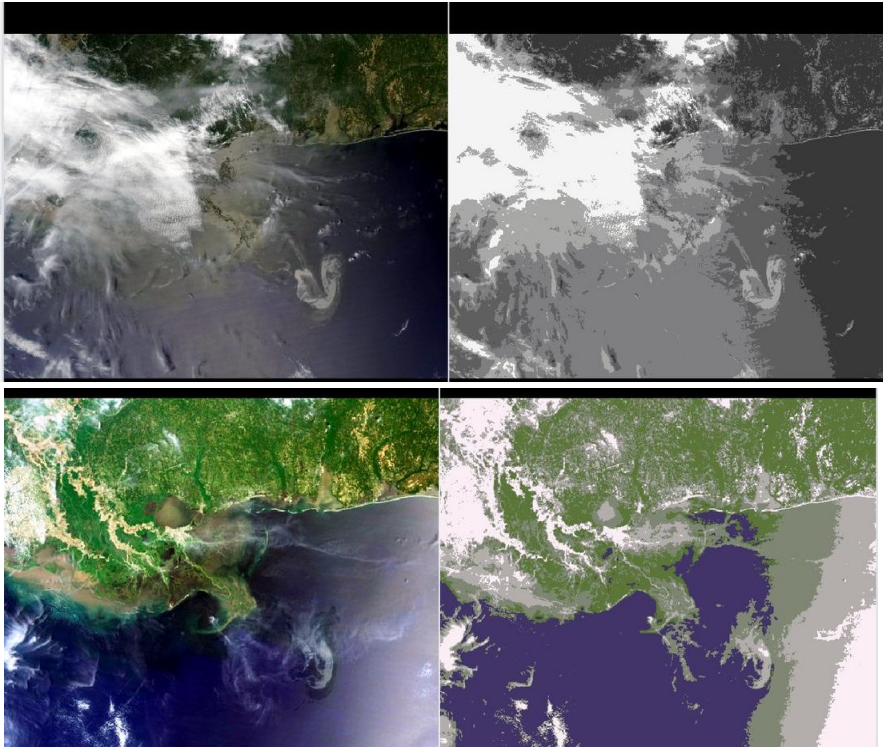


Рис. 2.20. Результати класифікації знімків для досліджуваної території Мексиканської затоки

Отримані результати експортовано у векторний формат даних share, внаслідок чого вдалося отримати безпосередньо площу розливу нафти.

У результаті досліджень отримано дві площі розливу нафти різними методами. На рис. 2.21 подано приклади одержаного контуру площ розливів нафти у Керченській протоці. На рис. 2.21, а подано площу розливу нафти, визначену за допомогою неконтрольованої класифікації пари знімків, а на рис. 2.21, б – визначену за допомогою модуля **DeltaCue**.

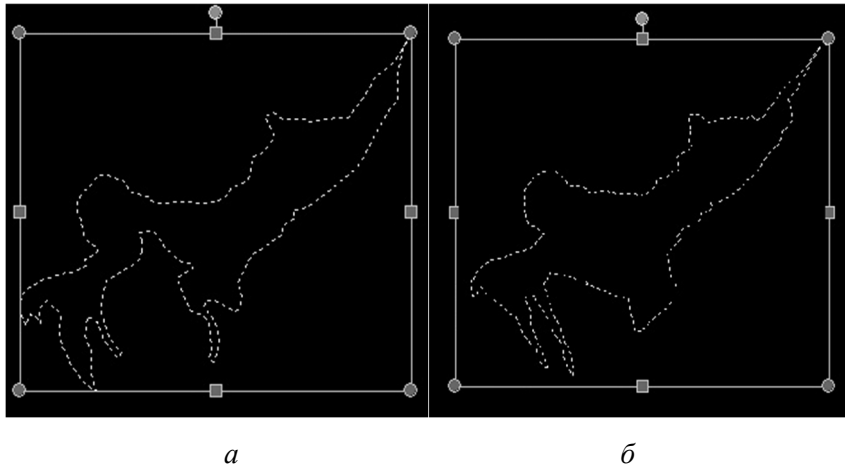


Рис. 2.21. Векторні шари отриманих площ розливу нафти в Керченській протоці: а – за допомогою неконтрольованої класифікації; б – за допомогою модуля пошуку змін

У табл. 2.2 подані кількісні показники розливу нафти, отримані двома методами для Керченської протоки. Як видно, площі майже однакові, але неконтрольована класифікація дала все ж трохи меншу площу. Це пояснюється неправильною реєстрацією деяких пікселів до відповідних класів.

Таблиця 2.2

**Площі розливу нафти в Керченській протоці,
отримані різними методами**

Територія	Модуль DeltaCue	Неконтрольована класифікація
Керченська протока, (16.11.04)	30918,4 км ²	29717,5 км ²

У табл. 2.3 подані кількісні показники розливу нафти, отримані двома методами для Мексиканської затоки. Спостерігається така сама ситуація з площами, як і при дослідженні Керченської протоки.

**Площі розливу нафти в Мексиканській затоці,
отримані різними методами**

Територія	Модуль DeltaCue	Неконтрольована класифікація
Мексиканська затока, (10.05.10)	74964,9 км ²	72556,2 км ²

2.5. Висновки до розділу 2

Завдяки визначенню змін величини площ за різночасовими знімками у програмному модулі DeltaCue та неконтрольованій класифікації була виявлена перспективність застосування ПП Erdas Imagine для вирішення завдань моніторингу техногенних катастроф.

У ході експериментальних досліджень отримані шейп-файли для територій Керченської протоки та Мексиканської затоки і обчислені площі нафтових плям.

Різниця визначених площ для Керченської протоки – 1200,9 км², що становить 4 % загальної площі нафтової плями, а для Мексиканської затоки – 2408,7 км², або 3 %. Ці різниці площ, отриманих двома методами, не є суттєвими, а також самі площі близькі до реальних значень. Це свідчить про ефективність запропонованого методу та практичну можливість реалізації методики визначення розливів нафти за різночасовими космічними знімками засобами ПП ERDASImagin. Такі дані можуть використовуватися для моніторингу катастроф та дослідження їх впливу на природне середовище та стан морських акваторій.

Розділ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН ЗАТОПЛЕНЬ ВНАСЛІДОК УРАГАНІВ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ

3.1. Класифікація стихійних лих за способом їх відображення на космічних знімках та вимоги до даних космічного знімання

За ступенем придатності космічних знімків для інформаційного забезпечення стихійних лих останні можливо розділити на такі класи:

Ø Ті, що ніяк не виявляються на космічних знімках (прогнозування, пошук, моніторинг, аварії):

- наслідки аварій в метрополітені;
- викиди патогенних мікроорганізмів;
- епідемії, отруєння;
- епізоотії.

Ø На космічних знімках фіксуються лише наслідки, в рідкісних випадках – джерело:

- аварії з викидом аварійно-хімічно небезпечних речовин;
- викиди метану, CO₂ тощо;
- аварії на АЕС, реакторах, сховищах;
- небезпечні метеорологічні явища.

Ø Досить часто з'являються малі за розмірами лиха, що чітко локалізуються, для них космічний моніторинг неефективний:

- автомобільні аварії (не ураховуючи найбільших);
- пожежі в будівлях, спорудах;
- аварії на комунальних мережах.

За космічними знімками можливо виконувати повний комплекс робіт (пошук, моніторинг, оцінку збитку, в деяких випадках – аварії):

• прогноз падіння вантажних поїздів, суден; авіа- і космічні трагедії; аварії на нафтопроводах, бурових платформах; викиди на нафтових і газових родовищах;

- несподіване обвалення будівель, споруд; аварії на електростанціях, енергомережах, очисних спорудах; гідродинамічні аварії;
- виверження вулканів, землетруси, зсуви, обвали, осипи, карстові процеси, ерозія, сходження лавин, цунамі, льодоутворення, зниження і підвищення рівня води, природні пожежі, ураження посівів і лісів хворобами і шкідниками, великі теракти.

Ортокорегована безшовна кольорова мозаїка з просторовою розрізненістю 2,5 м повинна відповідати за точністю карті масштабу 1: 25 000 для всієї території, не рахуючи міст і районів особливого інтересу. Для міст і районів особливого інтересу мозаїка за точністю має відповідати карті масштабу 1:10 000 [35].

Мозаїка виступає базисною просторовою базою, використовується з метою поєднання в однаковому географічному просторі всіх видів даних ДЗЗ, зібраних протягом моніторингу, та всієї іншої інформації, що має просторову компоненту.

Для мозаїки масштабу 1:25 000 пропонується застосовувати космічні знімки з такими параметрами:

- просторова розрізненість – не нижче за 2,5 м;
- панхроматичні (чорно-білі) знімки;
- матеріали космічного знімання повинні бути забезпечені моделлю і метаданими орієнтування у вигляді коефіцієнтів раціонального полінома (RPC), що надає геопозиціонування знімків з точністю не нижче ніж 12 м (СКП) на місцевості без застосування опорної наземної інформації;
- точність геопозиціонування ортотрансформованих знімків без застосування опорної наземної інформації – не нижче ніж 12 м на місцевості.

Під ці вимоги підходять космічні знімки з супутників WorldView-1, WorldView-2, WorldView-3, GeoEye-1, Pleiades-1A, 1B та інших космічних апаратів з надвисокою просторовою розрізненістю.

Своєчасне знімання надвисокої просторової розрізненості виконується за необхідності термінового відстеження локальних процесів або детального вибіркового спостереження за явищами і об'єктами:

- детальний своєчасний моніторинг підтоплення соціально-промислових об'єктів протягом повеней, які пов'язані з паводками на річках, штормовою діяльністю моря;

- детальний своєчасний моніторинг катастрофічних екзогенних рельєфоутворювальних процесів (зсуви, обвали, осипи, берегові процеси);
- детальний своєчасний моніторинг споруд і руйнувань будівель у результаті дії катастрофічних процесів (урагани, штормові вітри, зсуви, обвали, осипи, берегові процеси).

Радіолокаційне знімання фактично не залежить від наявності сонячного світла та погоди. Крім цього, воно дозволяє з високою точністю виявляти вертикальні й горизонтальні зміщення земної поверхні. Ці та інші особливості радарних космічних апаратів (COSMO-SkyMed 1-4, RADARSAT-2, TerraSAR-X, TanDEM-X і ін.) дозволяють успішно застосовувати отримані дані для відповіді на завдання моніторингу стихійних лих.

Радарні знімки дозволяють:

- проводити спостереження за деформаціями і зсувами земної поверхні з міліметровою точністю (диференціальна інтерферометрична обробка), а також виявляти зсуви;
- проводити моніторинг споруд і стан будівель;
- вивчати наслідки землетрусів;
- проводити моніторинг забруднення прибережних акваторій морів нафтопродуктами в результаті зливу пального з суден;
- виявляти вітровали і вирубки;
- оперативно оцінювати збитки від стихійних лих.

У деяких випадках для отримання і уточнення деталей оперативної інформації про ситуацію в районі стихійних лих космічне знімання дієво доповнює аерознімання з безпілотних літальних апаратів (БПЛА). БПЛА використовують з метою проведення пошуково-рятувальних робіт, спостереження, розвідки і т. д [36].

При встановленні відповідного знімального обладнання аерознімання із БПЛА дозволяє купувати цифрові знімки дуже високої просторової розрізненості (до 2–4 см) у різних спектральних діапазонах.

Це обладнання дозволяє вирішувати такі завдання:

- автоматизоване отримання ортофотопланів з просторовою розрізненістю до декількох сантиметрів;

- створення фотореалістичних цифрових 3D-моделей місцевості;
- моніторинг НС та їх наслідків, контроль за ходом аварійно-відновлювальних робіт, пошук потерпілих;
- оцінка й аналіз динаміки трансформацій місцевості;
- виробничо-екологічний моніторинг;
- дистанційний моніторинг на об'єктах нафтової промисловості, ЛЕП, сільськогосподарських угідь і лісових масивів;
- тепловізійне знімання.

У послідовності завдань моніторингу НС, що вирішуються із застосуванням космічних розробок, серйозне місце займає моніторинг повеней [37].

Наведемо список завдань спостереження за районами повеней, що вдало вирішуються способами космічного моніторингу, а також радарної і автоматизованої обробки даних дистанційного зондування Землі:

1. Картографування затоплених площ і територій великого затоплення.

2. Встановлення конкретних ділянок і підрахунок площ населених пунктів, сільськогосподарських угідь, лісового фонду, які зазнали підтоплення протягом паводку.

3. Встановлення конкретних ділянок і підрахунок довжини комунікацій (дороги, електролінії, трубопроводи і т. д.), які зазнали підтоплення протягом паводку.

4. Встановлення конкретних об'єктів і підрахунок загального числа об'єктів кожного типу, які зазнали підтоплення протягом паводку:

- житлові приватні й багатоповерхові будинки;
- садово-дачні ділянки, дачні споруди;
- ферми, тваринницькі комплекси;
- промислові, сільськогосподарські, соціально-культурні будови;
- місця зберігання хімічних відходів і добрив, скотомогильники, інші небезпечні об'єкти.

3.2. Методи визначення змін об'єктів за космічними знімками

Віднесення об'єкта до будь-якої класифікаційної групи відбувається за набором правил, що формуються з властивостей і характеристик зображення, яке опрацьовується. Інтерпретація застосовує логічні категорії, основані на корелятивних зв'язках між компонентами ландшафту. Прийняття рішень у тематичному дешифруванні пов'язане в основному з процедурою виділення поточного об'єкта графічно. При цьому для виділення об'єктів (поділу космічного знімка на області-однорідності), сегментації зображень і подальшої класифікації об'єктів у більшості випадків необхідно послідовно вирішити ряд завдань, а саме:

- виділення контурів на космічному знімку;
- локалізація і визначення меж об'єктів;
- сегментація зображення;
- класифікація і розпізнавання областей;
- виявлення змін областей на космічному знімку.

Після вирішення всіх цих завдань можливі точне дешифрування і аналіз космічних знімків.

Після проведення процедури сегментації, коли зображення являє собою безліч непересічних областей, необхідно провести їх класифікацію. Загальна схема побудови класифікатора така. Вводяться припущення про статистичні, структурні та інші властивості ознак. Для кожного класу об'єктів за наявними даними будується дискримінантна функція, що показує частку впевненості в приналежності цієї точки простору до ознак вибраного класу. Рішення про віднесення конкретного вектора ознак до одного з класів приймають на основі порівняння значень дискримінантних функцій у всіх класах. Сумарний ризик розраховується як частка помилкових відповідей побудованого вирішального правила на навчальній вибірці. Однак запропонований підхід обробки інформації вимагає виконання класифікації в досить специфічних умовах. Як такі класифікатори можуть бути використані різні стратегії, починаючи від класифікаторів за мінімальною

відстанню (Махалонобіса, Евкліда і т.д.) і закінчуючи ієрархічними деревоподібними класифікаторами і класифікаторами, основаними на нейронній мережі.

Основні труднощі пошуку відмінностей (зон змін) на супутникових знімках одного і того ж району, створених в різні моменти часу, пов'язані, в першу чергу, з різними умовами знімання, через що різні знімки можуть мати:

- різну просторову розрізненність (через те, що вони були створені під різними кутами);
- різну яскравість (через знімання за різних умов освітленості);
- дещо відмінні калібрування (через знімання з різних космічних апаратів).

Безперечно, ці відмінності зазвичай досить малі й не впливають на дослідження динаміки великих об'єктів. Однак на виділення змін на межі просторової розрізненності або на межі чутливості приладів впливають навіть незначні зміни умов знімання. Тому в таких випадках не завжди вдається знайти області змін, користуючись простим аналізом різниць досліджуваних зображень, оскільки в цьому разі дуже важко відокремити зміни, пов'язані зі зміною умов знімання, від змін реальних об'єктів. Тому для пошуку зон змін потрібно використовувати спеціальні алгоритми. Ці алгоритми повинні, в першу чергу, володіти стійкістю до змін умов знімання і калібрування.

Одним із найбільш значущих показників якості зображення є контраст K , під яким розуміють різницю між максимальним та мінімальним значеннями діапазону яскравості. З метою отримання достовірних результатів аналізу космічних знімків процедурі тематичної обробки передують ряд операцій, спрямованих на підвищення контрасту зображення об'єкта, що досліджується, щодо зображення фону, на якому він розташований. До таких процедур належить експонетричний розрахунок, який виконують перед проведенням знімання земної поверхні з метою вибору оптимальних параметрів реєстрації оптичного випромінювання земної поверхні бортовою

оптико-електронною апаратурою [38]. Інший підхід передбачає виконання попередніх процедур цифрової обробки зображень на наземних комплексах. Наприклад, підвищення контрасту досягається виконанням таких перетворень, як лінійне розтягування, нормалізація, лінеаризація і еквалізація гістограми зображення.

Сьогодні існує декілька підходів до оцінювання контрасту зображень. Один з підходів запропонував Р. А. Воробель [39]. Він дозволяє провести оцінку контрасту зображень у нормованому діапазоні яскравостей від 0 до 1. Відповідно до цього підходу, значення контрасту розраховується за формулою:

$$K = \frac{B_1 - B_2}{B_{max}}, \quad (3.1)$$

де K – значення контрасту; B_1 – вимірне значення яскравості зображення об'єкта; B_2 – вимірне значення яскравості зображення фону; B_{max} – максимальне значення діапазону яскравості зображення.

Важливо відзначити, що формула (3.1) представлена в узагальненому вигляді й використовується для оцінювання контрасту у випадку, якщо вміст зображень відомий, що накладає обмеження на можливість її використання методами машинного зору. Автоматизована обробка даних передбачає врахування розподілу значень яскравості всіх елементарних осередків у діапазоні яскравості цифрового зображення. Розв'язання цього завдання пропонується виконати, використовуючи методи статистичного аналізу на прикладі зображення з адитивною моделлю кодування кольору RGB. У термінах теорії ймовірностей яскравість такого зображення можна виразити через математичне очікування випадкової величини, яке знаходять за формулою:

$$M[X] = \sum_{i=1}^n x_i p_i, \quad (3.2)$$

де $M[X]$ – математичне очікування випадкової величини; x_i – вимірне значення випадкової величини; p_i – ймовірність появи значення випадкової величини у ряді вимірів; n – кількість вимірювань значень випадкової величини; i – номер вимірювання значення випадкової величини.

Відповідно до формули (3.2), яскравість цифрового зображення, виражена через математичне очікування випадкової величини, розраховується як середня яскравість усіх пікселів за формулою:

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i + G_i + B_i, \quad (3.3)$$

де B – середня яскравість цифрового зображення; RGB – кольорові канали в адитивній моделі кодування кольору; N – кількість пікселів у зображенні.

Формула (3.3) дозволяє оцінити фізичну яскравість цифрового зображення без урахування чутливості зорового аналізатора оператора до різних ділянок спектра оптичного випромінювання. У цих умовах оцінювання яскравості цифрового зображення з адитивною моделлю кодування кольору RGB доцільно виконувати за формулою:

$$B_{mid\ i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 0,299 R_i + 0,587 G_i + 0,114 B_i, \quad (3.4)$$

де B_{mid} – середня видима яскравість цифрового зображення.

Результати розрахунку видимої яскравості цифрового зображення за формулою (3.4) дозволяють оцінити яскравість контрасту шляхом порівняння різних ділянок знімка, приведених до ахроматичних кольорів. Аналіз структури гістограми зображення дозволяє зробити висновок, що контрастне зображення має приблизно однакову кількість темних та яскравих пікселів. Причому основне місце зосередження пікселів спостерігається біля меж діапазону яскравості. У термінах теорії ймовірностей об'єктивним показником яскравого контрасту є дисперсія випадкової величини, значення якої знаходять за формулою:

$$\delta^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (B_i - B_{mid})^2, \quad (3.5)$$

де δ^2 – дисперсія випадкової величини, що характеризує яскравий контраст.

Для представлення значення контрасту цифрового зображення в нормованому діапазоні яскравостей від 0 до 1 відповідно до формули (3.1) яскравості контраст можна виразити через відношення середньоквадратичного відхилення до максимального значення діапазону яскравості зображення:

$$K = \frac{2\sigma}{B_{\max}}. \quad (3.6)$$

Наведений підхід до оцінювання контрасту цифрових зображень покладено в основу автоматизованого пошуку змін стану земної поверхні з використанням різночасних космічних знімків.

Обробка даних космічного моніторингу з використанням математичного апарату (3.1)–(3.6) дозволяє виявити зміни стану земної поверхні внаслідок зміни контрасту різночасних знімків, що відповідають одній ділянці земної поверхні. Причиною зміни контрасту є зміна кількості об'єктів, що знаходяться в межах поля зору бортової оптико-електронної апаратури на момент формування космічного знімка [40]. Важливо відзначити, що реалізація пропонованого підходу практично передбачає виконання процедури попередньої обробки аналізованих зображень, суть якої зводиться до сегментації космічних знімків – розбиття зображень на фрагменти.

Для визначення змін об'єктів у Erdas Imagine є додатковий модуль IMAGINE DeltaCue, який дозволяє виявляти відмінності між двома знімками однієї і тієї ж території, отриманими в різний час. За рахунок динамічного встановлення порогів змін, а також просторової або спектральної фільтрації модуль дозволяє відображати тільки ті зміни, які цікавлять користувача.

Обробка та аналіз даних в IMAGINE DeltaCue організовані у вигляді проектів, що передбачають певну послідовність дій [41]:

- Попередня обробка.
- Виявлення змін.
- Фільтрація виявлених змін.
- Відображення і аналіз змін.

Формування різницевого зображення проводиться автоматично в модулі DeltaCue Erdas Imagine із застосування формули (3.7) послідовно до всіх відповідних пікселів попарно в кожному зі спектральних каналів.

$$d' = S_1 \times DN_2 - S_2 \times DN_1, \quad (3.7)$$

де DN_1 та DN_2 – значення пікселів у відповідних спектральних каналах знімка № 1 та № 2; S_1 та S_2 – середні арифметичні значення DN у кожному зі спектральних класів.

Чим більше значення d' за модулем, тим більші зміни, що відбулися на ділянці, й навпаки.

Знімки, що зіставляються, повинні бути геометрично та спектрально ідентичними. Для досягнення кращих результатів у модулі DeltaCue застосовують функції, що дозволяють здійснювати нормалізацію зображень.

Найширший арсенал методів може бути використаний під час виявлення змін за різночасовими супутниковими зображеннями, отриманими одним типом сенсора у подібних умовах знімання. Крім того, використання такої комбінації даних найефективніше з погляду різноманітності змін, що виявляються.

3.3. Методика визначення наслідків стихійних лих за різночасовими даними космічного знімання

Дослідження катаклізмів природного і техногенного походження є надзвичайно актуальною проблемою, а залучення до таких робіт новітніх технічних засобів, методик і технологій повинно сприяти позитивному впливові на покращення стану екосистеми в глобальному масштабі. Ураган Харві відбувся 29 серпня 2017 року, тропічний циклон у результаті сильних опадів викликав катастрофічні паводки в південно-східній частині Техасу. Крім цього, це найсильніший ураган в Мексиканському заливі після урагану Катріна в 2005 р. Ураган Ірма – потужний атлантичний тропічний циклон 5 категорії. Перший великий

ураган, що сформувався в східній частині Атлантичного океану. Його швидкість – 290 км за годину. Хвилі, що піднімає Ірма, сягають до 5–6 м у висоту. А за площею вони майже такі самі, як Франція. Застосування різночасових даних ДЗЗ дасть змогу оперативно оцінити руйнівні наслідки катаклізмів.

При вирішенні проблеми моніторингу надзвичайних ситуацій надається перевага космічним методам збору інформації, що є цілком виправданим, коли йдеться про великі території та вивчення глобальних явищ природного і техногенного походження [42–46].

У багатьох країнах, які мають доступ до космічної техніки і технологій дистанційного зондування, узаконено на державному рівні застосування аерокосмічного моніторингу. Аналіз ряду наукових робіт дав нам змогу сформулювати висновок, що можливості дистанційних методів постійно зростають і розширюються, і це стосується:

- застосування різноманітних сенсорів високої геометричної та радіометричної якості (багатоспектральних, гіперспектральних, оптичних, радіолокаційних, надвисокочастотних тощо);
- кардинального прискорення знімальних робіт на території з НС, замість кількох днів це декілька годин;
- швидкого обміну інформаційними потоками, що забезпечують сучасні мережеві та геопортальні вебтехнології;
- значно меншої залежності знімальних процесів від освітленості, метеорологічних умов, що в першу чергу пов'язано з використанням випромінювання в радіодіапазоні.

Мета дослідження – встановити відсоток руйнацій досліджуваних територій внаслідок стихійних лих за допомогою різночасових космічних знімків, отриманих із супутників GeoEye-1 та QuickBird.

Для визначення змін об'єктів у Erdas Imagine є додатковий модуль IMAGINE DeltaCue, який дозволяє виявляти відмінності між двома знімками однієї і тієї ж території, отриманими в різний час. За рахунок динамічної установки порогів змін, а також просторової або спектральної фільтрації модуль дозволяє відображати тільки ті зміни, які нас цікавлять [47, 48].

Для досягнення поставленої нами мети дослідження було запропоновано одну з можливих технологічних схем роботи, що подана на рис. 3.1 [49].

Вхідними даними для дослідження є синтезовані знімки, отримані з супутника GeoEye-1, з просторовим розрізненням 0,4 м штату Техас та синтезовані знімки, отримані з супутника QuickBird, з просторовим розрізненням 0,5 м штату Флорида до (2016 р.) і після (2017 р.) ураганів Харві та Ірма [50, 51, 52] (рис. 3.2, 3.3).

Наступним кроком була обробка трансформованих зображень у програмному модулі DeltaCue.

У діалоговому вікні вибору методу виявлення змін можна контролювати три типи фільтрів змін: спектральну сегментацію, неправильну реєстрацію пікселів пари зображень та просторову фільтрацію.

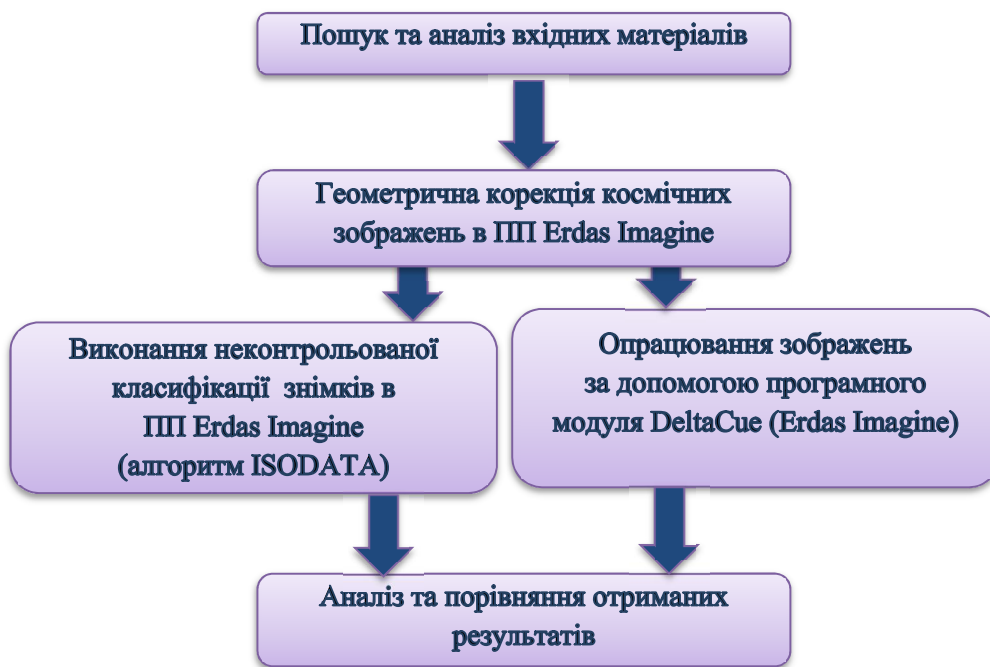


Рис. 3.1. Технологічна схема визначення наслідків стихійних лих за різночасовими даними ДЗЗ



*Рис. 3.2. Знімки штату Техас до (2016 р.)
та після (2017 р.) урагану Харві*



*Рис. 3.3. Знімки штату Флорида до (2016 р.)
та після (2017 р.) урагану Ірма*

Для отримання об'єктивної інформації щодо змін виконано пошук без та із застосуванням просторового фільтра. Спочатку

виконано пошук зміни пікселів залежно від їх спектрального класу та неправильної реєстрації пікселів пари зображень, але це не дало достатньо позитивного результату, оскільки залишалися фрагменти помилкових об'єктів (рис. 3.4).

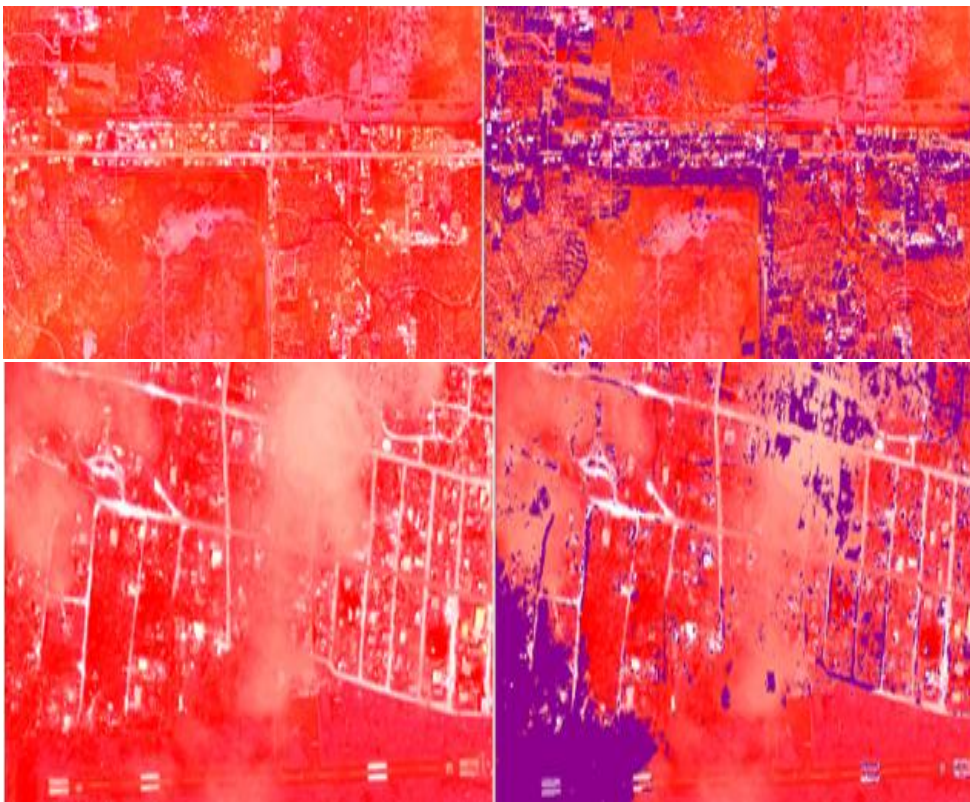


Рис. 3.4. Вікна космічного зображення після ураганів та результату застосування модуля виявлення змін DeltaCue

Далі виконали пошук за всіма трьома фільтрами (площа, компактність та подовження), додавши і просторовий фільтр також. У результаті отримано об'єктивне зображення різницевих даних двох знімків (рис. 3.5).

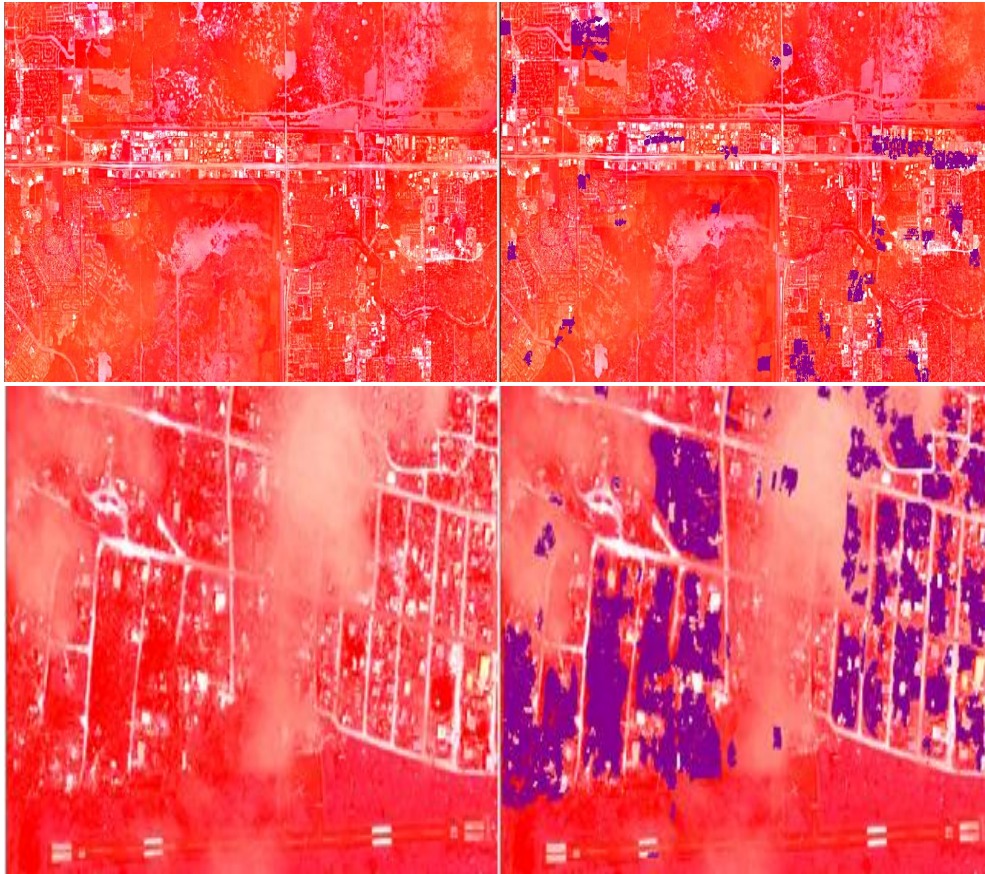


Рис. 3.5. Вікно результату обробки зображень у програмному модулі DeltaCue, в якому з лівого боку подано космічне зображення на дослідну територію після землетрусу та растрове зображення різницевих показників змін

Останнім кроком була векторизація файла-різниці в автоматичному режимі за допомогою функції запуску створення шейп-файла *Start DeltaCue Shapefile Output* для отримання загальної картини затоплених внаслідок урагану територій.

З отриманого шейп-файла визначено загальну площу затоплених локальних територій (рис. 3.6).

FID	Shape	AREA	PERIMETER	ID
0	Polygon	0,027	1,312	1
1	Polygon	0,018	0,937	9
2	Polygon	0,029	1,146	17
3	Polygon	0,011	0,75	25
4	Polygon	0,068	2,312	33
5	Polygon	0,056	2,291	41
6	Polygon	0,012	0,729	49
7	Polygon	0,017	1,458	57
8	Polygon	0,026	1,25	65
9	Polygon	0,22	4,145	73
10	Polygon	0,012	0,958	81
11	Polygon	0,013	1,042	89
12	Polygon	0,075	2,208	97
13	Polygon	0,017	1,167	105
14	Polygon	0,014	0,646	113
15	Polygon	0,019	1,042	121
16	Polygon	0,017	1,104	129
17	Polygon	0,232	4,937	137
18	Polygon	0,019	1,167	145
19	Polygon	0,08	3,479	153
20	Polygon	0,014	0,833	161
21	Polygon	0,011	0,812	169
22	Polygon	0,015	0,771	177
23	Polygon	0,016	0,979	185
24	Polygon	0,011	0,667	193

FID	Shape *	AREA	PERIMETER	ID
0	Polygon	0,047	2,028	1
1	Polygon	0,494	9,05	9
2	Polygon	0,024	1,083	17
3	Polygon	0,041	1,694	25
4	Polygon	0,02	1,361	33
5	Polygon	0,182	4,027	41
6	Polygon	0,181	6,055	49
7	Polygon	0,046	2,25	57
8	Polygon	0,075	3	65
9	Polygon	0,031	1,416	73
10	Polygon	2,578	13,217	81
11	Polygon	0,023	0,917	89
12	Polygon	0,16	5,083	97
13	Polygon	0,046	2,333	105
14	Polygon	0,076	3,916	113
15	Polygon	0,022	1,416	121
16	Polygon	0,072	2,083	129
17	Polygon	0,02	1	137
18	Polygon	0,02	1,694	145
19	Polygon	0,023	0,944	153

Рис. 3.6. Атрибутивна таблиця з полем площі для кожного затопленого полігонального об'єкта, за яким визначено сумарну площу

Згідно з даними, які отримано в результаті досліджень, загальна площа затоплення локальних територій відповідно до фрагмента знімка штату Техас становить 3,4 га, що відповідає 42 %, та штату Флорида – 8,6 га, що відповідає 37 %.

3.4. Визначення зон затоплень за допомогою неконтрольованої класифікації

Використовуючи комбінацію каналів RGB, у вікні перегляду Erdas Imagine було відкрито космічні знімки до та після урагану Харві й Ірма.

У діалоговому вікні неконтрольованої класифікації задано ім'я вхідного файлу та ім'я вихідного файлу, а також число класів [53]. Для першої ітерації задано 32 класи (рис. 3.7).

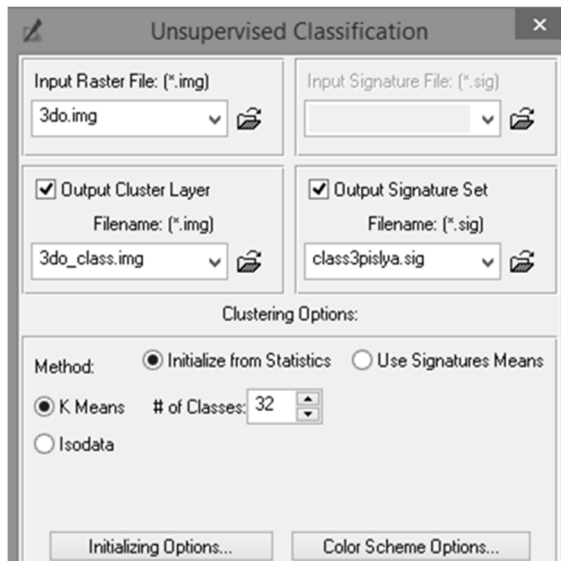


Рис. 3.7. Вікно налаштувань параметрів класифікації

У вікні перегляду відкриваємо отримане класифіковане зображення поверх вхідного, а також редактор атрибутів растра. В стовпцях *Class_Names* і *Color* відредаговано значення кольорів.

Вищенаведені дії повторено для всіх космічних знімків до та після ураганів Харві й Ірма (рис. 3.8, 3.9, 3.10, 3.11).

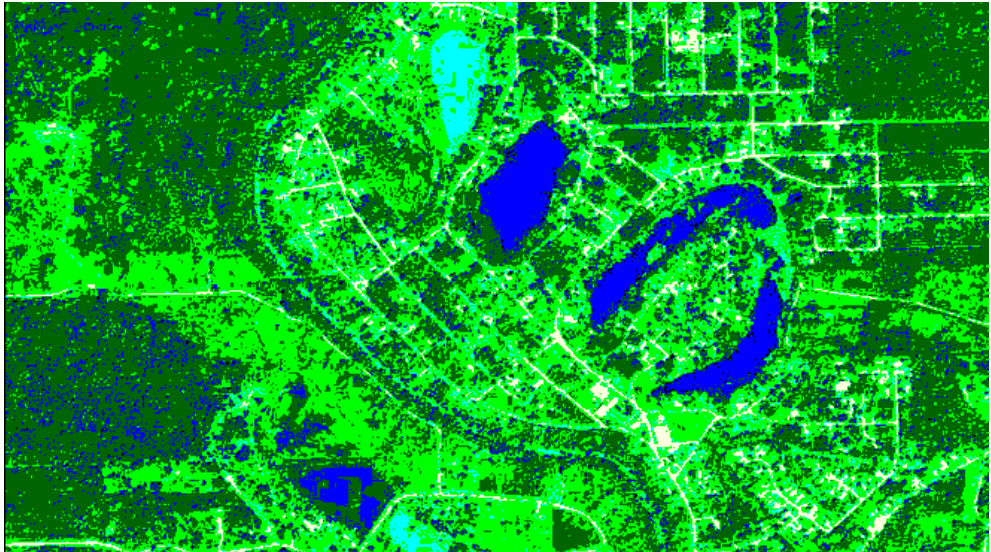


Рис. 3.8. Вікно з редагованим значенням кольору та укрупнення класів до урагану Харві

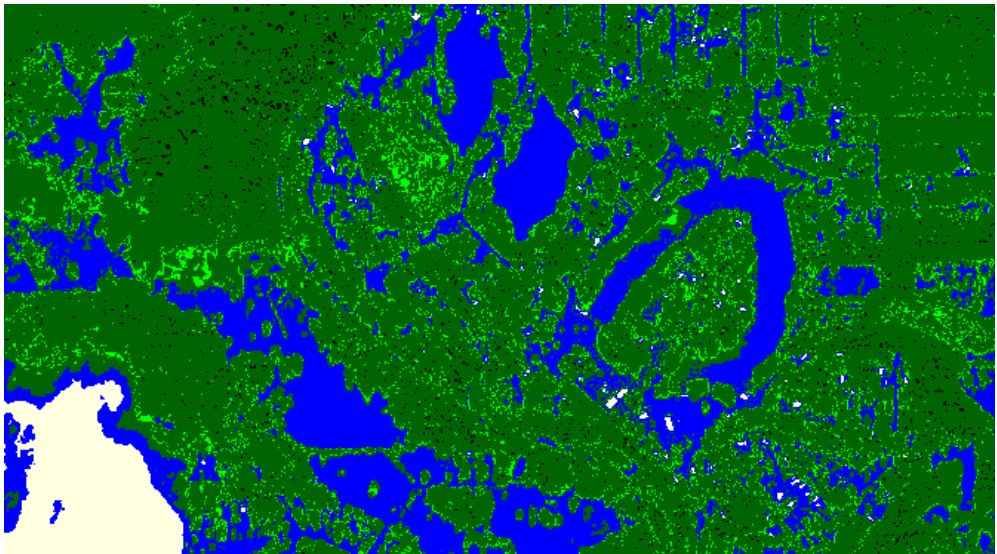


Рис. 3.9. Вікно з редагованим значенням кольору та укрупнення класів після урагану Харві

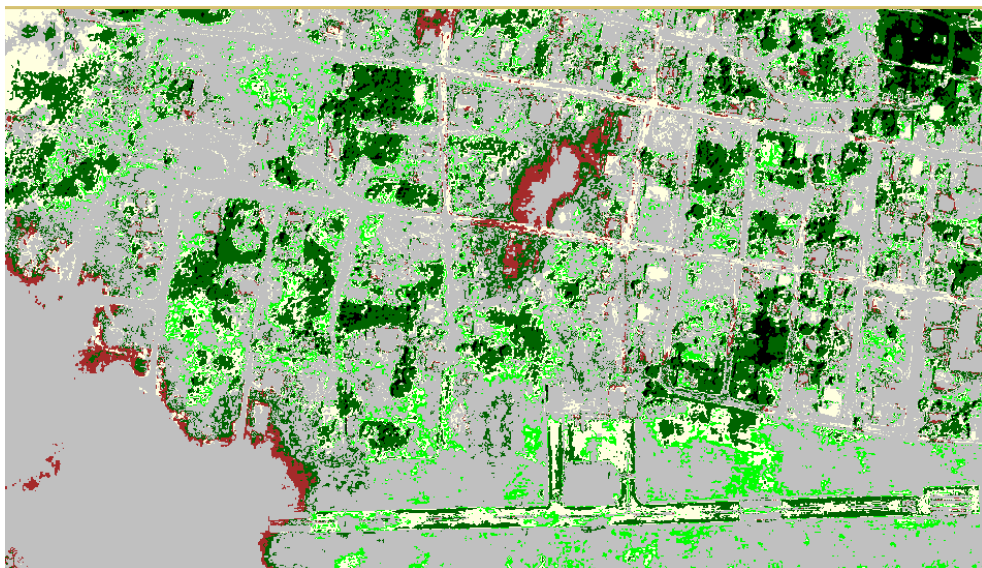


Рис. 3.10. Вікно з редагованим значенням кольору та укрупнення класів до урагану Ірма

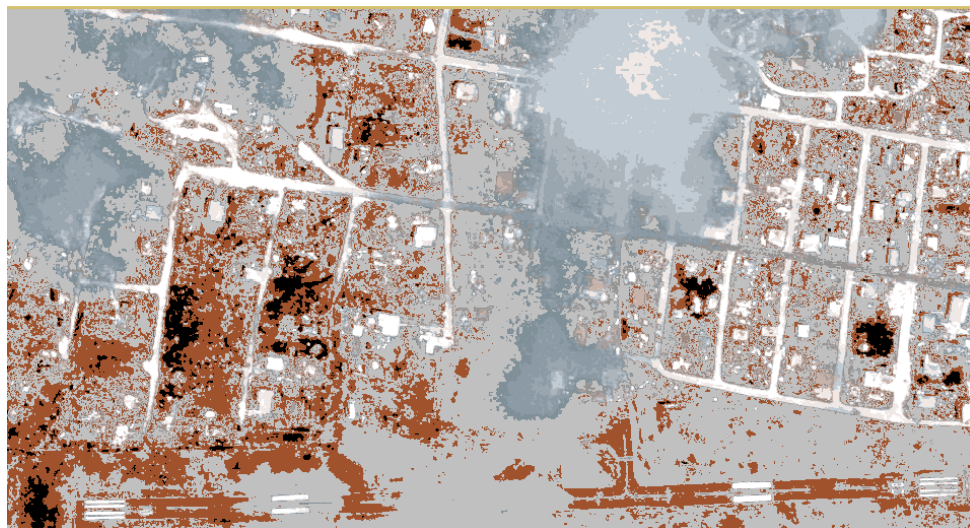


Рис. 3.11. Вікно з редагованим значенням кольору та укрупнення класів після урагану Ірма

Отримані результати експортовано у векторний формат та шляхом накладання шарів визначено зміни. В результаті неконтрольованої класифікації отримано площі змін на дослідних ділянках території, а саме: загальна площа затоплення фрагмента знімка передмістя штату Техас становить 4,6 га та фрагмента знімка передмістя штату Флорида – 8,9 га. Отримані результати є значно більшими за попередній метод, можливо, це пов'язано із великою кількістю шумів після класифікації або неправильним розпізнанням пікселів.

3.5. Висновки до розділу 3

У результаті опрацювання методики визначення зон затоплень внаслідок ураганів за даними ДЗЗ можемо зробити певні висновки:

1. Запропоновано одну з можливих технологічних схем виявлення різницевих показників руйнацій, спричинених ураганами Харві та Ірма, що містить дві методики DeltaCue та неконтрольовану класифікацію (алгоритм ISODATA).

2. Виконано пошук різницевих показників об'єктів за різночасовими даними ДЗЗ у модулі DeltaCue. Загальна площа затоплення фрагмента знімка передмістя штату Техас становить 3,4 га та фрагмента знімка передмістя штату Флорида – 8,6 га.

3. Виконано неконтрольовану класифікацію знімків. За нею загальна площа затоплення фрагмента знімка передмістя штату Техас становить 4,6 га та фрагмента знімка передмістя штату Флорида – 8,9 га. Отримані результати є значно більшими за попередній метод, можливо, це пов'язано із значною кількістю шумів після класифікації або неправильним розпізнанням пікселів.

Розділ 4

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РУЙНАЦІЙ, СПРИЧИНЕНИХ ЗЕМЛЕТРУСАМИ, ЗА РІЗНОЧАСОВИМИ ДАНИМИ ДЗЗ

4.1. Основні характеристики землетрусів та приклади найбільших з них

Землетрус – це будь-яке раптове потрясіння Землі, спричинене проходженням сейсмічних хвиль через земні породи [54]. Сейсмічні хвилі виробляються тоді, коли якась енергія, що зберігається в земній корі, раптово вивільняється, як правило, коли маси гірських порід, що наштовхуються одна на одну, раптом руйнуються і “ковзають”. Землетруси найчастіше трапляються вздовж тектонічних розломів, вузьких зон, по яких рухаються гірські маси одна щодо одної. Основні лінії розломів у світі розташовані біля меж величезних тектонічних плит, що утворюють земну кору.

Під загрозою землетрусів перебувають великі території, часто густонаселені. Найбільша небезпека землетрусів полягає в їх несподіваності та невідворотності. Дослідження, спрямовані на пояснення причин землетрусів, зі змінним успіхом ведуться вже багато років. Однак наукові досягнення останніх років у геофізиці, сейсмології та інших суміжних науках наблизили вирішення завдання прогнозування землетрусів [55]. Космічні системи моніторингу відкрили можливість безперервно та оперативно спостерігати за сейсмонебезпечними регіонами й аномаліями, що у них виникають. Ці аномалії з’являються у всіх сферах – літосфері, атмосфері та магнітосфері Землі. На сьогодні вивчено понад 200 провісників землетрусів, але жоден з них не є абсолютно надійним, хоча комплексне використання класів провісників іноді дозволяє вирішити завдання прогнозу – визначити місце, час та магнітуду землетрусу.

В основному для визначення магнітуди використовують шкалу Ріхтера (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Шкала Ріхтера

Рівень магнітуди	Категорія	Наслідки	Кількість на рік
менше ніж 1,0–2,9	мікро	Не відчуваються людьми	Понад 100,000
3,0–3,9	мінори	Відчуваються людьми без шкоди	12,000–100,000
4,0–4,9	слабкі	Відчутна незначна шкода будівлям	2,000–12,000
5,0–5,9	помірні	Можливі пошкодження слабких структур	200–2,000
6,0–6,9	сильніші від помірних	Пошкодження в населених пунктах	20–200
7,0–7,9	великі	Серйозні пошкодження на великих територіях, загибель людей	3–20
8,0 і вище	сильніші від великих	Великі пошкодження та велика кількість загиблих	Менше ніж 3

Основними характеристиками землетрусів є (рис. 4.1):

- глибина осередку;
- магнітуда;
- інтенсивність енергії на поверхні Землі.



Рис. 4.1. Схема землетрусу

Основні землетруси відбуваються в основному в поясах Землі, що збігаються з краями тектонічних плит [56]. Це вже давно відомо зі згадок людства про землетруси, і добре помітно на сучасних картах сейсмічності, де зображені інструментально обумовлені епіцентри. Найважливіший пояс землетрусів –Тихоокеанський пояс, який зачіпає багато населених прибережних регіонів навколо Тихого океану, наприклад, Нову Зеландію, Нову Гвінею, Японію, Алеутські острови, Аляску та західні узбережжя Північної та Південної Америки. За оцінками, 80 відсотків енергії, яка виділяється під час землетрусів, надходить від тих, епіцентри яких знаходяться в цьому поясі. Сейсмічна активність аж ніяк не рівномірна по всьому поясу, і в різних точках є ряд гілок. Оскільки в багатьох місцях циркум-Тихоокеанський пояс асоціюється з вулканічною активністю, його в народі називають “Тихоокеанським вогняним кільцем”, він призводить до різних руйнувань і загибелі великої кількості людей. Виникають землетруси непередбачувано, і хоч основні коливання продовжуються декілька секунд, наслідки фатальні. Землетруси можуть бути вулканічними, тектонічними, обвальними та іншими. Цунамі й землетруси можуть

виникнути також після падіння метеоритів або можливих зіткнень планети Земля з іншими позаземними тілами.

Землетруси в основному відбуваються за схемою певної серії поштовхів, основний з яких дає найбільшу кількість викинутої енергії. Кількість, сила та тривалість поштовхів є окремими для кожного виду землетрусу. Час, за який відбуваються поштовхи, переважно не перевищує кількох секунд.

Струс земної поверхні, який можна помітити, від головного поштовху триває від 30 до 60 с або ж навіть до 3–4 хв. Слабші поштовхи можуть тривати з інтервалами в декілька діб, тижнів, місяців та навіть кількох років.

Другий пояс, відомий як пояс Альпіда, проходить через середземноморський регіон на схід через Азію і приєднується до циркум-Тихоокеанського поясу в Східній Індії. Енергія, що виділяється в землетрусі від цього поясу, становить близько 15 відсотків від загальної кількості у світі. Тут також вражаються пов'язані пояси сейсмічної активності, головним чином уздовж океанічних хребтів – у тому числі в Північному Льодовитому, Атлантичному та західному Індійському океанах – і вздовж рифтових долин Східної Африки. Цей глобальний сейсмічний розрив найкраще можна зрозуміти з точки зору його тектонічного стану на плитах.

Методи прогнозування землетрусів.

У геофізиці (та інших науках) відомо безліч різних за генезисом та особливостями прояву провісників землетрусів. Перерахуємо деякі з них: форшоки, зміна нахилу земної поверхні, деформації гірських порід, аномальні варіації магнітного поля Землі, зміна електроопору гірських порід, зміна рівня води в колодязях та свердловинах, зміна температурного режиму поверхневих земних шарів, зміна хімічного складу вод та газів, незвична поведінка тварин, хмарні структури певного типу тощо. Відомо, що прогноз землетрусів зводиться до визначення основних параметрів: дати (d); місця (ϕ , λ – широта та довгота епіцентра) та інтенсивності (або магнітуди M) землетрусу.

Для вирішення проблеми прогнозу землетрусів проводилися дослідження, у яких розробляли нові підходи до прогнозування землетрусів. Йдеться про землетруси, що виникають до глибини 700 км. Раніше фахівці на основі даних наземного та космічного моніторингу виявили закономірності у структурі сонячно-земних зв'язків, які дозволили визначити класи ознак підготовки землетрусів.

Встановлено, що наявність визначених за будовою та фізичними властивостями хмарних структур, форм, що у високих шарах атмосфери, – ще одна ознака землетрусів. У класі хмарних ознак встановлені такі факти: на космічних знімках з геостаціонарних супутників, а також із супутників “Aqua”, “Terra”, NOAA та інших фіксується створення хмарних структур, які не мають пояснення в рамках класичних уявлень про хмарність [57]. Такі хмарні структури назвали хмарними сеймотектонічними індикаторами. У науковій літературі немає загального терміна, що позначає хмарний провісник землетрусу. Зокрема, можна зустріти такі назви, як тектонічні хмари, сейсмічні хмари, хмарні сейсмоіндуковані структури, лінійні хмарні аномалії, в зарубіжній літературі – earthquake clouds, seismic clouds. Вони утворюються в результаті дегазації Землі, насамперед при виділенні водню. Гіпотезу водневої дегазації висунув В. І. Вернадський. Пізніше стосовно тектоніки плит і сейсміки її розвинули В. М. Ларін, В. Л. Сироваткін та ін. Крім водню, до складу продуктів дегазації входять радон, гелій, аерозолі, заряджені частинки тощо.

Виявленню властивостей цих хмар передував досвід, внаслідок якого було з'ясовано, що хмарні структури переважно лінійні та трасують активні розломи, а також активні тектонічні межі, насамперед межі плит різного рангу (мега-, мезо- та мікроплит) у земній корі та мантії. Найхарактерніші зони їх виникнення – сейсмічно небезпечні регіони Землі, насамперед Тихоокеанське вогняне кільце. Виявлено мінімальний поріг довжини хмарного провісника – приблизно 400 км. Ця довжина визначена на підставі методики розрахунку магнітуди (M) можливої сейсмічної події; прийнято значення

мінімальної магнітуди, що дорівнює 6. Згідно зі шкалою сейсмічної інтенсивності та її співвідношення з магнітудою, за $M > 6$ слід очікувати сильне руйнування будівель, що може призвести до численних жертв серед населення, завдати екологічні та економічні збитки.

Розглянуті хмарні структури можуть переміщатися та/або повертатися відносно будь-якого розривного порушення під впливом загальної циркуляції атмосфери та/або під дією сили Лоренца. Вони можуть виглядати як чіткі лінії хмар, як “пухнасті”, розмиті хмарні структури, причому хмари можуть складатися з кількох лінійних утворень (трипальцеві, квадратні, Т-подібні тощо). На космознімках відзначається також відсутність хмарності на тлі суцільного хмарного покриву, тобто свого роду структура “провалля”, яка може мати різну геометричну форму (трапецієподібні утворення тощо). Крім того, виявлено, що циклони при переміщенні над активними тектонічними зонами змінюють траєкторію.

Час життя цих хмарних структур коливається від кількох годин до 2–3 днів. Як правило, хмари більшої протяжності (а значить, з більшою потенціальною магнітудою) живуть близько 10–15 годин, висота їх утворення – близько 5–10 км. Визначають висоту хмарної структури за допомогою космічних знімків у тепловому діапазоні. Встановлено також логарифмічний зв'язок між хмарною структурою максимальної протяжності та потенційною магнітудою:

$$M = \ln D, \quad (4.1)$$

де M – магнітуда; D – максимальна протяжність хмарної структури над активною сейсмотектонічною областю, км.

Два землетруси – землетрус Суматра та цунамі 2004 р. і Порт-о-Пренс 2010 р. – одні з найбільш смертельних в історії людства. Але деякі не менш фатальні сталися в дуже далекому минулому. До трійки лідерів належить землетрус в Анталії (Туреччина) в 115 р. Смертоносні землетруси були постійною загрозою протягом усієї нашої історії. Наймасштабніший землетрус в історії людства стався в Шеньсі й Хенань у Китаї 2 лютого 1556 р., він забрав найбільшу кількість життів. Згідно з приблизними оцінками, тоді загинуло 830 тисяч осіб. В історії

XX і XXI століть зафіксовано колосальну кількість коливань земної кори величезної сили, що спричинили численні людські жертви.

Найбільші землетруси в історії людства [58].

1. Шенсі, Китай, 23 січня 1556 року (магнітуда близько 8, майже 830 000 загиблих).

Цей землетрус стався в провінції Шанксі (колишній Шенсі), Китай, приблизно в 50 милях на північний схід від Сіану, столиці Шаньсі. Пошкодження поширилися на відстань приблизно 270 миль на північний схід від епіцентра, з повідомленнями про Люян в Хунані, більш ніж за 500 миль. Геологічні наслідки, про які повідомлялося в результаті цього землетрусу, включали ґрунтові тріщини, підняття, осідання, зрідження та зсуви. Більшість міст у районі пошкоджень повідомили, що міські стіни зруйновані, більшість будинків зруйновані, і багато містечок повідомили про розриви ґрунту та виливання води.

2. Таншань, Китай, 27 липня 1976 року (величина 7,5. Офіційна кількість жертв – 255 000. За оцінками, кількість загиблих досягла 655 000).

Пошкодження поширилися аж на Пекін. Це, мабуть, найбільший землетрус за кількістю загиблих за останні чотири століття і другий за величиною, зафіксований в історії.

3. Алеппо, Сирія, 9 серпня 1138 року (величина невідома, кількість загиблих близько 230 000 людей).

Сучасні повідомлення свідчать, що стіни другого за величиною міста в Сирії були зруйновані, а на вулиці було пошкоджено багато будівель. Цитадель Алеппо обвалилася, забравши сотні жителів. Хоча Алеппо був найбільшою громадою, постраждалою від землетрусу, він, швидше за все, не зазнав найбільшої шкоди. Європейські хрестоносці спорудили цитадель у сусідньому Харимі, яку землетрус зрівняв з землею. Також був знищений мусульманський форт в Аль-Атарібі, а декілька менших міст та заселених фортив було повністю зруйновано. Кажуть, що землетрус відчували далеко, аж до Дамаска, приблизно в 220 милях на південь. Землетрус в Алеппо був першим із кількох, що сталися між 1138 та 1139 роками та спустошили райони на півночі Сирії і на заході Туреччини.

4.2. Опис території досліджень та основні характеристики землетрусу

Землетрус стався за 30 км на південний захід від Халабджі в іракському Курдистані, недалеко від північно-східного кордону з Іраном. Епіцентр знаходився на глибині 33,9 км, поштовхи відчувалися в Туреччині, Ізраїлі та Кувейті. Рельєф місцевості міста Сарполь-е Захабб гірський. Землетрус магнітудою 7,3 бала, під час якого загинуло 207 людей та ще 1700 осіб постраждало.

Руйнування були щонайменше у восьми селах, за повідомленнями Міжнародного руху Червоного Хреста і Червоного Півмісяця.

Зона досліджень міститься в сейсмічно активній зоні на стику двох тектонічних плит, що продемонстровано на рис. 4.2.

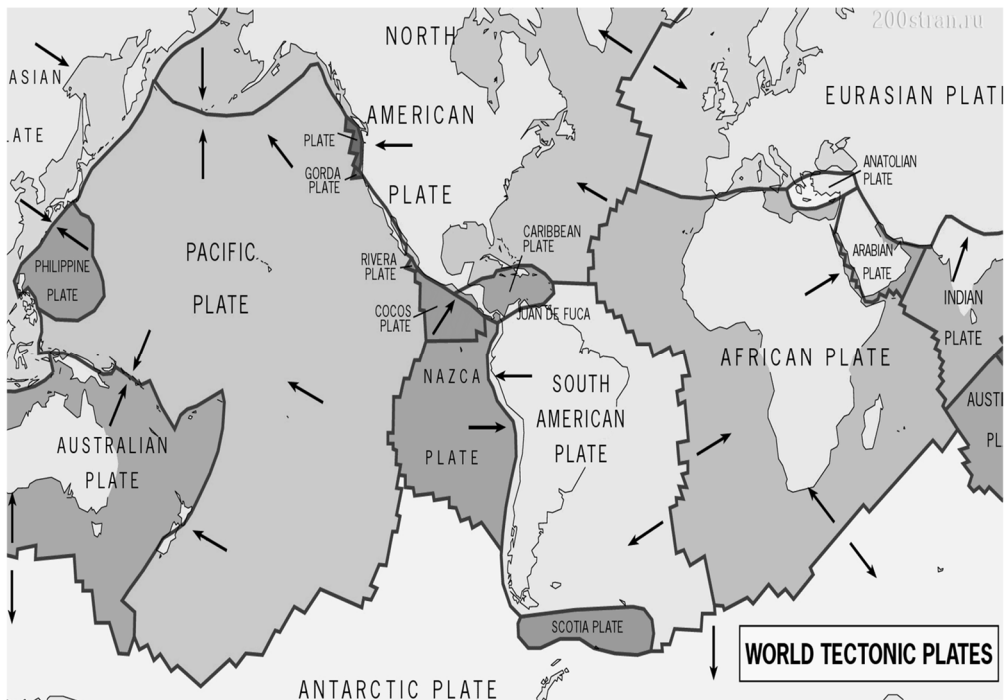


Рис. 4.2 Схема тектонічних розломів

Землетрус [59] відбувся 13 листопада 2017 року. Багато людей постраждало в місті Сарполь-е Захабб, приблизно за 15 км від кордону.

На рис. 4.3 подано схематично зони поширення землетрусу від його епіцентра.



Рис. 4.3. Зона поширення землетрусу на кордоні Іраку і Ірану

4.3. Методика визначення різницевих показників наслідків землетрусу за допомогою ПП Erdas Imagine

Оскільки основним завданням роботи було визначення загальної кількості зруйнованих об'єктів (будинків), то запропоновано технологічну схему, яка передбачає послідовні кроки виконання завдання,

починаючи з попереднього пошуку вхідних матеріалів і закінчуючи аналізом отриманих у результаті виконання послідовних дій даних (рис. 4.4)[60–67].

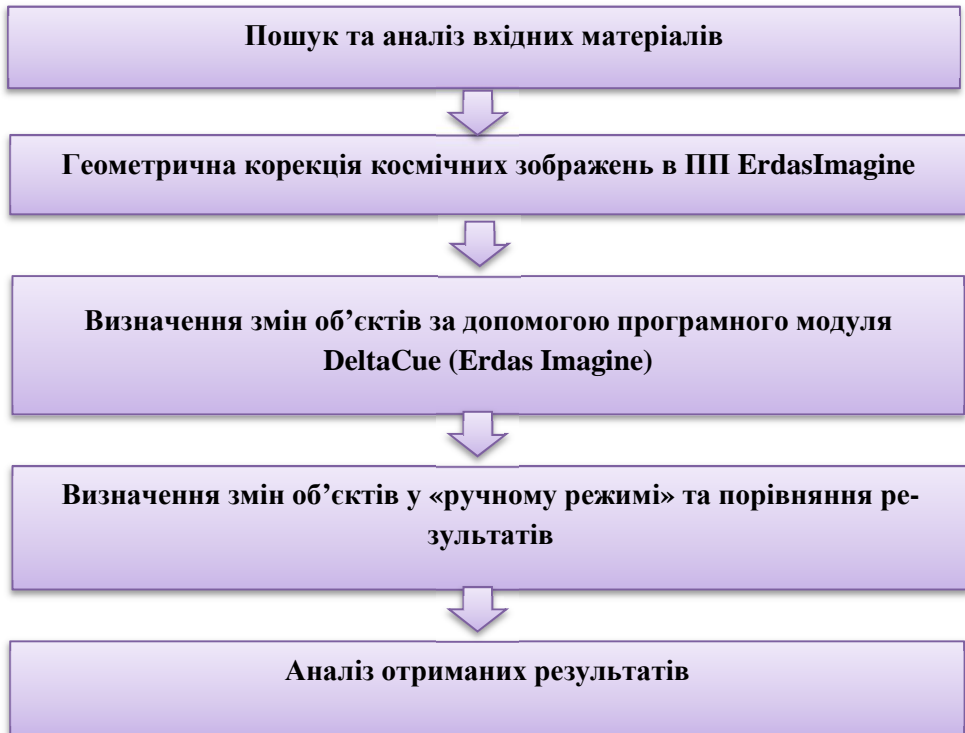


Рис. 4.4. Технологічна схема визначення різницевих показників наслідків землетрусу за допомогою ПП Erdas Imagine

Як вхідні дані для досліджень використовували два різночасові синтезовані космічні знімки на центральну частину міста Сарполь-е Захабб до та після землетрусу, отримані з супутника GeoEye-1 15.07.2017 і 18.11.2017 з просторовою розрізненністю 1,4 м (рис. 4.5, 4.6).



Рис. 4.5. Космічний знімок центральної частини міста Сарполь-е Захабб, отриманий 15.07.2017 (до землетрусу)



Рис. 4.6. Космічний знімок центральної частини міста Сарполь-е Захабб, отриманий 18.11.2017 (після землетрусу)

За допомогою програмного пакета ERDAS IMAGINE була проведена геометрична корекція космічних зображень на територію міста Сарполь-е Захабб до та після землетрусу поза 9 опорними точками (рис. 4.7).

Point #	Point ID	>	Color	X Input	Y Input	>	Color	X Ref.	Y Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib.	Match
1	GCP #9			45.847	34.451			45.847	34.451	Control	-0.000	-0.000	0.000	1.715	
2	GCP #1			45.859	34.452			45.859	34.452	Control	0.000	0.000	0.000	1.105	
3	GCP #2			45.857	34.447			45.857	34.447	Control	-0.000	-0.000	0.000	1.613	
4	GCP #3			45.846	34.446			45.846	34.446	Control	0.000	0.000	0.000	0.825	-0.592
5	GCP #4			45.854	34.448			45.854	34.448	Control	0.000	0.000	0.000	0.984	0.723
6	GCP #5			45.846	34.450			45.846	34.450	Control	0.000	0.000	0.000	0.312	0.648
7	GCP #6			45.853	34.445			45.853	34.445	Control	0.000	-0.000	0.000	0.342	0.915
8	GCP #7			45.852	34.452			45.852	34.452	Control	0.000	-0.000	0.000	0.471	0.850
9	GCP #8			45.861	34.450			45.861	34.450	Control	-0.000	-0.000	0.000	0.386	-0.304
10	GCP #10	▶				▶				Control					

Рис. 4.7. Каталог опорних точок

У геометричній корекції застосовано квадратичну поліноміальну модель другого степеня та обрано систему координат WGS84. Внаслідок проведення цих дій отримані середні квадратичні похибки, що становили 1,5 м по осі X та 1,9 м по осі Y для знімка до землетрусу та 1,7 м по осі X та 2,0 м по осі Y після нього, що задовольняють допустимі значення для мультиспектрального зображення, отриманого з супутника GeoEye-1.

Після геометричної корекції обидва знімки збережено в форматі GeoTIFF з присвоєною системою координат для кращого використання в подальшій роботі.

Наступним кроком було проведення пошуку змін об'єктів за різночасовими космічними знімками в програмному модулі DeltaCue. Спочатку виконано пошук змін за двома фільтрами (спектральна сегментація і неправильна реєстрація пари пікселів) (рис. 4.8), далі виконали пошук змін за всіма фільтрами, додавши і просторовий фільтр (рис. 4.9). Він розраховує декілька геометричних властивостей на основі контуру.

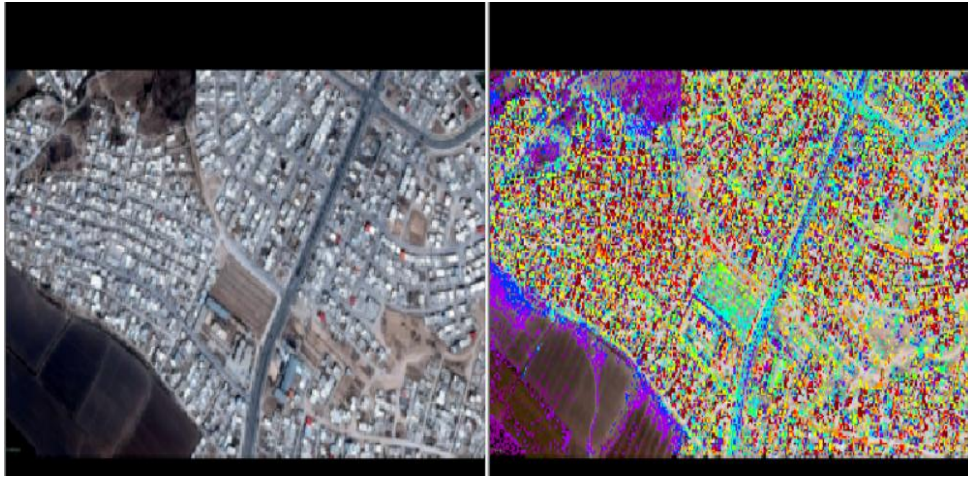


Рис. 4.8. Вікно із зображеннями знімка після землетрусу та зображенням різниці, отримане з використанням двох фільтрів

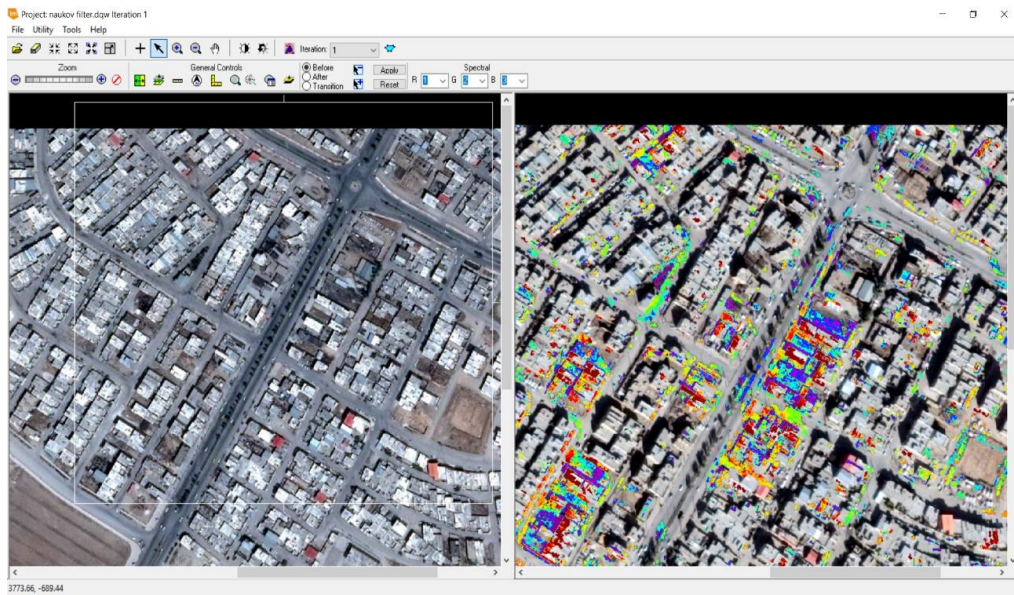


Рис. 4.9. Вікно із зображеннями після землетрусу та виявленими різницями з використанням фільтрів

Як видно з рис. 4.8 та 4.9, просторова фільтрація прибрала значну частину помилкових шумів з різницевого зображення.

Наступний етап – це векторизація файлу різниць в автоматичному режимі. Використано функцію запуску створення шейп-файла *Start DeltaCue Shapefile Output*. (рис. 4.10).



Рис. 4.10. Векторизоване зображення різниць двох знімків

Отриманий векторний шар очищено від усіх рухомих об'єктів і решти шумів (рис. 4.11).

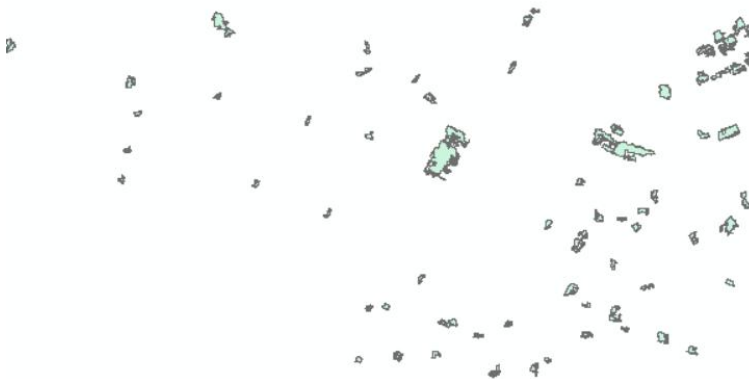


Рис. 4.11. Векторизоване зображення різниць після очищення рухомих об'єктів і шумів

Після програмного підрахунку було виявлено, що пошкодження отримав 61 об'єкт, а загальна площа пошкоджень дорівнює 19103 м², площа найбільшого об'єкта становить 3300 м² (рис. 4.12).

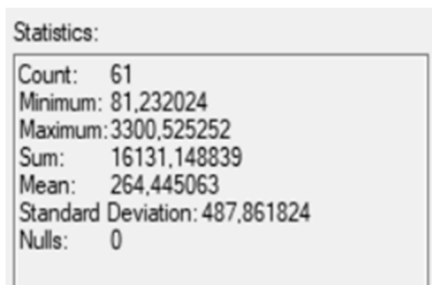


Рис. 4.12. Статистичні відомості векторизованого файла різниць

З графіка добре видно, що більшість об'єктів отримали незначні пошкодження (рис. 4.13).

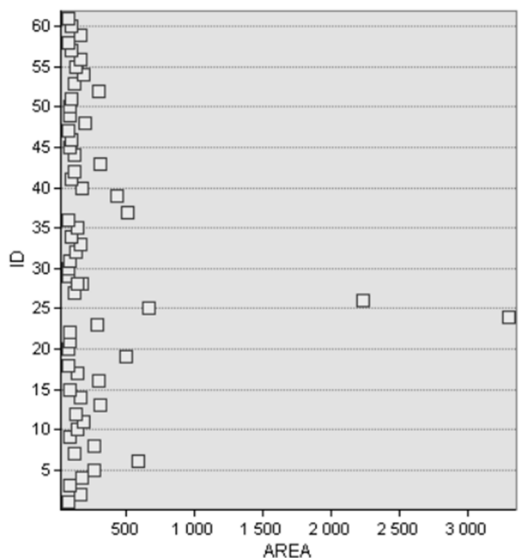


Рис. 4.13 Графік площ зруйнованих об'єктів

Проведено інтерпретацію руйнацій ручним методом, для цього вибрано програмний пакет ArcGIS. У програмному середовищі завантажено два знімки до та після землетрусу та створено шейп-файл для векторизації (рис. 4.14).

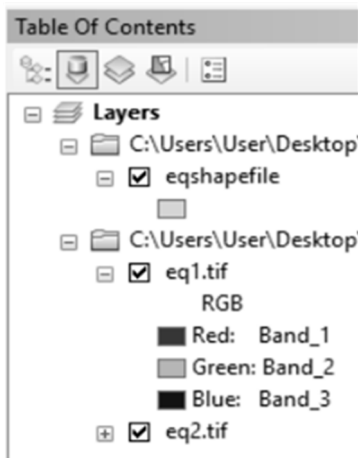


Рис. 4.14. Вікно із завантаженими шарами

Порівнюючи візуально два зображення, можна побачити різницю між об'єктом до землетрусу та об'єктом після (рис. 4.15).



a



б

Рис. 4.15. Різниця між об'єктами: *a* – до землетрусу; *б* – після землетрусу

Далі проведено векторизацію пошкоджених ділянок об'єктів на знімку після землетрусу (рис. 4.16).



Рис. 4.16. Приклад векторизованої пошкодженої ділянки будинку

У результаті отримано векторизований шар різниць двох знімків “ручним методом” (рис. 4.17).

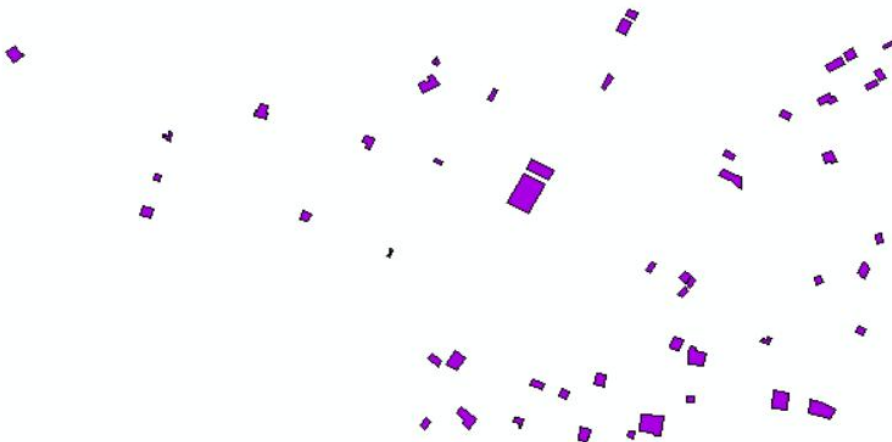


Рис. 4.17. Векторизований шар (вручну) об'єктів, які зазнали руйнації

За статистичними даними можна побачити, що оцифровано 52 об'єкти, загальна площа яких становить 16131,14 м². Максимальний об'єкт займає площу 2436 м², а мінімальний 63 м² (рис. 4.18).

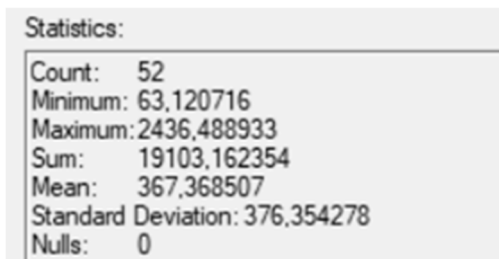


Рис. 4.18. Статистичні відомості векторизованих "ручним методом" об'єктів

За графіком розподілення об'єктів видно, що більшість з них містяться в зоні невеликих руйнувань (рис. 4.19).

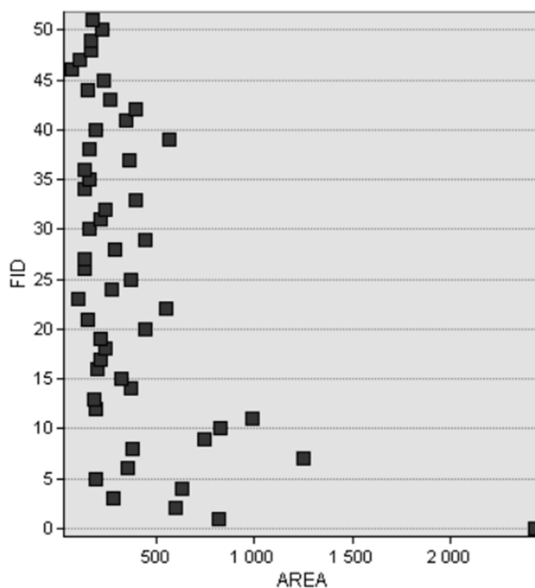


Рис. 4.19. Графік площ зруйнованих об'єктів

Проаналізувавши отримані результати виявлення площ пошкоджених об'єктів внаслідок землетрусу двома методами (в автоматичному режимі та в “ручному”), можна зробити висновок, що навіть після відбракування шумів і рухомих об'єктів у автоматичному режимі кількість об'єктів і загальна площа руйнацій більші, що свідчить про те, що людське око нездатне виявити всі деталі пошкоджень об'єктів на космічному знімку.

4.4. Висновки до розділу 4

У результаті опрацювання методики визначення різницевих показників наслідків землетрусу за допомогою ПП Erdas Imagine можемо зробити такі висновки:

1. Подано методику визначення різницевих показників наслідків землетрусу, що відбувся на ірако-іранському кордоні у 2017 р, автоматичним методом та порівняно їх з “ручним методом” визначення цих показників.

2. Результати виявлення площ пошкоджених об'єктів внаслідок землетрусу напівавтоматичним методом – пошкоджень зазнав 61 об'єкт, а загальна площа пошкоджень дорівнює 19103 м². “Ручним методом” виявлення змін за двома різночасовими знімками було виявлено, що пошкоджень зазнали 52 об'єкти, загальна площа яких 16131,14 м². Можна зробити висновок, що навіть після відбракування шумів і рухомих об'єктів у напівавтоматичному режимі кількість об'єктів і загальна площа руйнацій більші, а це свідчить про те, що людське око не здатне виявити всі деталі пошкоджень об'єктів на космічному знімку.

3. Результати можна використати для покращення підрахунку збитків після землетрусу, ці дані можуть використовувати служба надзвичайних ситуацій та рятувальники.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень з оцінки наслідків надзвичайних ситуацій за різночасовими даними дистанційного зондування Землі можна зробити такі висновки:

1. Складено технологічну схему та описано методику виявлення спалених територій за космічними знімками, що основана на використанні “дерев рішень” та бібліотеки комп’ютерного зору OpenCV. За цією методикою визначено, що пошкоджена пожежею територія Бородянського району – 11589 пікселів, або 9 % опрацьованого знімка.

2. У ході експериментальних досліджень отримані шейп-файли для територій Керченської протоки та Мексиканської затоки і обчислені площі нафтових плям. Різниця визначених площ для Керченської протоки – 1200,9 км², що становить 4 % загальної площі нафтової плями, а для Мексиканської затоки – 2408,7 км², що становить 3 %. Ці різниці площ, отримані двома методами, не є суттєвими, а також самі площі близькі до реальних значень. Це свідчить про ефективність запропонованого методу та практичну можливість реалізації методики визначення розливів нафти за різночасовими космічними знімками засобами ПП ERDASImagin. Такі дані можна використовувати для моніторингу катастроф та дослідження їх впливу на природне середовище та стан морських акваторій.

3. Виконано пошук різницевих показників об’єктів за різночасовими даними ДЗЗ у модулі DeltaCue, загальна площа затоплення фрагмента знімка передмістя штату Техас становить 3,4 га та фрагмента знімка передмістя штату Флорида – 8,6 га. Виконано неконтрольовану класифікацію знімків, згідно із якою загальна площа затоплення фрагмента знімка передмістя штату Техас становить 4,6 га та фрагмента знімка передмістя штату Флорида – 8,9 га. Отримані результати є значно більшими за попередній метод, можливо, це пов’язано із великою кількістю шумів після класифікації або неправильним розпізнанням пікселів.

4. Результати виявлення площ пошкоджених об'єктів внаслідок землетрусу напівавтоматичним методом – пошкоджень зазнав 61 об'єкт, а загальна площа пошкоджень дорівнює 19103 м². “Ручним методом” виявлення змін за двома різночасовими знімками було виявлено, що пошкоджень зазнали 52 об'єкти, загальна площа яких 16131,14 м². Можна зробити висновок, що навіть після відбракування шумів і рухомих об'єктів у напівавтоматичному режимі кількість об'єктів і загальна площа руйнацій є більшими, а це свідчить про те, що людське око не здатне виявити всі деталі пошкоджень об'єктів на космічному знімку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пошлякова Л. П. Методика создания ГИС-проекта на основе данных дистанционного зондирования Земли с целью оценки пожароопасности территории. 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lib.convdocs.org/docs/index-91001.html>
2. Журавлёва И. Мониторинг пожаров на природных территориях с помощью сервиса FIRMS [Электронный ресурс] / И. Журавлёва. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/firms.html>.
3. О пожарной информационной системе FIRMS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ladogapark.ru/a100513124130.html>.
4. Лурье И. К. Теория и практика цифровой обработки изображений / И. К. Лурье, А. Г. Косиков. – М., 2003. – 167 с.
5. Деревья решений – общие принципы работы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://basegroup.ru/community/articles/description>.
6. Виноградова Н. С. Выделение растительности и объектов гидрографии по снимкам городских территорий сверхвысокого разрешения / Н. С. Виноградова, Е. А. Кобзева // Пространственные данные. – 2009. – № 4. – С. 42–46.
7. Дубинин М. Классификация растровых данных с помощью еревяев решений в R [Электронный ресурс] / М. Дубинин. – 2011. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/classify-trees-r.html>.
8. OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/OpenCV>.
9. Столиця в диму: пожежа під Києвом все ще не згашена. 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dt.ua/UKRAINE/stolicya-v-dimu-rozhezha-pid-kiyevom-vse-sche-ne-zgashena-183517_.html.
10. Зібцев С. Прес-реліз регіонального Східноєвропейського центру моніторингу пожеж (REEFMC) щодо задимлення м. Києва протягом 2–3 вересня 2015 р. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nubip.edu.ua/node/16228>.
11. Дубинин М. Продукты MODIS – Land. 2006. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gislab.info/qa/modislandprod.html>.
12. MODIS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gis-lab.info/projects/ss/sensor/modis.html>.

13. Четверіков Б., Ковальчук Н. Методика визначення спалених пожежами територій за космічними знімками // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2016. – Вип. II(32). – С. 124–128

14. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://newsradio.com.ua/2013_04_18/Potuzhn-tehnogenn-katastrofi-v-sv-t-u-2000-2013-rokah/

15. Соловійова Ж. Ф. Забруднення Світового океану нафтопродуктами / Ж. Ф. Соловійова, Г. В. Непейна // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу “Києво-Могилянська академія”]. Серія: Екологія. – 2011. – Т. 150, Вип. 138. – С. 76–81. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2011_150_138_20.

16. Оперативный спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения юго-восточной части Балтийского моря / Костяной А. Г., Литовченко К. Ц., Лаврова О. Ю. и др. [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.iki.rssi.ru/earth/articles06/vol1-022-031.pdf.

17. Российские сервисы спутникового мониторинга нефтяных загрязнений морских акваторий: реалии и возможности / Кучейко А. А., Затягалова В. В., Модеев Р. Н., Становой В. В. // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. – 2009. – № 3. – С. 25–29.

18. Bonn Agreement Aerial Surveillance Handbook, 2004. Ver. 25. 96 p.

19. Костяной А. Г. Дистанционное зондирование океанов и морей [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.expo2012korea.ru/participants/distancionnoe-zondirovanie-okeanov-i-morej-intervyu-s-a-g-kostyanym/>

20. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – М.: Ин-октаво, 2005. – 368 с.

21. Нефтяные загрязнения восточной части Черного моря: космический мониторинг и подспутниковая верификация / К. Ц. Литовченко, О. Ю. Лаврова, М. И. Митягина и др. // Исследование Земли из космоса. – 2007. – № 1. – С. 81–94.

22. Иванов А. Ю. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации / А. Ю. Иванов, И. С. Ермошкин // Технологии ТЭК. – 2004. – № 3. – С. 64–69.

23. Иванов А. Применение средств космической радиолокации для мониторинга морской добычи и транспортировки нефти / А. Иванов, А. Островский // Технологии ТЭК. – 2003. – № 6. – С. 58–64.

24. Красовський Г. Я., Петросов В. А. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. – Київ: Наукова думка, 2003. – 223 с.
25. Alpers, W., & H. Espedal (2004). Oils and surfactants. In: Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual. U.S. Department of Commerce, Washington, pp. 263–276.
26. Brekke, C., & A.H.S. Solberg (2005). Oil spill detection by satellite remote sensing. *Rem. Sens. Environ.*, 95: 1–13.
27. Lončar, J., & M. Maradin (2009). Environmental challenges sustainable development in the Croatian North Adriatic littoral region. *Razgledi*, 31: 159–173. Available at: http://www.ff.uni-lj.si/oddelki/geo/publikacije/dela/files/dela_31/10_loncar.pdf.
28. Ostergaard, P. Oil Spill Contingency Planning and Technical Cooperation of the Black Sea Region, 2004.
29. Fingas, M. F., Brown, C. E. (2000). Review of oil spill remote sensing // Proc. of the 5th Internat. Conf. on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp. 211–218.
30. Rasmussen, C., Gerke, O., Greco, M., Richard, P., Alberto, J., Dobson, E., Nijenhuis, R. (2007). Spill in Kerch Strait, Ukraine, Final Report, Community Civil Protection Mechanism, European Commission.
31. Shi, L., A. Yu. Ivanov, M.-X. He, & C. Zhao (2008). Oil spill mapping in the western part of the East China Sea using synthetic aperture radar imagery. *Int. J. of Rem. Sens.*, 29 (21): 6315–6329.
32. Kostianoy A. et al. (2006). Operational satellite monitoring of oil spill pollution in the Southeastern Baltic Sea: 1.5 Years experience, 2006 IEEE US/EU Baltic International Symposium, pp. 1–11. DOI: 10.1109/BALTIC.2006.7266136.
33. Wan J. and Cheng Y. (2013). Remote sensing monitoring of Gulf of Mexico oil spill using ENVISAT ASAR images, 2013 21st International Conference on Geoinformatics, pp. 1–5. DOI: 10.1109/Geoinformatics.2013.6626165.
34. Четверіков Б., Корнієнко О., Сорока О., Кілару В. Методика визначення розливів нафти в Керченській протоці за різночасовими космічними знімками // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2019. – Вип. II(38). – С. 67–71.

35. Карпінський Ю. О. Досвід використання космічних знімків із супутника QuickBird (Standard) для великомасштабного картографування / Ю. О. Карпінський, Л. О. Скакодуб, А. В. Єгоров // Вісник геодезії та картографії. – 2007. – №2 (47). – С. 22-29.

36. Лащёнов Ю. М. Созвездие спутников DigitalGlobe: реалии и перспективы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pryroda.gov.ua>.

37. Maglione P. Very High Resolution Optical Satellites: An Overview of the Most Commonly used. American Journal of Applied Sciences 2016, 13 (1): 91–99. DOI: 10.3844/ajassp.2016.91.99.

38. Занин К. А. Выбор параметров оптико-электронной космической системы наблюдения по качеству изображения // Полет: общероссийский научно-техн. журнал. – 2007. – № 11. – С. 30–37.

39. Воробель Р. А. Цифровая обработка изображений на основе теории контрастности: дис. д-ра техн. наук. Львов, 1999. – 369 с.

40. Васильев А. С. Совмещение тепловизионного и телевизионного изображений при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений / В. В. Коротаев, А. В. Краснящих, О. Ю. Лашманов, О. Н. Ненарокомов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2012. – Т. 55. – № 4. – С. 12–16.

41. ERDAS IMAGINE: практ. руководство Tour Guides / Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC. Nocross (Georgia), 2005. – 256 с.

42. Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення економічної безпеки // Постанова Верховної Ради України від 03.03.1998. № 188/98-ВР. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/188/98-вр>.

43. Положення про державну систему моніторингу довкілля: Постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 р., № 391. 8 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/391-98-п>.

44. Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій: Постанова Кабінету Міністрів України від 18.07.1998 р. № 1099 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1099-98-п>.

45. Стародуб Ю. П. Інформаційні технології у комп'ютерному моделюванні еколого-геофізичних процесів: навч. посіб. / Ю. П. Стародуб, П. П. Урсуляк. – Львів: Вид-во ЛДУ БЖД, 2013. – 160 с.

46. Світличний О. О. Основи геоінформатики / О. О. Світличний, С. В. Плотницький. – Суми: ВТД “Університетська книга”, 2006. – 295 с.
47. Лурье И. К. Теория и практика цифровой обработки изображений / И. К. Лурье, А. Г. Косиков; под ред. А. М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
48. Кашкин В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учеб. пособ. / В. Б. Кашкин. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
49. Четверіков Б. В., Онуфрак К. Р. Методика визначення наслідків стихійних лих за різночасовими даними ДЗЗ (на прикладі штатів Техас і Флорида) // Інженерна геодезія. – 2018. – Вип. 65. – С. 181–188.
50. Jacobsen K. High resolution satellite imaging systems – overview. ISPRS Archives – Vol. XXXVI-1/W3, 2005. WG I/5, IV/3, I/1, I/3, IV/2 ISPRS Hannover Workshop, 2005.
51. Лащёнов Ю. М. Созвездие спутников DigitalGlobe: реалии и перспективы развития [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pryroda.gov.ua>.
52. Бурштинська Х. Гібридна класифікація лісів за космічними знімками високого розрізнення / Х. Бурштинська, Б. Поліщук, О. Фіковська // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наук. праць Західного геодезичного товариства УТГК. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – Вип. 1 (27). – С. 86–93.
53. Бурштинська Х. Дослідження методів класифікації лісів з використанням космічних знімків високого розрізнення / Х. Бурштинська, Б. Поліщук, О. Ковальчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – Вип. 78 – С. 101–110.
54. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://sites.google.com/site/fireoverdose/organizacia-avarijno---ratuvalnih-robot/zemletrusi-pticini-viniknenna-harakteristiki-vrazauci-faktori-naslidki-najbilsizemletrusi-v-istorie-ludstva>.
55. Tronin A. A. Remote sensing and earthquakes: A review / Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Vol. 31, Is. 4–9, 2006, pp. 138–142. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.02.024>.
56. Геоматика в моніторингу довкілля та оцінці загрозливих ситуацій. монографія / О. Дорожинський, Х. Бурштинська, В. Глозов, Н. Грицьків,

О. Дорожинська, І. Колб, З. Кузик, В. Поліщук, М. Процик, Р. Тукай, О. Тумська, Б. Четверіков, В. Шевчук; за ред. проф. О. Л. Дорожинського. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 440 с.

57. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA / Р. Е. Пащенко, В. В. Радчук, Г. Я. Красовський та ін.; під ред. С. О. Довгого. – Київ: ФОП Пономаренко Є. В., 2013. – 316 с.

58. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://techno.nv.ua/ukr/popscience/7-najbilsh-smertonosnih-zemletrusiv-v-istoriji-ljudstva-204530.html>

59. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-41965702>

60. Дорожинський О. Л. Фотограмметричні методи в оцінці надзвичайних ситуацій / О. Л. Дорожинський, Р. М. Тукай, Б. В. Четверіков, Л. В. Бабій // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – Вип. 78. – С. 16–23.

61. Sari Dewia, Niendyawati Salama, Suwahyuono Suwadib; Remote Sensing For Dissaster Mitigation: Case Study For Tsunami Evacuation Route Modelling In Cilacap-central Java, Indonesia International / Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan 2010 – p. 281-286.

62. Muhammad Tauhidur Rahman Integration of Remote Sensing and GIS for Tree Damage Estimation from Natural Disasters / Department of City and Regional Planning, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia, pp. 26–34.

63. Cees J. van Westen Remote Sensing and GIS for Natural Hazards Assessment and Disaster Risk Management Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) / Mitigation International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B7. Amsterdam 2010 – pp. 807–812.

64. Ronald T. Eguchi, Charles K. Huyck, Shubharoop Ghosh and Beverley J. Adams The Application of Remote Sensing Technologies for Disaster Management The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12–17, 2008, Beijing, China, pp. 45–56.

65. Chetverikov B., Trevoho I., Babiy L., Marusazh K., Abdallah*** R. Determination of quantitative indicators of earthquake destruction by different time space images [Електронний ресурс] // GeoTerrace-2020: міжнародна наук.-техн. конфер. молодих професіоналів, 7–9 грудня 2020 р., Львів, 2020.

66. Четверіков Б., Марусаж Х. Методика дистанційного визначення руйнацій будівель після землетрусу з використанням пакету Erdas // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – Вип. 76. – С. 74–77.

67. Oleksandr Dorozhynskyy, Boris Chetverikov, Lyubov Babiy. Determining the influence of earthquake on the changes of objects using remote sensing data// Geomatics, Landmanagement and Landscape – No. 3. – 2013. – P. 7–15.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ЧЕТВЕРІКОВ Борис Володимирович
КАЛИНИЧ Іван Васильович

**МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ В ОЦІНЦІ НАСЛІДКІВ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Монографія

Редактор
Коректор
Технічний редактор *Лілія Саламін*
Комп'ютерне верстання *Марти Гарасимів*
Художник-дизайнер

Здано у видавництво 26.09.2022. Підписано до друку 18.11.2022
Формат 70'90^{1/16}. Папір офсетний. Друк офсетний
Умовн. друк. арк. 8,7. Обл.-вид. арк. 5,9
Наклад прим. Зам. 220764

Видавець і виготівник: Видавництво Львівської політехніки
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4459 від 27.12.2012 р.

вул. Ф. Колесси, 4, Львів, 79013
тел. + 380 32 2584103, факс +380 32 2584101
vlp.com.ua, ел. пошта: vnr@vlp.com.ua

Ч 52 **Четверіков Б. В., Калинич І. В.** Методика застосування даних дистанційного зондування землі в оцінці наслідків надзвичайних ситуацій – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. – 120 с.
ISBN 978-966-941-762-6

Подано результати досліджень наслідків надзвичайних ситуацій, спричинених ураганами, землетрусами, пожежами та разливом нафти за космічними знімками. Розглянуто методики оцінки руйнацій за різночасовими космічними знімками в програмному пакеті ErdasImagine за допомогою інструментарію модуля DeltaCue, класифікації та онлайн сервісів, а також за допомогою бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV.

Для широкого кола фахівців, що займаються вивченням наслідків, спричинених стихійними лихами та надзвичайними ситуаціями внаслідок людського втручання.

УДК 528