

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА ГЕОЕКОЛОГІЇ І ЗЕМЛЕУСТРОЮ**

«Допущено до захисту» протокол засідання
кафедри ГЕЗ
№ 6 від «29» січня 2024 року
Зав. кафедрою ГЕЗ
к.с.-г.н, доцент _____ Максим ГАНЧУК

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

СВО «Магістр»
за освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій» зі
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»
(освітній ступень, ОПП, спеціальність)
**на тему: Методика оцінки наслідків стихійних лих за даними
дистанційного зондування Землі**

25 ГЗ Д 006 000000 ПЗ

Виконала: студентка 21 МБГЗ групи

Семенюк Є.О.
(прізвище та ініціали)

Консультант з ОП: к.т.н., доцент

Михайло ЗОРЯ

Керівник: к.т.н., ст. викладач

Борис ЧЕТВЕРІКОВ

Нормоконтроль к.т.н., доцент
(науковий ступінь,
вчене звання)

(підпис) Ольга МАЗИКІНА
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Інститут або факультет агротехнологій та екології
Кафедра геоекології і землеустрою
(назва кафедри)
Ступінь вищої освіти Магістр
Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»
(шифр і назва)
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»
(шифр і назва)
Освітня програма «Геодезія та землеустрій»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ГЕЗ

к.с.-г.н., доцент Максим ГАНЧУК
(підпис) (ініціали та прізвище)

«19» вересня 2023 р

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

студентці Семенюк Єлизаветі Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методика оцінки наслідків стихійних лих за даними дистанційного зондування Землі

керівник роботи к.т.н., ст. викладач Четверіков Борис Володимирович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом Ректора університету від «20» вересня 2023 р. № 395/1-С

2. Строк подання студентом роботи «19» вересня 2023 р

3. Вихідні дані до роботи супутникові знімки, ГІС-сервіси.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: проаналізувати літературні джерела у сфері оцінки наслідків пожеж засобами ДЗЗ; описати основні методи отримання даних ДЗЗ та роботи з ними; опрацювати методику визначення наслідків пожеж за даними ДЗЗ; провести оцінку наслідків пожеж за даними ДЗЗ.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав (дата)	завдання прийняв
Розділ 4 Охорона праці в галузі	Михайло ЗОРЯ, к.т.н., доцент, завідувач кафедри цивільної безпеки	19.09.2023	19.09.2023

6. Дата видачі завдання

19.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи (місяць)	Відмітка керівника про виконання (засвідчується підписом)
Розділ 1 Аналіз статистики надзвичайних ситуацій та їхніх наслідків	Вересень	Виконано
Розділ 2 Отримання, опрацювання та візуалізація супутникових знімків	Жовтень	Виконано
Розділ 3. Методика визначення наслідків пожеж за допомогою даних ДЗЗ	Листопад	Виконано
Розділ 4 Охорона праці в галузі	Грудень	Виконано
Висновки	Січень	Виконано

Студентка

Керівник роботи

(підпис)

Є.О. Семенюк

(ініціали та прізвище)

Б.В. Четверіков

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Семенюк Є.О. Методика оцінки наслідків стихійних лих за даними дистанційного зондування Землі. – Кваліфікаційна робота. Кафедра геоecології і землеустрою. – Запоріжжя, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2024.

Текст викладений на 82 сторінках, містить 4 розділів, 8 таблиць, 16 рисунків, 21 літературне джерело.

Метою роботи є оцінка наслідків пожеж на території України за даними дистанційного зондування Землі.

У ході досліджень було проаналізовано невтішну статистику надзвичайних ситуацій, в тому числі викликаних стихійними лихами на території України. Були визначені ключові чинники збільшення постраждалих з 2021 на 2022 рік, один з ключових – повномасштабне вторгнення російських військ на територію України. Було встановлено, що більшу частину загорянь лісів становить не що інше, як навмисне нищення природних ресурсів, тобто – екоцид.

Досліджено основні характеристики дистанційного зондування Землі. А також виявлено, що розвиток ДЗЗ є одним з пріоритетних напрямків космічної діяльності України, зважаючи на нелегку ситуацію.

В ході дослідження був проведений огляд комерційних та безкоштовних ресурсів для моніторингу стихійних лих за допомогою знімків з супутників. А також описано можливості даних ресурсів та необхідне програмне забезпечення.

Ключові слова: геоінформаційні системи, дистанційне зондування Землі, супутниковий знімок, стихійні лиха.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАТИСТИКИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТА ЇХНІХ НАСЛІДКІВ	12
1.1 Аналіз даних служби ДСНС.....	12
1.2 Основні причини виникнення пожеж лісів та наслідки для країни.....	18
РОЗДІЛ 2 .ОТРИМАННЯ, ОПРАЦЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ	21
2.1 Основні характеристики супутникових знімків	21
2.2 Характеристика методів ДЗЗ.....	33
2.3 Ресурси для отримання інформації ДЗЗ.....	41
2.4 Програмне забезпечення для роботи із супутниковими знімками	45
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАСЛІДКІВ ПОЖЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАНИХ ДЗЗ.....	52
3.1 Моніторинг пожеж	52
3.2 . Методика визначення наслідків пожеж за допомогою OpenCV	59
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ	71
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГІС (GIS) – Географічна інформаційна система Geographic Information System

ДЗЗ – Дистанційне зондування землі

ЕМВ – Електромагнітне випромінювання

ЄКА (ESA) – Європейське космічне агентство European Space Agency ІЧ – Інфрачервоний

НАСА (NASA) – Національне управління з авіації і дослідження космічного простору National Aeronautics and Space Administration

ПЗ – Програмне забезпечення

УФ – Ультрафіолетовий

ЦМР (DEM) – Цифрова модель рельєфу Digital Elevation Model API – Інтерфейс прикладного програмування Application Programming Interface

ESRI – Інститут дослідження систем навколишнього середовища Environmental Systems Research Institute

GMES – Глобальний моніторинг навколишнього середовища та безпеки Global Monitoring for Environment and Security

MGRS – Військова система прямокутних координат NATO Military Grid Reference System

NDVI – Нормалізований диференційний вегетаційний індекс Normalized Difference Vegetation Index

OSM – Відкрита вулична мапа Open Street Map

SRTM – Радіолокаційна топографічна місія шатла Shuttle Radar Topography Mission

USGS – Геологічна служба США United States Geological Survey

ВСТУП

Сучасне дослідження в природничих науках включає в себе широкий спектр методів і технік, серед яких важливе місце займає дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Цей підхід полягає в зборі і аналізі інформації про Землю та її поверхню, отриманої з висоти за допомогою різних типів супутників, літаків або дронів.

Дистанційне зондування надає дослідникам можливість отримувати детальні дані про різні аспекти земної поверхні, такі як рельєф, вегетація, водні ресурси, температура та інші параметри, без прямого контакту з об'єктом дослідження. Ці дані можуть бути використані для вивчення кліматичних змін, природних катастроф, екологічних проблем, а також для планування та моніторингу природних ресурсів та територій.

Одним з ключових інструментів для аналізу даних ДЗЗ є географічні інформаційні системи (ГІС). ГІС дозволяють об'єднувати, аналізувати і візуалізувати різноманітні географічні дані, що отримані з ДЗЗ, і створювати картографічні продукти для подальшого використання у дослідженнях, плануванні та прийнятті рішень.

Протягом останнього десятиріччя сталися значні природні катастрофи, такі як землетруси, пожежі, техногенні аварії та цунамі, які призвели до серйозних руйнувань у міських та сільських районах по всьому світу. Швидке розширення міських територій у країнах, що розвиваються, зробило ці регіони ще більш вразливими перед різними стихійними лихами.

Для отримання інформації перед та після надзвичайних подій існують кілька методів, таких як польове обстеження, дистанційне зондування та супутникове дистанційне зондування. Завдяки здатності охоплювати величезні території за одне дослідження з часом, супутникове дистанційне зондування стало потужним інструментом для стеження за станом земної поверхні. Супутникові знімки високої просторової роздільної здатності, доступні в останні роки, зробили супутникове дистанційне зондування ще більш корисним у

боротьбі зі стихійними лихами, оскільки навіть статус пошкоджень окремих будівель можна визначити без фізичного відвідування місця катастрофи.

Космічні системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) забезпечують збір даних у глобальному масштабі з високою просторовою та спектральною роздільною здатністю. Проте для успішності необхідний доступ не лише до масивів даних, але й їх швидка та якісна обробка. Моніторинг надзвичайних ситуацій (НС) та їх наслідків з використанням даних ДЗЗ необхідний для оперативного виявлення змін у природних ландшафтах та забезпечення безпеки життєдіяльності населення. Для кожного регіону небезпечні природні явища мають свої особливості, пов'язані з географічним положенням, природними умовами, геологічною будовою та іншими факторами, тому необхідно обробляти космічні знімки в комплексі з векторними картами, цифровими моделями рельєфу, погодними даними тощо.

Щодо лісових пожеж, вони залишаються одними з найпотужніших природних катастроф. Супутниковий моніторинг пожеж дозволяє оперативно виявляти їхні вогнища та оцінювати площу горіння. Крім того, космічний моніторинг дозволяє отримати оперативну інформацію про масштаби затоплення та постраждалих від повені територій.

Отже, природні стихійні лиха, такі як пожежі в природних екосистемах, мають серйозний вплив на різноманітні аспекти суспільства і навколишнього середовища. Пожежі можуть призвести до значних матеріальних збитків, втрати життів, руйнування і втрати природних ресурсів, включаючи ліси, рослинність і дикий звір. Крім того, вони можуть спричинити значні зміни в екосистемі, включаючи знищення біотопів, забруднення повітря і води, втрату біорізноманіття та інші негативні наслідки.

Вирішення проблеми пожеж у природних екосистемах вимагає комплексного підходу. Один з ключових аспектів - це належне фінансування пожежно-рятувальних служб. Це включає в себе забезпечення служб відповідним обладнанням, технічними засобами та навчанням персоналу. Крім того, важливо мати ефективну систему моніторингу і реагування на пожежі, яка

може швидко виявляти та локалізувати загоряння, а також координувати дії з гасіння та ліквідації наслідків.

Для розв'язання цих проблем також необхідно розвивати науково-дослідну роботу, спрямовану на вивчення причин та наслідків природних пожеж, а також розробку нових технологій та методів попередження та боротьби з ними.

Додатково, важливо проводити аналіз економічних наслідків природних пожеж. Це включає визначення втрат в сільському господарстві, лісовому господарстві, туризмі, місцевому бізнесі та інших секторах економіки. Такий аналіз дозволяє ефективніше розподіляти ресурси та розробляти стратегії попередження та реагування на природні пожежі.

Загалом, комплексний підхід до управління пожежами в природних екосистемах включає в себе не лише негайну реакцію на виникнення пожеж, але й широкомасштабні заходи з попередження та мінімізації їх наслідків для людей, природи та економіки.

Хоча повністю уникнути лісових пожеж неможливо, їхній вплив можна пом'якшити, локалізувати та, за умови своєчасного попередження, зменшити ризики людських та матеріальних втрат. Це можливо завдяки оперативному моніторингу пожежних вогнищ та площі, які вони охоплюють, прогнозуванню ситуації та своєчасному повідомленню про можливість та масштаби стихійного лиха загалом, з використанням супутникових даних, особливо в режимі реального часу. Отримана інформація також може бути використана для обліку та інвентаризації лісів, створення лісових карт та отримання таксаційних характеристик лісових насаджень.

Метою роботи є оцінка наслідків пожеж на території України за даними дистанційного зондування Землі.

Дослідження ставить перед собою такі задачі:

- Проаналізувати літературні джерела у сфері оцінки наслідків пожеж засобами ДЗЗ.
- Описати основні методи отримання даних ДЗЗ та роботи з ними.
- Опрацювати методику визначення наслідків пожеж за даними ДЗЗ.

- Провести оцінку наслідків пожеж за даними ДЗЗ.

Об'єкт: звіт ДСНС, дані ДЗЗ та їх інтерпретація для проведення оцінки наслідків пожеж.

Предмет дослідження: методи проведення оцінки наслідків пожеж за даними ДЗЗ.

Методи дослідження: аналіз літератури (проведення систематичного огляду наявної літератури, наукових статей, книг та інших джерел з метою ознайомлення з попередніми дослідженнями та підходами); синтез та аналіз даних наявних даних.

Актуальність роботи полягає у тому, що останнім часом проблема лісових пожеж стає все більш актуальною в контексті зростання впливу глобальних процесів, таких як зменшення лісових площ у всьому світі, втрата біорізноманіття, зміни клімату та зміни у землекористуванні. Зростаюча тенденція до збільшення збитків від стихійних лих, техногенних катастроф та наслідків глобальних змін клімату змушує країни світу, включаючи Україну, більш тісно координувати дії національних служб реагування на надзвичайні ситуації, зокрема в області використання космічної інформації для попередження, реагування та пом'якшення наслідків надзвичайних ситуацій.

Сучасні досягнення в області дистанційного зондування та його технологій дозволили використовувати ці дані для оцінки вразливості територій та фіксації розподілу збитків від катастроф.

Останні роки показують зростаючий інтерес до використання ДЗЗ та ГІС у наукових дослідженнях, оскільки ці технології не лише забезпечують дослідників новими можливостями для отримання даних, але й сприяють розвитку більш ефективних методів аналізу та інтерпретації цих даних.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАТИСТИКИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТА ЇХНІХ НАСЛІДКІВ

1.1 Аналіз даних служби ДСНС

Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) є ключовим державним органом, відповідальним за координацію та виконання заходів у сфері цивільного захисту, пожежної безпеки, рятувальних операцій та інших надзвичайних ситуацій. Її діяльність регулюється та керується Кабінетом Міністрів України через Міністра внутрішніх справ країни.

У 2022 році, зокрема, основна увага ДСНС була спрямована на надання допомоги населенню та ліквідацію наслідків збройної агресії Росії проти України. Це включало в себе широкий спектр заходів, таких як евакуація людей з районів з високим рівнем конфлікту та надання психологічної підтримки постраждалим. Окрім того, ДСНС брала участь у гасінні пожеж, рятуванні людей з під завалів руйнівних будівель та забезпеченні належних умов для проживання населення.

У контексті зміни клімату та зростання частоти та інтенсивності природних катастроф, таких як пожежі та повені, ДСНС також займається розробкою та впровадженням стратегій запобігання та реагування на ці надзвичайні ситуації. Це включає в себе планування та впровадження превентивних заходів, підготовку та тренування рятувальних команд, а також забезпечення високотехнологічними засобами та обладнанням для оперативного реагування на надзвичайні ситуації.

У порівнянні з 2021 роком, у 2022 році загальна кількість надзвичайних ситуацій зменшилася майже на 47%. Зниження відбулося як у кількості природних, так і техногенних надзвичайних ситуацій, відповідно на близько 40%, та соціальних – на 54%. Проте, в лютому були зафіксовані надзвичайні ситуації військового характеру державного рівня у зв'язку з широкомасштабним

вторгненням на територію України 24 лютого 2022 року збройних сил російської федерації.

Збільшення кількості загиблих та постраждалих у надзвичайних ситуаціях у 2022 році пов'язане зі значною кількістю унаслідок надзвичайних ситуацій військового характеру державного рівня. Проте, для інших типів надзвичайних ситуацій спостерігалось зменшення кількості постраждалих, переважно за рахунок зменшення їх у медико-біологічних надзвичайних ситуаціях. У той же час, зафіксовано збільшення кількості загиблих у надзвичайних ситуаціях на автомобільних дорогах.

Дані про надзвичайні ситуації	2021 рік	2022рік	Зменшення (збільшення), у відсотках
Загальна кількість НС:	124	66	46,8 ↓
<i>з них за характером походження:</i>			
Техногенного характеру	53	33	37,7 ↓
Природного характеру	65	30	37,7 ↓
Соціального характеру	6	2	53,8 ↓
Воєнного характеру	0	1	збільшення
<i>з них за рівнями:</i>			
Державного рівня	3	2	33,3 ↓
Регіонального рівня	5	0	100,0 ↓
Місцевого рівня	53	32	39,6 ↓
Об'єктового рівня	63	32	49,2 ↓
Загинуло людей внаслідок НС	148	7004	у 47,3 раза ↑
Постраждало людей внаслідок НС	545	11072	у 20,3 раза ↑

Таблиця 1.1 Кількісні показники НС, що виникли у 2022році, порівняно із 2021роком [1]

Значну частку серед надзвичайних ситуацій техногенного характеру складають пожежі у житлових будівлях, що виникають внаслідок порушень громадянами правил пожежної безпеки, тоді як серед природних надзвичайних ситуацій переважають метеорологічні ускладнення, що спричинені погодними умовами.

Надзвичайні ситуації державного рівня зареєстровано на всій території України, де у зв'язку з актом збройної агресії з боку російської федерації та

широкомасштабним вторгненням в Україну збройних сил російської федерації відповідно до підпункту 6 пункту 4 Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 березня 2003 р. № 368, та Указу Президента України від 24 лютого 2022 р. № 64/2022 «Про введення воєнного стану в Україні», затвердженого Законом України від 24.02.2022 № 2102-IX, класифіковано НС воєнного характеру державного рівня, внаслідок якої вимушено залишили своє житло понад 13 млн.470 тис. осіб (з них 3 млн 500 тис. дітей), за оперативною інформацією загинуло 6 тис. 884 особи (з них 450 дітей), 10 тис. 947 осіб поранено (з них 872 дитини).

Усього з початку НС підрозділами ДСНС здійснено 75 тис. 215 виїздів на ліквідацію наслідків обстрілів населених пунктів, врятовано майже 3 тис. 800 осіб, ліквідовано понад 13 тис. 600 пожеж, підвезено понад 7 тис. 600 тон продуктів харчування та понад 45 тис. 400 тон питної і технічної 5 води, надано психологічну допомогу більше 194 тис. 800 осіб та евакуйовано більше 2 млн. 300 тис. осіб. Також за оперативними даними внаслідок бойових дій зруйновано та пошкоджено близько 169 тисяч об'єктів інфраструктури, зокрема: 6 тис. 400 об'єктів життєзабезпечення, понад 1 тис. об'єктів транспортної інфраструктури, більше 3 тис. закладів освіти, майже 1 тис. 300 закладів охорони здоров'я, 150 тис. 300 житлових будинків, 670 адміністративних будівель, понад 4 тис. 500 тис. інших (не військових) об'єктів.

Регіони	Надзвичайні ситуації									
	Техногенного характеру		Природного характеру		Соціального характеру		Воєнного характеру		Всього	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Всього НС*	53	33	65	30	6	2	0	1	124	66
Вінницька	4	0	2	1	0	0	0	1	6	2
Волинська	4	0	5	0	1	0	0	1	10	1
Дніпропетровська	5	3	0	0	1	0	0	1	6	4
Донецька	7	6	2	1	0	0	0	1	9	8
Житомирська	2	1	1	1	1	0	0	1	4	3
Закарпатська	1	5	3	5	0	0	0	1	4	11
Запорізька	5	2	1	0	0	0	0	1	6	3
Івано-Франківська	3	1	7	0	0	0	0	1	10	2
Київська	3	1	3	4	2	0	0	1	8	6
Кіровоградська	1	3	2	1	0	1	0	1	3	6
Луганська	1	1	1	1	0	0	0	1	2	3
Львівська	4	0	3	0	0	0	0	1	7	1
Миколаївська	6	2	5	2	0	0	0	1	11	5
Одеська	1	2	2	2	0	0	0	1	3	5
Полтавська	1	1	3	0	1	0	0	1	5	2
Рівненська	2	1	3	5	1	0	0	1	6	7
Сумська	1	0	2	3	0	0	0	1	3	4
Тернопільська	1	1	4	0	0	1	0	1	5	3
Харківська	5	1	3	2	0	0	0	1	8	4
Херсонська	5	0	6	0	0	0	0	1	11	1
Хмельницька	2	1	2	0	0	0	0	1	4	2
Черкаська	3	0	0	0	1	0	0	1	4	1
Чернівецька	1	0	3	1	0	0	0	1	4	2
Чернігівська	4	1	1	1	1	0	0	1	6	3
Київ	6	2	1	0	1	0	0	1	8	3

Таблиця 1.2 Статистичні дані щодо кількісних показників класифікованих НС [1]

У 2022 році в населених пунктах та на об'єктах суб'єктів господарювання зафіксовано 80 тис. 654 пожежі, що на 1,5 % більше порівняно з 2021 роком. Внаслідок пожеж загинуло 1 тис. 639 людей (у тому числі 36 дітей), 1 тис. 617 людей отримали травми (з них 123 дитини). Порівнюючи з 2021 роком, кількість загиблих унаслідок пожеж зменшилась на 11,5 %, а кількість травмованих на пожежах збільшилась на 16,9 %. Матеріальні втрати від пожеж становили близько 99,5 млрд грн, у тому числі прямі збитки становили 36,3 млрд грн., побічні – 63,2 млрд гривень. Під час ліквідації пожеж врятовано 1 тис. 892 людини, у тому числі 184 дитини, та матеріальних цінностей на суму понад 8,5 млрд гривень. У будівлях і спорудах житлового сектору виникло 33 тис. 446 пожеж (+ 18 %), внаслідок яких загинуло 1 тис. 492 людини (- 13,7 %). На об'єктах, на яких здійснюється державний нагляд (контроль), виникло 2 тис. 790 пожеж (+ 68,7 %), із них 9 пожеж – у житлових будинках (- 83,6 %). На підприємствах, в організаціях, закладах: приватної власності виникло 2 тис. 324 пожежі (+ 56,6 %); колективної власності – 528 пожеж (+ 63,5 %; комунальної

(муніципальної) власності – 358 пожеж (+ 24,7 %); загальнодержавної власності – 400 пожеж (+ 2,9 %).

Основними причинами виникнення пожеж були: необережне поводження з вогнем – 45 тис. 793 випадки (- 13,3 %); порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок – 10 тис. 447 випадків (- 10,8 %); порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації печей теплогенеруючих агрегатів та установок – 4 тис. 681 випадок (- 23,9 %); підпали – 1 тис. 427 випадків (- 46,3%); порушення технологій виробництва та правил експлуатації транспортних засобів – 2 тис. 114 випадків (- 25,5 %); пустощі дітей з вогнем – 323 випадки (- 24 %); несправність виробничого обладнання, порушення технологічного процесу виробництва – 123 випадки (- 25 %).

Протягом року ліквідовано 30 масштабних пожеж на об'єктах зберігання та виробництва нафтопродуктів та 120 великих пожеж об'єктів енергетики, пошкоджених обстрілами.[1]

Пожежі є серйозними та руйнівними природними катастрофами, які можуть виникати у будь-який час і в будь-якому регіоні нашої країни. Вони часто стаються влітку, коли погода стає сприятливою для поширення вогню, але також можуть траплятися у будь-яку пору року. Пожежі можуть виникати як у відкритих просторах, так і в житлових будівлях, промислових об'єктах та інших місцях.

Коли вогонь спалахує, він знищує все на своєму шляху: будівлі, ліси, рослини, тварини, а також може призвести до травмування або загибелі людей. Найбільш суттєва шкода від пожежі завдається екосистемам, включаючи знищення ґрунтового покриву, загибель корисних мікроорганізмів та руйнування природних біотопів.

Під час пожежі гинуть корисні комахи, які виконують важливі екологічні функції, а також спалюється велика кількість сміття, що призводить до

забруднення атмосфери. Дим від пожежі містить у собі шкідливі речовини, такі як оксиди азоту, чад, важкі метали та інші токсичні сполуки, які можуть негативно впливати на здоров'я людини та екосистему в цілому.

Лісові пожежі є результатом невпорядкованого вогню, що виникає внаслідок різних факторів, таких як недбале поводження з вогнем, необережне спалювання сміття або трави, неправильне використання вогню для сільськогосподарських цілей або відпочинку. Це стає спричинювачем непередбаченого поширення пожежі, що в свою чергу призводить до серйозних наслідків для лісових масивів та навколишнього середовища.

Поряд із людськими діями, небезпечними факторами для поширення лісових пожеж є й невизначені погодні умови. Висока температура повітря, перегрівання ґрунтів та тривала відсутність опадів створюють сприятливі умови для розвитку та поширення вогню в лісових масивах. Крім того, сильні вітри можуть швидко розносити полум'я, що робить ситуацію ще більш критичною.

Лісові пожежі є особливо небезпечними, оскільки вони можуть поширюватися дуже швидко і мають великий потенціал знищення природних ресурсів. Часто причиною таких пожеж є необачне поводження людей з вогнем, недотримання правил безпеки або використання несправної техніки.

Тому важливо дотримуватися всіх правил протипожежної безпеки, уникати недбалого поводження з вогнем та сприяти збереженню нашого середовища в цілому.

Окрім антропогенних чинників, пов'язаних з необережністю людей, фіксуються випадки навмисного розведення пожеж. Так під час повномасштабного вторгнення військ Російської Федерації та територію України зафіксовано декілька випадків навмисного випалювання лісів. Такі дії називаються екоцидом.

Оператори безпілотних літальних апаратів Національної гвардії висловлюють стурбованість щодо руйнівного впливу пожеж на природу. Вони вказують на те, що у зонах бойових дій лісові масиви трансформуються в палючі землі, оскільки практично весь ліс вигорає. Неуправлений вогонь спричиняє

загальне знищення, а спроби загасити його можуть вивести займане місце на приціл.

На наслідки знищення лісових угідь впливає і зміна географії ґрунтових вод. Після масштабних пожеж на Донеччині, понад 6 тисяч гектарів лісу, спостерігається поява боліт та різке підвищення рівня води у деяких водоймах.

Знищення лісових насаджень на Донеччині матиме відлуння й на сусідніх областях, оскільки південний схід України стане все частіше місцем проходження пилових бурь з Середньої Азії.

Українські ліси були знищені, згорівши понад 23 тисячі гектарів лісу, і на їх відновлення піде понад десять років. Велика кількість диких тварин загинула під впливом цього вогню, і їхнє число коливається від сотень тисяч до мільйонів. Деякі види тварин вже перебувають на межі зникнення, зокрема, найбільше постраждали птахи.

За даними науковців, близько 83 види тварин, включені до Червоної книги, і 120 видів птахів знаходяться під загрозою зникнення. В морі російський флот погрожує існуванню дельфінів. Лише в Чорному морі зафіксовано майже 700 випадків знаходження мертвих дельфінів, у той час як українські води діють як місце загибелі понад ста таких тварин.

Згідно з офіційною інформацією, збитки, завдані українській природі в результаті цього масштабного вторгнення, оцінюються у 1 373 000 000 000 гривень. Це число має тринадцять знаків і не є остаточною сумою.

1.2 Основні причини виникнення пожеж лісів та наслідки для країни

Лісові пожежі є однією з найбільш серйозних загроз лісовим екосистемам і природному середовищу загалом. Вони можуть мати далекосяжні наслідки, які впливають на різноманітні аспекти природи і життя людей. Розглянемо деякі з них докладніше:

- Вплив на екосистеми. Лісові пожежі викликають серйозні зміни в лісових екосистемах. Вони можуть руйнувати життєве середовище для безлічі рослинних і тваринних видів, що залежать від лісу для життя. Пожежі можуть знищувати великі площі лісу, перетворюючи їх на пустирі, що призводить до втрати біорізноманіття та порушення екологічної рівноваги.

- Зміни вуглецевого циклу. Ліси відіграють важливу роль у вуглецевому циклі, поглинаючи вуглець з атмосфери під час фотосинтезу і зберігаючи його у своїй біомасі. Пожежі руйнують цей цикл, вивільнюючи великі обсяги вуглецю у повітря, що сприяє змінам клімату та глобальному потеплінню.

- Забруднення водних ресурсів. Під час лісових пожеж можуть виникати різноманітні хімічні речовини, які потрапляють у поверхневі і підземні води, забруднюючи їх і шкодячи рибі, флорі та фауні акваторичних екосистем.

- Втрати водорегулювальних функцій. Лісові пожежі можуть порушувати природний режим води в лісі, знижуючи здатність лісу поглинати і утримувати вологу. Це може призвести до змін в рівнях ґрунтових вод, ерозії ґрунту та інших негативних наслідків для гідрологічних процесів.

- Втрати біологічного різноманіття. Лісові пожежі можуть призвести до масового вимирання рослин і тварин, що знаходяться в лісовому середовищі. Це може мати серйозний вплив на біологічне різноманіття і призвести до зникнення певних видів.

Наслідки зміни клімату на види і їх місця проживання сильно відрізняються в залежності від видів, їх взаємодії з іншими видами і місць, де вони знаходяться. Вогонь може виступати головним чинником зміни рослинних угруповань в контексті зміни клімату. Ці особливості впливу пожеж на середовище існування видів необхідно враховувати при організації пожежної безпеки та розробці природоохоронних заходів, щоб уникнути негативних наслідків.

Пожежі завдають значної шкоди природно-заповідним територіям. Наприклад, за останні роки майже третина від загальної площі екологічної

мережі "Natura 2000" була знищена в результаті пожеж у найбільших Середземноморських країнах Європейського Союзу. [2]

Природоохоронні території, екологічні мережі і коридори відіграють важливу роль у забезпеченні життєдіяльності та міграції видів, особливо в умовах нових загроз. Проте ці важливі екологічні зони можуть постраждати від пожеж. З метою збереження біорізноманіття екологічні мережі повинні бути міцними і відпороти вогню, щоб і надалі надавати свою життєво важливу службу. У зв'язку з глобальним потеплінням передбачається збільшення масштабів пожеж. Тому важливо впроваджувати превентивні заходи, включаючи створення буферних зон.

Урбанізація дикої природи або прокладання доріг через природні території можуть збільшувати ризик пожежі. Цей фактор слід враховувати при класифікації заповідних територій та екологічних мереж, а також розробці карти охоронюваних територій з урахуванням їх відстані від доріг і населених пунктів.

РОЗДІЛ 2 .ОТРИМАННЯ, ОПРАЦЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ

2.1 Основні характеристики супутникових знімків

При виборі космічних зображень, важливо мати розуміння основних характеристик сенсорних систем, які визначають придатність отриманих даних для вирішення певних завдань. Ці характеристики можна умовно поділити на чотири типи розрізненості:

1. Спектральна розрізненість визначає, наскільки детально сенсорна система може реєструвати електромагнітне випромінювання у різних частотних діапазонах. Це означає, що система може реєструвати інформацію про різні ділянки електромагнітного спектра, такі як видиме світло, інфрачервоне випромінювання тощо. Спектральна розрізненість визначається кількістю каналів супутника, кожен з яких відповідає певному інтервалу довжин хвиль. Наприклад, один канал може охоплювати діапазон видимого світла, інший - інфрачервоного випромінювання, а ще інший - радіохвиль.

Ця здатність дозволяє отримувати інформацію про різні фізичні та хімічні властивості об'єктів на земній поверхні, такі як температура, вологість, характеристики рослинності та інші параметри, які можуть бути важливими для конкретних досліджень або застосувань.

Весь спектр довжин хвиль, який використовується в дистанційному зондуванні Землі, можна умовно розділити на чотири основні ділянки: радіохвилі, теплове випромінювання, інфрачервоне (ІЧ) випромінювання і видиме світло. Така сегментація обумовлена різницею у взаємодії електромагнітних хвиль із земною поверхнею, а також відмінностями у процесах відбиття та випромінювання електромагнітних хвиль. Наукові дослідження найбільше акцентують увагу на оптичному діапазоні (відомому як світловий), який включає видиме світло (380...720 нм), ближнє інфрачервоне (720...1300 нм) і середнє інфрачервоне (1300...3000 нм) спектральні області.

Область спектру Видима область, мкм Зони кольору:	Ширина області спектру
Фіолетова	0.39-0.45
Синя	0.45-0.48
Блакитна	0.48-0.51
Зелена	0.51-0.55
Жовто-зелена	0.55-0.575
Жовта	0.575-0.585
Гарячо жовта	0.585-0.62
Червона	0.62-0.80
Область ІЧ випромінювання, мкм	
Ближня	0.8-1.5
Середня	1.5-3.0
Дальня	>3.0
Радіохвильова область, см	
X	2.4-3.8
C	3.8-7.6
L	15-30
P	30-100

Таблиця 2.1. Характеристики спектральних діапазонів

У цьому діапазоні сонячне випромінювання, яке відбивається від земної поверхні, містить значну кількість інформації про біохімічні процеси, що відбуваються на поверхні Землі. Наприклад, ближній ІЧ-діапазон ефективно використовується для оцінки стану рослинності та визначення її здоров'я чи хвороб. Теплове ІЧ-випромінювання містить інформацію про температурні режими видимих об'єктів і явищ, що дозволяє відстежувати динаміку лісових пожеж, розпізнавати нафтові та газові факели та досліджувати приховані об'єкти під землею, такі як підземні річки або трубопроводи.

Для вимірювання роздільної здатності зображень існують певні підходи. Найпростішим методом є використання розмірів найменших об'єктів, які все ще можна розрізнити на знімку. Наприклад, якщо зазначено, що роздільна здатність знімку становить 2 метри, це означає, що об'єкти такого розміру та більші можуть бути визначені на цьому зображенні. Іноді використовують так званий

підхід функції передачі модуляції (ФПМ), де роздільна здатність вимірюється за здатністю зображення передавати зміни просторової частоти об'єкта.

Важливим параметром є лінійна роздільна здатність зображень R , яка визначається за формулою:

$$R = 1/2l \text{ [мм]}^{-1},$$

де l - лінійний елемент роздільної здатності, що визначає ширину зображення окремого лінійного видовженого об'єкта, який все ще можна розпізнати на знімку. Існують різні методики визначення цього параметру - від застосування параметрів фотографічної апаратури до емпіричних формул та аналізу показників контрастності.

Часто за межу роздільної здатності беруть середньостатистичну ширину видовженого об'єкта в натуральних умовах, який можна розрізнити, де відношення довжини до ширини становить не менше 10.

Особливе уваги заслуговує явище "змішаних пікселів". Як відомо, піксель є найдрібнішою одиницею на зображенні, яку можна впізнати. Часто, коли на знімку з'являються великі об'єкти, їх краї разом із фоном (тобто межа контрасту) можуть попадати на окремі пікселі. Це може створювати труднощі при інтерпретації зображень, оскільки точні деталі, наприклад, межі водойм, можуть відображатися в розмірах, менших за розміри найдрібніших одиниць зображення - пікселів. Було підмічено, що чим менша роздільна здатність знімків, тим більша кількість «змішаних пікселів» на зображеннях. Таким чином, краща роздільна здатність підвищує точність і достовірність інформації, яка отримується при аналізі матеріалів ДЗЗ [19].

За просторовим розрізненням знімків виокремлюються низькороздільні (з роздільною здатністю менше 1 км), середньороздільні (від 0,1 до 1 км), високороздільні (від 10 м до 100 м), дуже високороздільні (від 1 м до 10 м), та надвисокороздільні (з роздільною здатністю менше 1 м).

За оглядовістю виділяються глобальні знімки (площа приблизно 10^8 км²), континентальні (площа близько 10^6 км²), регіональні (площа близько 10^4 км²) та локальні (площа близько 10^2 км²).

Залежно від спектральної розрізненості, яка визначається кількістю каналів, відповідних певним ділянкам електромагнітного спектра, сенсорні системи поділяються на кілька типів: панхромні, багато-, мультиспектральні та гіперспектральні.

- Панхромні зображення, у контексті супутникового зондування Землі, охоплюють весь видимий діапазон електромагнітного спектра. Це означає, що вони захоплюють інформацію від усіх кольорів, які людське око може сприймати, від короткохвильового фіолетового до довгохвильового червоного світла.

- Багато- або мультиспектральні зображення охоплюють лише декілька зон спектра, які обрані заздалегідь для конкретних досліджень. Наприклад, такі зображення можуть захоплювати інформацію від інфрачервоного, червоного та зеленого світла, що дозволяє проводити аналіз рослинності або визначати ступінь вологості ґрунту.

- Гіперспектральні зображення розділяють спектр на багато вузьких діапазонів, що дозволяє отримати дуже детальну інформацію про склад об'єктів. Замість того, щоб отримати лише загальне уявлення про спектральні властивості, як це відбувається з мультиспектральними зображеннями, гіперспектральні зображення надають інформацію про велику кількість вузьких спектральних смуг. Це дозволяє дослідникам детально аналізувати хімічний склад, фізичні властивості та інші характеристики об'єктів на земній поверхні.

Панхромні	видимий	частині	Багато-,
Один широкий	спектра)		мультиспектральні
діапазон (частіше у			Від 2 до 12
			каналів (видимий, ІЧ,

мікрохвильовий,
радіодіапазони)

Гіперспектральні

Понад 13 каналів
(частіше у видимій і
ближній ІЧ частині
спектра)

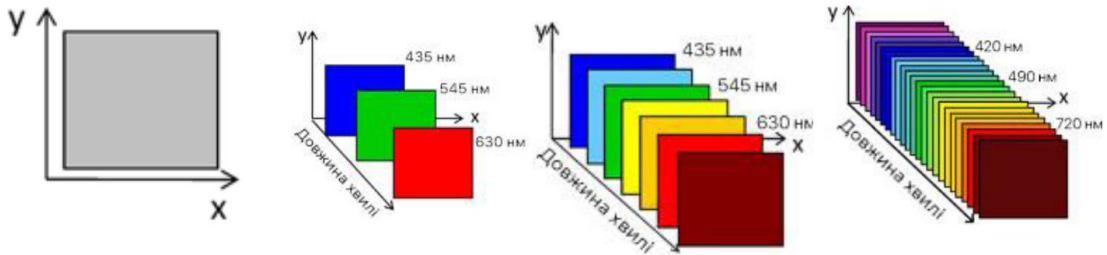


Рисунок 2.1. Схема панхроматичних, мультиспектральних та гіперспектральних космічних зображень

Усі ці характеристики зображень важливі для здійснення більш точних і досконалих досліджень земної поверхні та її змін з часом. Вибір конкретного типу зображення залежить від конкретних потреб дослідження та поставлених завдань.

Зазвичай оптичні зйомки робляться або в усьому видимому діапазоні (панхроматичний режим зйомки), або в декількох більш вузьких зонах спектра (багатозональна зйомка). Панхроматичні зображення охоплюють майже весь видимий діапазон електромагнітного спектра (від 0,45 до 0,90 мкм) і, зазвичай, мають вищу просторову роздільну здатність, ніж мультиспектральні зображення, що робить їх корисними для деталізації границь об'єктів, зокрема в топографічних дослідженнях.

Натомість, гіперспектральні сенсори, на відміну від мультиспектральних, розбивають спектр на безліч вузьких діапазонів (сотні каналів), що дозволяє ще точніше розрізняти об'єкти за їхнім фізико-хімічним складом. Це допомагає ідентифікувати видовий склад і стан рослинного покриву, визначати геологічну структуру, виявляти хімічний склад води і багато інших параметрів.

Просторова роздільна здатність системи дистанційного зондування є також функцією спектральних відмінностей між об'єктами та їх фоном, форми об'єктів і відношення системи сигнал/шум [18].

2. Просторова розрізненість у контексті зображень земної поверхні визначається як здатність сенсорної системи (наприклад, супутникової камери) розрізняти дрібні деталі та об'єкти на зображенні. Ця розрізненість вимірюється у розмірі пікселя, який є найменшим елементом на зображенні. Коли говорять про найкращу просторову розрізненість, вони мають на увазі, що об'єкти земної поверхні можуть бути розділені на окремі пікселі на знімку.

Наприклад, супутник WorldView 3 має дуже високу просторову розрізненість, що означає, що він здатний розрізняти дрібні деталі. У цьому випадку, об'єкти на земній поверхні, такі як будинки, машини або дерева, можуть бути відображені на зображенні так, що кожен піксель на знімку представляє об'єкт або його частину.

Якщо супутник WorldView 3 реєструє зображення з просторовою розрізненістю 30 сантиметрів на піксель, це означає, що кожен піксель на зображенні представляє область земної поверхні розміром 30 на 30 сантиметрів. Таким чином, супутник може дуже детально відобразити дрібні об'єкти або деталі, що дозволяє отримати високоякісні та чіткі зображення земної поверхні.



а

б

в

Рисунок 2. 2. Детальність зображення (просторова розрізненість) знімків на прикладі ділянки масиву Оболонь в м. Києві: 30 м – Landsat 8 (а), 10 м – Sentinel 2 (б), 1,24 м – WorldView 3 (в)

Класифікація космічних знімків за просторовою розрізненістю:

- дуже низька – 10 000–1 000 м;
- низька – 30–1 000 м;
- середня – 10–30 м;
- висока – 1–10 м;
- дуже висока – 0,3–1 м.

Супутник WorldView 3 належить компанії DigitalGlobe, яка багато років постачає матеріали супутникової зйомки відомим картографічним онлайн-сервісам, таким як Google Maps та Bing.

3. Радіометрична розрізненість визначається як здатність сенсорної системи (наприклад, супутникової камери) реєструвати різні рівні яскравості або інтенсивності сигналів, які відбиваються або випромінюються об'єктами на земній поверхні.

У контексті супутникового зондування, радіометрична розрізненість дозволяє сенсору реєструвати різні рівні яскравості земної поверхні. Це означає, що сенсор може реєструвати відтінки яскравості або інтенсивності сигналів, що надходять з об'єктів на поверхні Землі.



Рисунок 1. 3. Приклад градації кольорів восьмибітного зображення, де за допомогою одного байта можна закодувати 256 кольорів (наприклад, відтінків сірого). Чорному відповідає код «0», а білому відповідає код «255» [7]

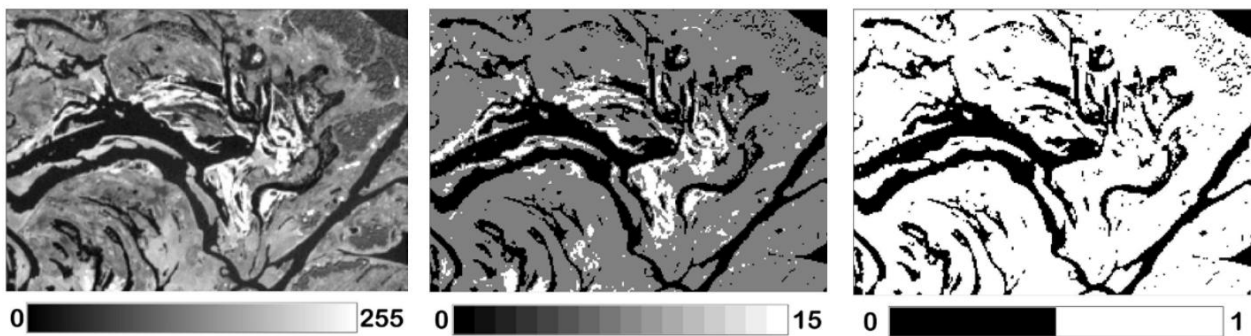


Рисунок 2. 3. Контрастність знімків або кількість відтінків кольорів (радіометрична розрізненість) на прикладі заплави р. Дніпро: 8 біт (а), 4 біт (б), 1 біт (в)

Це означає, що при радіометричній розрізненості 6 біт на піксель ми маємо всього 64 градації кольору (2 в ступені $6 = 64$); при 8 бітах на піксель - 256 градацій (2 в ступені $8 = 256$), а при 16 бітах на піксель - 65536 градацій (2 в ступені $16 = 65536$). Раніше сенсори, що були встановлені на супутниках ДЗЗ, мали радіометричну розрізненість 8 біт на піксель (наприклад, у супутника Landsat 5), але наразі майже всі нові супутники мають радіометричну розрізненість не менше 12 біт на піксель (наприклад, у супутника Landsat 8 ця розрізненість становить 12 біт/піксель, а у супутника Sentinel 2 - 16 біт/піксель). Це призводить до збільшення фізичного розміру космічних знімків, які вже вимірюються не мегабайтами, а гігабайтами інформації. Збільшення радіометричної розрізненості сучасних сенсорів впливає на точність визначення коефіцієнтів спектрального відбиття і зниження рівня шумів на космічних зображеннях.

Наприклад, відображення на знімку з високою радіометричною розрізненістю дозволяє розрізнити дрібні відтінки колірності або яскравості різних об'єктів на земній поверхні. Це особливо корисно для визначення різних типів ґрунтів, водних тіл, рослинності та інших природних об'єктів, а також для виявлення змін у цих об'єктах в результаті природних чи антропогенних процесів.

Отже, радіометрична розрізненість є важливим параметром супутникових зображень, оскільки вона дозволяє отримувати детальні дані про яскравість

об'єктів на поверхні Землі, що в свою чергу допомагає в різних застосуваннях, включаючи дослідження змін клімату, аналіз природних джерел, моніторинг водних ресурсів, агрономічні дослідження та інші галузі.

4. Темпоральна (часова) розрізненість в супутниковому зондуванні визначається як часовий інтервал між послідовними знімками, зробленими одного і того ж регіону або території. Цей параметр важливий для вивчення змін, які відбуваються з часом на земній поверхні.

У контексті супутникового спостереження, темпоральна розрізненість визначає, наскільки часто супутник робить знімки тієї ж самої області або регіону. Наприклад, якщо супутник робить знімки одного регіону щодня, то темпоральна розрізненість буде одним днем. Якщо ж знімки робляться кожного тижня, то темпоральна розрізненість становитиме один тиждень, і так далі.

Цей параметр є ключовим для вивчення динаміки змін на земній поверхні з часом. Він дозволяє вченим та дослідникам відстежувати різноманітні явища, такі як зміни в розподілі рослинності, водних ресурсів, рівнів забруднення атмосфери, еволюція геологічних формацій, поглиблення водойм і багато іншого.

Наприклад, за допомогою високочастотних знімків зможуть відслідковувати зміни у розподілі хмар, а також визначити швидкість руйнування лісових масивів або розширення міських територій. Також ця розрізненість корисна для вивчення ефектів природних катастроф, таких як повені, лісові пожежі, землетруси тощо.

Супутник	Час	Ширина лінії зйомки, км
NOAA	30 хв	2900
Aqua/MODIS	0,5 хв	2300
Landsat 8	16 діб	185
Sentinel 2A, 2B	5 діб	290
RapidEye	5 діб	77
PlanetScope	1 доба	24

WorldView-3	1 доба	13,1
-------------	--------	------

Таблиця 2.2. Приклади періодичності знімання супутників

Отже, темпоральна розрізненість дозволяє здійснювати моніторинг і аналіз динаміки змін на земній поверхні в часі, що важливо для розуміння різноманітних процесів та явищ, що відбуваються на нашій планеті.

Під час вибору космічних знімків для аналізу змін у часі певного процесу, важливо враховувати різні фактори, що можуть впливати на якість і доступність зображень. Одним із таких факторів є погодні умови над місцем дослідження. Пасивні космічні апарати реєструють лише відбите сонячне випромінювання від землі, яке не пройшло через хмари. У зв'язку з цим, весняно-осінній період, коли хмарність може бути високою, може ускладнити знайдення "чистого, безхмарного" знімку, який був би ідеальним для досліджень. Такі умови можуть ускладнити отримання зображень, що відображають реальну динаміку подій на земній поверхні з плином часу.

Найбільш застосовуваним для наукових досліджень є оптичний діапазон, що включає видиме, ближнє і середнє інфрачервоне випромінювання. Цей діапазон надає інформацію про біохімічні процеси на земній поверхні. Залежно від спектральної розрізненості сенсорної системи, вона може бути панхромні, багато- або гіперспектральною.

Методи обробки космічних знімків є ключовим етапом в отриманні інформації з дистанційного зондування Землі. Вони можуть бути узагальнені в дві основні категорії: попередня обробка та тематична обробка.

Попередня обробка зображень здійснюється з метою усунення або мінімізації спотворень, які можуть виникнути під час процесу їх зйомки та передачі. Ці спотворення можуть бути обумовлені різними факторами, такими як характеристики реєструючої апаратури, вплив атмосфери, перешкоди під час передачі даних, а також геометричні або освітлювальні умови. Попередня обробка включає в себе такі операції, як геометрична та радіометрична корекція

зображення, а також корекцію атмосферного впливу. Крім того, до неї можуть входити додаткові операції, такі як корекція кольору та прив'язка знімків до географічних координат.

Тематична обробка зображень спрямована на підвищення якості зображення та виділення інформації, яка відображає певні об'єкти чи явища на земній поверхні. Це включає в себе методи поліпшення контрастності, придушення шумів та виділення границь об'єктів. Тематична обробка також може включати класифікацію об'єктів на зображенні за їхніми характеристиками та ознаками. Наприклад, це може бути виділення забудованих територій, водних ділянок, лісів тощо.

Завдяки методам обробки космічних знімків можна отримати значно більше інформації про стан та особливості земної поверхні, ніж це можливо було б здійснити за допомогою звичайних зображень чи карт. Це дозволяє використовувати дані дистанційного зондування для різноманітних цілей, включаючи моніторинг змін середовища, аналіз природних ресурсів, та планування та управління територіальними розвитком.

Вид обробки	Рівні обробки	Зміст операцій
Попередня обробка	0	Розпакування бітового потоку по приладах і каналах
		Прив'язка бортового часу до наземного
Нормалізація	1А	Поділ на кадри
		Радіометрична корекція за паспортними даними датчика
		Оцінка якості зображень (% збійних пікселів)
	1Б	Геометрична корекція за паспортними даними датчика
		Географічна прив'язка за орбітальними даними і кутовому положенню КА
	1С	Географічна прив'язка за інформацією БД опорних точок (ЦКМ)
Оцінка якості зображень (% хмарності)		
	2	Перетворення в задану картографічну проекцію
		Повна радіометрична корекція

Стандартна міжгалузева обробка		Повна геометрична корекція
Рекомендована тематична обробка	3	Редагування зображень (сегментація, зшивання, повороти, зв'язування та ін.)
		Поліпшення зображень (фільтрація, гістограмні операції, контрастування та ін.)
		Операції спектральної обробки і синтез багатоканальних зображень
		Математичні перетворення зображень
		Синтез різночасових зображень і зображень з різним розширенням
		Конвертація зображень в простір дешифровочних ознак
	4	Ландшафтна класифікація
		Виділення контурів
		Просторовий аналіз, формування векторів і тематичних шарів
		Вимірювання і розрахунок структурних ознак (площі, периметр, довжини, координати)
		Формування тематичних карт

Таблиця 2.3. Рівні обробки супутникових даних



Рисунок 2. 4. Визначення хмар та їхніх тіней на космічному знімку Sentinel

2

При спостереженні білого об'єкта, можливо, хмари, поруч із яким помічається подібний за формою об'єкт чорного кольору, ймовірно, тінь, варто зазначити, що це вже хмара. Застосування цього методу дозволяє уникнути помилкової інтерпретації темних тіней як води темного кольору.

Виходячи з цього, ГІС - це інтегрована інформаційна система, до якої входить весь комплекс програмно-апаратних і організаційних засобів і яка призначена для введення, зберігання, обробки, аналізу і виведення даних з метою отримання інформації в різних предметних галузях, сполучною ланкою якої є просторово-координовані географічні дані [18].

2.2 Характеристика методів ДЗЗ

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є комплексом методів отримання інформації про атмосферу, земну поверхню, а також верхні шари суходолу і водної оболонки планети за допомогою матеріалів, отриманих з космічних та авіаційних апаратів у різних діапазонах електромагнітних коливань. Космічні технології знімання земної поверхні значно підвищують ефективність досліджень у різних галузях, оскільки сучасні матеріали космічних зйомок мають високу роздільну здатність на місцевості від десятків кілометрів до десятків сантиметрів.

З кожним роком зростає кількість спектральних діапазонів, у яких можуть проводитися зйомки з космічних апаратів. Наразі існують знімальні системи, які забезпечують зйомку у 7, 20 та навіть 220 різних діапазонах. Методи ДЗЗ з космосу мають кілька вагомих переваг:

1. Висока оглядовість: це означає, що одночасно можна отримати інформацію про великі території, що дозволяє ефективно вивчати широкі регіони або великі площі.

2. Можливість переходу від дискретних значень до безперервної картини: це дозволяє отримувати інформацію не лише в окремих точках, але і про просторовий розподіл показників стану навколишнього середовища.

3. Доступ до важкодоступних районів: космічні апарати можуть здійснювати зйомку навіть у важкодоступних або небезпечних областях, що робить їх корисним інструментом для дослідження віддалених або пограничних територій.

4. Високий рівень генералізації інформації: це означає, що дані, отримані за допомогою ДЗЗ, можуть бути узагальнені для аналізу тенденцій і паттернів у великих регіонах.

Ці переваги найбільш відчутні у сфері глобального моніторингу, де оглядовість матеріалів і генералізація інформації грають істотну роль, а також у сфері національного моніторингу держав, що займають великі території [6].

В останні роки спостерігається збільшення кількості організацій, які розробляють і запускають власні космічні апарати для моніторингу земної поверхні, а також компаній, що займаються отриманням, обробкою та розповсюдженням супутникових даних.

Активно розвивається інфраструктура даної галузі, росте число організацій, що беруть участь у створенні космічних апаратів, і організацій, що займаються одержанням, обробкою й продажем супутникових даних. А організації, сфера діяльності яких прямо не пов'язана із ДЗЗ, усе частіше й активніше використовують результати космічної зйомки в реалізації своїх завдань, використовуючи крім автоматизованих корпоративних інформаційних систем для керування бізнес-проектами ще й окремі геоінформаційні системи для роботи із просторовими даними [7].

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) включає в себе сукупність методів та технологій, які дозволяють отримувати інформацію про атмосферу, поверхню Землі, а також водні об'єкти та сушу, використовуючи для цього зйомки з космічних та авіаційних апаратів у різних діапазонах спектрів електромагнітних коливань. Космічні технології стали ключовим інструментом для дослідження та моніторингу Землі в різних сферах, від наукових досліджень до впровадження практичних застосувань у сферах сільського господарства, лісового господарства, геології, екології, міського планування, транспорту та інших.

Сучасні космічні системи забезпечують високу роздільну здатність на місцевості, що дозволяє отримувати зображення з деталізацією від декількох метрів до десятків сантиметрів. Крім того, їхні можливості стосуються не лише візуалізації, але й аналізу геопросторових даних з використанням різних технік обробки, включаючи растрові та векторні типи даних.

Для ефективного використання даних ДЗЗ важливо поєднувати їх з інформацією, отриманою з інших джерел, наприклад, з результатами вимірювань на місцевості. Це дозволяє підтвердити та доповнити отримані результати, що стає важливим етапом у процесі прийняття рішень.

Інтеграція геоінформаційних систем у корпоративні інформаційні системи має великий потенціал для автоматизації процесів обробки, аналізу та зберігання геопросторових даних в організаціях з розподіленими активами та бізнес-процесами, що охоплюють великі території. Однак існують складнощі у використанні цих даних через різноманітність інформаційних систем та форматів даних, що потребує подальшої роботи над створенням універсальних систем обробки та поширення даних, щоб споживачі могли отримувати готові до використання дані без додаткової обробки та в короткі терміни.

Космічні зображення, які отримують з деяких ділянок Землі, є важливим інструментом для аналізу різних аспектів нашої планети. Вони становлять інформаційні моделі, що включають в себе різноманітні дані про об'єкти та явища на Землі, їхні взаємозв'язки, стан і зміни у просторі та часі. Ці дані можуть

охоплювати різні аспекти, такі як ландшафт, клімат, водні ресурси, розподіл рослинності, місця промислової діяльності та багато іншого.

Ефективне використання таких зображень вимагає ретельного розуміння їхньої структури та інформаційних характеристик, а також вміння застосовувати спеціальні методи аналізу для видобування необхідної інформації. Наприклад, зображення можуть використовуватися для вивчення змін у рельєфі, виявлення ризиків природних катастроф, моніторингу екологічних змін або навіть для планування міського розвитку.

Отримання космічних зображень Землі здійснюється за допомогою спеціальних космічних систем, які обладнані датчиками та приладами для реєстрації електромагнітного випромінювання в різних спектральних діапазонах. Ці системи можуть бути розташовані на супутниках або на космічних апаратах на низькій орбіті.

Важливо зазначити, що вимоги різних користувачів до космічних зображень можуть суттєво відрізнятися. Деякі користувачі можуть цікавитися високою роздільною здатністю, інші - широким спектром спектральних характеристик або оперативністю отримання даних. Це призводить до необхідності розвитку різних типів космічних систем, що забезпечують різноманітні характеристики зображень.

Класифікація космічних зображень проводиться з урахуванням різних аспектів, включаючи:

1. Спектральний діапазон. Цей критерій визначає, які конкретні ділянки спектру електромагнітного випромінювання використовуються для створення зображення. Різні типи спектрального діапазону можуть бути використані для відображення різних характеристик об'єктів і явищ на Землі, таких як видиме світло, інфрачервоне та мікрохвильове випромінювання.

2. Тип сигналу. Це визначає, чи є відбите або власне випромінювання, природне або штучне. Наприклад, пасивні космічні апарати реєструють відбите від об'єктів випромінювання, тоді як активні апарати генерують сигнал і реєструють відбите випромінювання.

3. Спосіб реєстрації електромагнітних хвиль. Зображення можуть бути отримані різними методами, такими як фотографічні, сканерні або телевізійні системи. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження.

4. Роздільна здатність та оглядовість. Ці характеристики вказують на рівень деталізації та чіткості зображення. Роздільна здатність визначає, наскільки малі об'єкти можуть бути розрізнені на зображенні, тоді як оглядовість відображає здатність розпізнавати деталі.

Ці критерії допомагають класифікувати космічні зображення залежно від їхніх особливостей та застосувань.

У сучасних методах дистанційного зондування використовується лише обмежена частина електромагнітного спектру, зазвичай від 0,380 мікрометрів до 3 мікрометрів. Ця обмеженість пов'язана з тим, що атмосфера має свої природні обмеження в пропусканні різних діапазонів електромагнітного випромінювання. Існують спектральні інтервали, де електромагнітне випромінювання може проходити через атмосферу майже без перешкод. Ці інтервали, відомі як "вікна прозорості атмосфери", мають ключове значення для методів дистанційного зондування.

Один з найбільш широко використовуваних спектральних інтервалів у методах дистанційного зондування з космосу відповідає видимому світлу, також відомому як оптичний діапазон. Однак використання короткохвильового видимого світла ускладнене значними коливаннями в пропускній здатності атмосфери в цьому спектральному діапазоні, які залежать від стану атмосфери. Тому на практиці при дистанційному зондуванні з космосу в оптичному діапазоні використовують спектральний діапазон довжин хвиль, що перевищують 0,5 мікрометра.

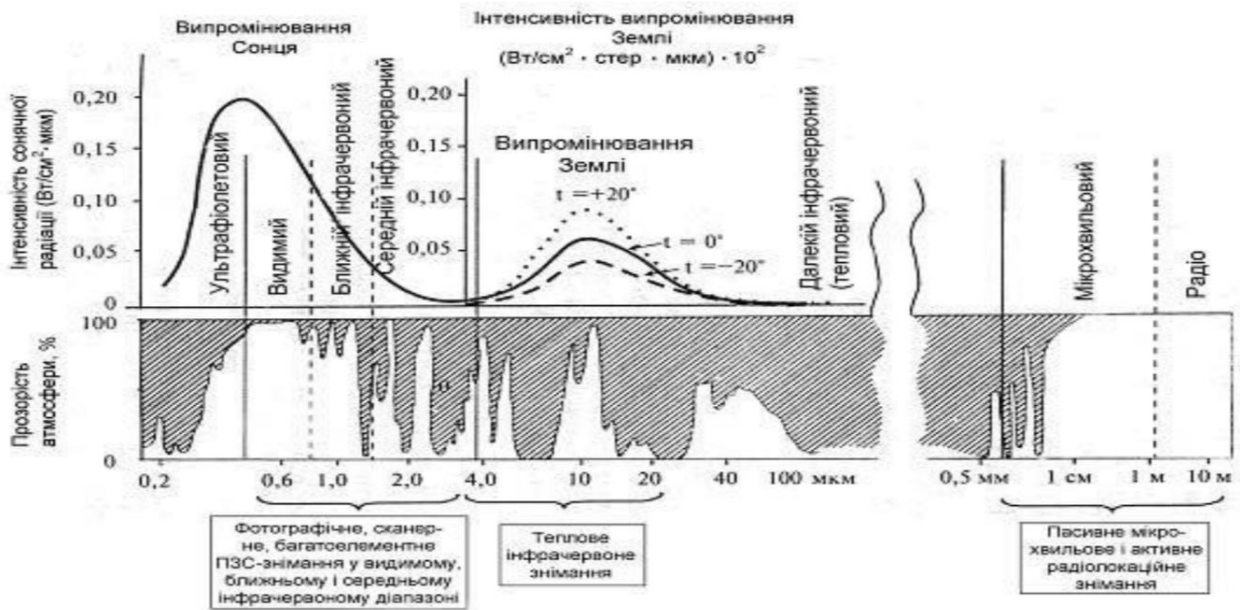


Рисунок 2.4. “Вікна прозорості” атмосфери і діапазони знімання

У інфрачервоному (ІЧ) або тепловому діапазоні електромагнітного спектру, що охоплює від 3 до 1000 мікрометрів, існують лише три вузьких діапазони, які відомі як "вікна прозорості". Ці вікна розташовані у зоні 3-5 мікрометрів, 8-14 мікрометрів і 30-80 мікрометрів. У методах дистанційного зондування з космосу наразі використовуються перші два діапазони. Крім того, в ультракороткохвильовому діапазоні радіохвиль є кілька вузьких вікон прозорості в міліметровій і субміліметровій зонах [15].

У вузькому діапазоні ультракоротких радіохвиль, які охоплюють діапазон від 1 міліметра до 10 метрів, існує широке вікно прозорості від 2 сантиметрів до 10 метрів. У методах дистанційного зондування з космосу використовується лише короткохвильова частина цього діапазону, яка називається надвисокочастотним (НВЧ) діапазоном, або, в американській термінології, мікрохвильовим діапазоном.

Ультракороткі радіохвилі також мають кілька вузьких вікон прозорості в міліметровому і субміліметровому діапазонах.

Коефіцієнти прозорості залежать не лише від спектрального діапазону випромінювання, що використовується, але і від різних параметрів атмосфери, таких як вміст аерозолів, водяного пару та інших газових компонентів. Кожен з

вказаних спектральних діапазонів має свій унікальний механізм формування сигналу, який реєструється апаратурою дистанційного зондування, і цей механізм залежить від типу випромінювання (відбите або власне) та типу поверхні, яка підлягає зондуванню (суша, вода, атмосфера).

Однією з ключових характеристик взаємодії оптичного випромінювання з навколишнім середовищем є коефіцієнт спектральної яскравості (КСЯ). Цей коефіцієнт визначає просторовий розподіл спектральної яскравості поверхні. Він виражається як відношення яскравості певної поверхні $B(\lambda)$ до яскравості стандартної поверхні $B_0(\lambda)$, яка має ідеально розсіюване випромінювання з коефіцієнтом відбивання, рівним одиниці, і що освітлюється так само, як і досліджувана поверхня.

$$r(\lambda) = B(\lambda) / B_0(\lambda)$$

Ідеальними розсіювачами вважаються ті поверхні, які однаково розсіюють всі довжини хвиль спектру. Це означає, що вони не сприймають світло вибраної довжини хвилі або кольору більше, ніж інші, а рівномірно розподіляють його у всьому видимому спектрі. Такі матеріали, як гіпсові пластинки чи покриття з барію, можуть володіти цією властивістю. На рисунку 2.5 представлені схематичні криві спектральної яскравості основних класів природних об'єктів, що демонструють, як різні матеріали відрізняються за спектральними характеристиками.

У тепловому діапазоні, на відміну від оптичного, можливе реєстрування не лише відбитого сонячного випромінювання, але і теплового випромінювання, що випромінюється самою поверхнею Землі та атмосферою. Такий тепловий випромін'єнь може надавати додаткову інформацію про стан та властивості поверхні та атмосфери.

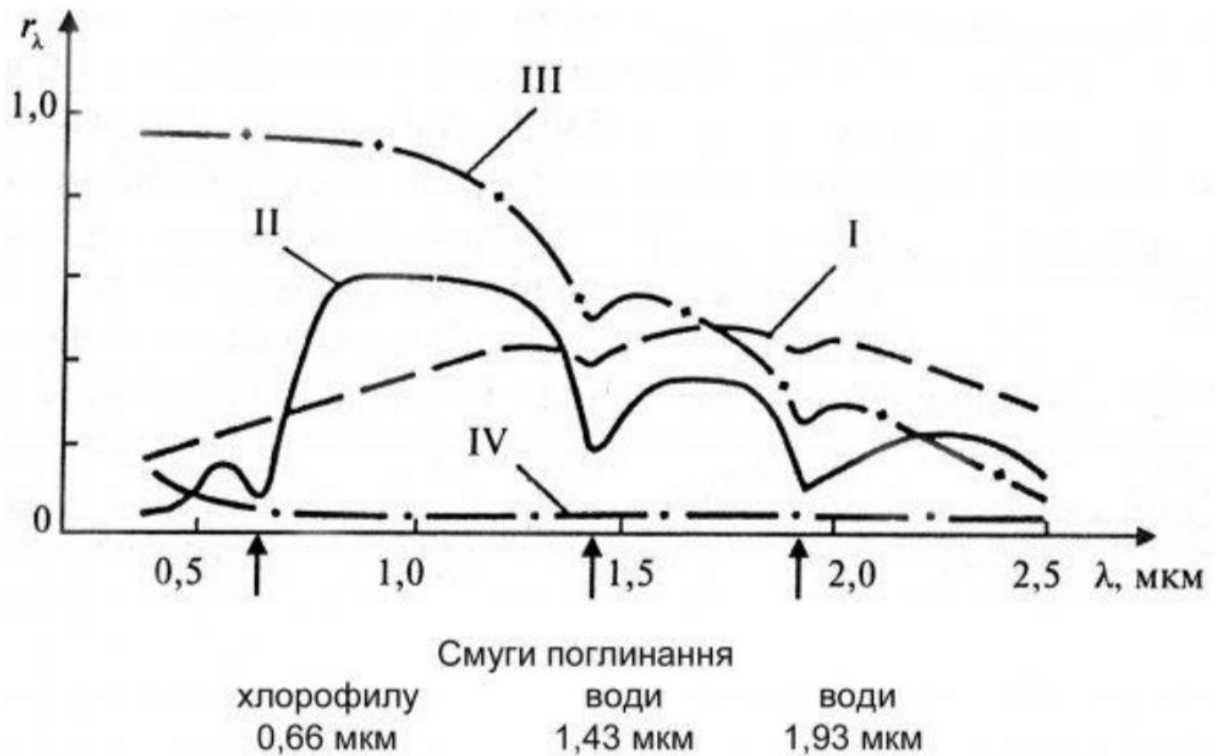


Рисунок 2.5 Схематизовані криві спектральної яскравості основних класів природних об'єктів: I - гірські породи, II - рослинний покрив, III - сніжний покрив, IV - водні поверхні.

Коефіцієнти яскравості та випромінювання ґрунтів та гірських порід - це параметри, які визначаються різноманітними чинниками, включаючи температуру, вологість, структуру поверхні та склад матеріалів. Наприклад, температура може впливати на інтенсивність випромінювання, що вимірюється як термодинамічна температура рослинного покриву. Важливість спостереження за цими параметрами полягає у їхньому використанні для моніторингу агроресурсів та екологічного контролю, такого як виявлення захворювання рослин чи їхнього ураження шкідниками.

Теплові характеристики водних поверхонь також залежать від різних факторів, таких як температура, товщина плівок на поверхні, хвилювання та солоності. Наприклад, нафтова плівка на поверхні води може зменшувати випаровування, що може призводити до підвищення температури поверхневого шару води.

Вплив атмосфери на теплове випромінювання також важливий, оскільки вона може додавати випромінювання, яке поглинається атмосферою, особливо в смугах поглинання.

У діапазоні надвисокочастотного зондування (НВЧ), подібно до теплового, можливе реєстрування як відбитого, так і власного випромінювання поверхні. Для цього використовуються активні методи зондування, такі як радіолокація, які дозволяють досліджувати параметри, такі як вологість, склад, щільність рослинного покриву, структура поверхні та товщина льоду. Атмосфера практично не впливає на надвисокочастотне зондування, що робить його ефективним методом дистанційного зондування.

Однією з ключових характеристик космічних знімків є їхня роздільна здатність, яка визначається можливістю розрізнення пікселів, які розташовані близько один до одного у просторі або мають схожі характеристики. У дистанційному зондуванні це є важливою характеристикою, оскільки вона впливає на якість отриманих зображень поверхні Землі та об'єктів.

Таким чином, можемо говорити про необхідність створення універсальної системи обробки, зберігання та поширення даних ДЗЗ, яка дозволила б споживачеві одержувати ці дані вже в готовому вигляді, без необхідності додаткової обробки й у короткий термін [13].

2.3 Ресурси для отримання інформації ДЗЗ

Десять років тому доступ до супутникових даних був обмеженим і доступним лише для обраних категорій користувачів, таких як військові, великі компанії, урядові структури та окремі наукові установи. Це було пов'язано з високими витратами на супутникові програми та складністю технічного забезпечення для отримання та обробки даних.

Однак у наш час супутникові дані стали надзвичайно доступні завдяки швидкому розвитку технологій та зростанню кількості супутників у космосі.

Завдяки цьому, тепер терабайти інформації можуть бути легко отримані і використані широким спектром користувачів. Від звичайних людей до науковців, від дослідників кліматичних змін до аграрних компаній – всі можуть мати доступ до цінних супутникових даних. Кожного дня ми спостерігаємо за змінами, що відбуваються на нашій планеті, завдяки космічним знімкам, що стали неабиякою допомогою в багатьох сферах діяльності.

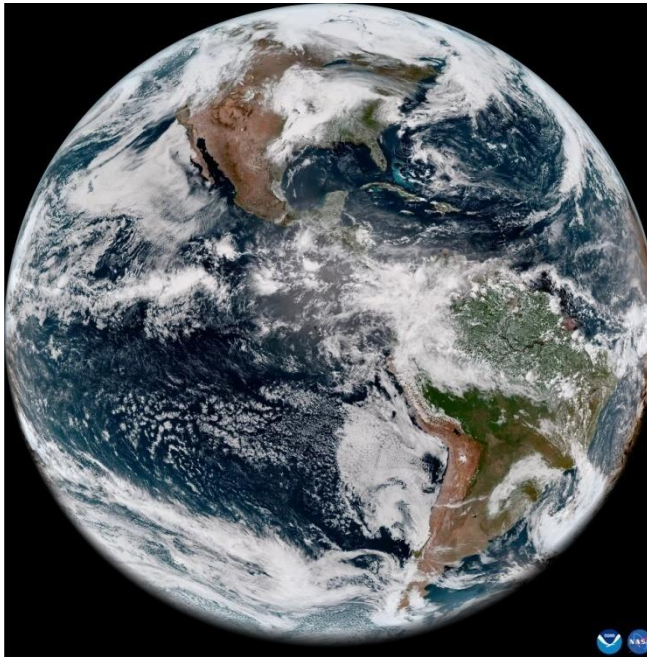


Рисунок 2.6. Повнодискове зображення GeoColor GOES-18 від 5 травня 2022 року. Фото: NASA

Космічні зображення певних ділянок Землі – це, насамперед, інформаційні моделі таких ділянок. Вони містять різноманітні дані про різні об’єкти та явища, про їхні взаємозв’язки, просторовий розподіл, стан, зміни в часі тощо. Ефективне використання таких зображень потребує знання про їхні інформаційні властивості та володіння спеціальними способами видобування з них необхідної інформації [14].

Отримання знімків дистанційного зондування Землі може бути здійснене за допомогою різноманітних ресурсів. Ось деякі з них:

1. Комерційні супутникові послуги:

- Maxar Technologies (DigitalGlobe): Ця компанія пропонує доступ до високоякісних супутникових знімків через свою платформу. Вони мають широкий вибір супутників з різними роздільними здатностями та часовими інтервалами.

- Airbus: Airbus також надає послуги з отримання супутникових знімків високої якості. Їхні супутники, такі як Pleiades та SPOT, забезпечують різні режими зйомки та можливості аналізу.

- Planet Labs: Ця компанія володіє флотом з десятків невеликих супутників, які надають змогу отримувати знімки Землі високої роздільної здатності з великою частотою оновлення.

2. Державні супутникові програми:

- Landsat (NASA та USGS): Програма Landsat надає безкоштовний доступ до даних від супутників Landsat, які надають інформацію про стан поверхні Землі, зміни використання земель та інші параметри.

- Sentinel (програма Copernicus Європейського космічного агентства): Програма Sentinel забезпечує доступ до супутникових даних для моніторингу земної поверхні, атмосфери та морських областей з високою роздільною здатністю та частотою покриття.

3. Відкриті дані:

- USGS Earth Explorer: Ця платформа надає доступ до безкоштовних даних Landsat та інших супутникових місій, які можна шукати та завантажувати в різних форматах.

- ESA's Sentinel Hub: Ця платформа дозволяє доступ до даних від супутників Sentinel через веб-інтерфейс або API для різноманітних додатків та досліджень.

4. Комерційні платформи та API:

- Google Earth Engine: Ця платформа надає доступ до великого обсягу супутникових даних для аналізу та обробки через веб-інтерфейс або API.

- Planet Platform: Planet надає API для доступу до своїх супутникових даних та інструментів для аналізу та обробки зображень.

5. Державні організації та дослідницькі інститути:

- NASA Earthdata: NASA надає доступ до своїх супутникових даних та інструментів для аналізу через свою платформу Earthdata.

- ESA's Earth Online: Цей ресурс надає доступ до даних та інструментів Європейського космічного агентства для дослідження та моніторингу Землі.

Ці ресурси надають широкий вибір можливостей для отримання та аналізу супутникових даних земної поверхні.

Національний космічний агентство України (НКАУ) та інші українські організації також забезпечують доступ до супутникових даних та власних космічних програм. Ось деякі з них:

1. Система космічного зондування Землі "Січ": Це українська система супутникового зондування Землі, розроблена Національним космічним агентством України (НКАУ) та іншими українськими підприємствами. Вона надає можливість отримувати зображення з високою роздільною здатністю та інші дані для моніторингу земної поверхні.

2. Державний центр геодезії, картографії та космічних досліджень (Держгеокадастр): Цей центр забезпечує доступ до геопросторових даних та космічних знімків для українських користувачів. Вони також надають послуги з картирования та геодезії.

3. Національний науковий центр "Інститут космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України": Цей науковий центр здійснює дослідження в галузі космічних технологій та забезпечує доступ до відповідних даних для українських вчених та дослідників.

4. Система Дистанційного Зондування Землі (СДЗЗ): Ця система надає можливість отримувати і аналізувати супутникові дані для моніторингу земної поверхні та природних ресурсів на території України.

Ці ресурси відіграють важливу роль у розвитку космічних технологій та використанні супутникових даних для різних цілей в Україні.

2.4 Програмне забезпечення для роботи із супутниковими знімками

Географічна інформаційна система (ГІС) - це комплексна програмна система, яка дозволяє працювати з географічними даними, включаючи їх збереження, редагування, аналіз та візуалізацію. За допомогою карт ГІС можна отримувати різноманітну інформацію, зокрема:

- Визначати місцезнаходження об'єктів.
- Встановлювати просторовий розподіл об'єктів.
- Аналізувати зміни на певних площах з плином часу.
- Виявляти просторові взаємозв'язки між об'єктами або явищами.
- Прогнозувати можливі наслідки додавання нових об'єктів або змін.

Для того, щоб інформацію було можливо відобразити на карті, вона повинна містити географічні координати (довготу та широту) розташування об'єкта. Об'єкти у ГІС організовані у вигляді шарів, де кожен шар представляє собою певну тематичну групу об'єктів. Наприклад, один шар може містити інформацію про контури островів, інший - про дороги, третій - про населені пункти і т.д.

При візуалізації географічних даних, кожен файл подається як окремий шар, подібно до коржів в торті. Кожен шар містить інформацію лише про свою тематичну групу об'єктів, і при їх накладанні формується карта. Це дозволяє користувачу легко відображати потрібні тематичні шари, налаштовувати показники, підписи та видимість для кожного шару окремо.

Векторні дані розділяються за типом геометрії об'єктів на точкові, лінійні і полігональні шари. У межах кожного шару використовуються різноманітні умовні позначення для візуалізації інформації, такі як символи, кольори і текст.

Точки використовуються для маркування географічних об'єктів, де важливе саме розташування, а не їхня форма або розміри, такі як адреса будівлі або вершина гори. Кожна точка характеризується однією парою координат:

широтою і довготою. Лінії представляють лінійні об'єкти з довжиною, але без площі, такі як річки, вулиці або державні кордони. Полігони описують об'єкти з площею і периметром, такі як контури морів, парків або державних меж.

Мапи складаються з об'єктів, які організовані в шари. Наприклад, один шар може включати транспортну інфраструктуру, другий - будинки, а третій - лісові масиви або парки.

Найчастіше в роботі з векторними географічними даними використовують формат Shapefile (шейп-файл). Вперше цей векторний формат запровадили 1990 р. в ArcView GIS, і зараз він є дуже поширеним. Отже, шейп-файл – це не один файл, а чотири і більше файли з однаковим ім'ям, але різними розширеннями (це скорочення після крапки в назві файлу). Кожен з цих файлів містить свою специфічну інформацію, тож при копіюванні необхідно завжди переносити всі ці об'єкти .

Перелік файлів шейп-файлу наведено нижче:

- .shp – головний файл, що містить інформацію про набір об'єктів – точок, ліній або полігонів;
- .dbf – атрибутивний файл, який містить атрибути об'єктів, описаних у .shp файлі у форматі dBase;
- .shx – індексний файл, що містить допоміжну інформацію і використовується для зв'язку між файлами .dbf і .shp;
- .prj – файл, що містить інформацію про картографічну проекцію файлів [8];
- .sbx та .sbn – файли просторових індексів, які прискорюють операції над геометричними об'єктами.

Важливою особливістю Shapefile є те, що в одному файлі можуть бути об'єкти лише одного типу (або тільки полігони, або тільки лінії, або тільки точки).

Растрові дані представляють собою набори даних, що складаються з пікселів (клітинок), які забезпечують неперервне покриття конкретної території

на поверхні Землі. Ці дані зберігаються у вигляді наборів значень, що відображаються у вигляді прямокутних форм, розташованих у вигляді прямокутної сітки.

Кожен піксель зображення має числове значення, яке відображає спектральну яскравість об'єкта, розташованого у даній точці на поверхні Землі. Ці значення спектральної яскравості залежать від спектрального діапазону, що охоплюється цим зображенням. Кілька зображень з різних діапазонів можуть бути синтезовані у кольорове космічне зображення. Растрові дані, як правило, включають інформацію про спектр об'єктів на земній поверхні, а також геодезичні дані про їхнє місцезнаходження.

Для вибору програми для роботи з космічними знімками слід дотримуватися вказаного алгоритму.

1. Якщо необхідно аналізувати об'єкти невеликої площі, наприклад, будинки або місцеві вирубки, порівнювати знімки з іншими даними, візуально розпізнавати та цифрувати об'єкти з чіткими межами, то рекомендується скористатися програмою Google Earth Pro, яка надає безкоштовний доступ до візуалізації супутникових знімків з високою просторовою розрізненістю.

2. Для роботи зі спектральними каналами, краще використовувати їх окремо, візуально розпізнавати об'єкти зі складними межами, створювати карти та проводити класифікацію, то рекомендується використовувати програми ArcGIS або QGIS, які надають можливість виконувати всі ці операції обробки знімків.

3. Для роботи на професійному рівні з даними дистанційного зондування, яка включає складну класифікацію, застосування різних алгоритмів або автоматизацію процесів за допомогою програмного коду, вам знадобиться опанувати програмні засоби та бібліотеки, такі як GDAL, IDRISI, ENVI, R або Google Earth Engine.

ArcGIS 10.5 є платною геоінформаційною системою (ГІС), яка дозволяє створювати електронні карти та працювати з супутниковими знімками. Ця

програма належить американській компанії ESRI (Environmental Systems Research Institute - Інститут дослідження систем навколишнього середовища). Безкоштовну пробну версію ArcGIS Pro можна завантажити на 21 день за адресою: www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-for-personal-use.

Встановлення ArcGIS досить інтуїтивно зрозуміле, інструкції надаються під час процесу інсталяції. Також на вказаному веб-сайті можна придбати річну ліцензію на програму для особистого використання.

Компанія ESRI надає різні безкоштовні версії програми ArcGIS для шкіл, коледжів та університетів за певних умов. Для скористання цією можливістю необхідно звернутися до регіонального представника компанії ESRI, зареєструвати свій навчальний заклад в системі та отримати безкоштовні ліцензії для встановлення на робочі комп'ютери.

Програмне забезпечення ArcGIS використовується в навчальному процесі багатьма закладами вищої освіти по всьому світу, включаючи деякі українські університети, такі як Київський національний університет ім. Т. Шевченка, Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Львівський національний університет ім. І. Франка та інші.

ArcGIS включає різноманітні додатки, які дозволяють вирішувати різноманітні геоінформаційні завдання, такі як картографування, введення та аналіз даних, а також отримання спільного доступу до просторової інформації.

ArcGIS for Desktop складається з кількох взаємопов'язаних базових програм, серед яких основними є ArcMap та ArcCatalog. ArcCatalog відповідає за керування збереженням просторових даних, структурою баз даних, а також записом і переглядом метаданих. За допомогою ArcMap можна створювати і редагувати карти, а також проводити картографічний аналіз. В структурі ArcMap також міститься ArcToolbox, який використовується для перетворення даних і геообробки.

ArcMap є основним додатком ArcGIS, призначеним для створення та редагування карт. За допомогою ArcMap можна додавати умовні позначення,

готувати карти до друку і публікації. Географічна інформація в ArcMap представлена у вигляді набору шарів та інших елементів карти.

У ArcMap також присутнє вікно Catalog (Каталог), яке дозволяє організувати всі набори ГІС-даних, документи карти та інші файли ArcGIS, інструменти геообробки та інші елементи ГІС.

Програмне забезпечення QGIS - це безкоштовна геоінформаційна система з відкритим вихідним кодом і гнучкою системою функціональних модулів, яка розвивається та підтримується групою добровольців-розробників. Ця програма надає можливість візуалізувати, редагувати, аналізувати дані, формувати карти для друку і багато іншого.

Для завантаження та встановлення програми на ваш комп'ютер, ви можете перейти за посиланням <https://qgis.org/uk/site/> або просто знайти її шляхом пошуку в Google за ключовим словом "QGIS" та перейти на перший знайдений сайт. Для завантаження інсталлятора на ваш комп'ютер, слід натиснути на кнопку "Завантажити зараз". У наступному вікні ви зможете обрати потрібний вам варіант завантаження. QGIS доступний для платформ Windows, Mac OS X, Linux, BSD та Android. Також доступні різні версії програми, такі як Long term release (Довгостроковий реліз) - стабільна версія, та Latest release (Останній реліз) з найновішими оновленнями. Рекомендується встановлювати Long term release, щоб уникнути проблем з роботою програми. В цьому навчальному посібнику ми будемо використовувати версію QGIS 3.4 Madeira.

На офіційному веб-сайті програми у розділі "Документація" доступні посібники та уроки як для початківців, так і для досвідчених користувачів. Усі ці матеріали доступні на різних мовах.

Інтерфейс QGIS можна розділити на п'ять основних частин робочого вікна:

1. Головне меню - це стандартне ієрархічне меню, яке надає доступ до всіх можливостей QGIS.

2. Панель інструментів - забезпечує доступ до тих самих функцій, що й меню, а також містить додаткові інструменти для роботи з картою. Кожну панель

інструментів можна додати або приховати через контекстне меню, яке викликається правим кліком миші на панелі інструментів. Їх розташування в робочому вікні карти можна налаштовувати для зручності.

3. Панель управління шарами - відповідає за додавання, створення та видалення растрових і векторних шарів.

4. Таблиця змісту - містить список всіх шарів проєкту. Позначка поряд кожного шару використовується для його відображення або приховування. Порядок їх розташування у легенді визначає порядок відображення на карті. При правому кліку миші на шар відкривається контекстне меню, яке відрізняється залежно від типу шару.

5. Область карти в QGIS відображається в робочому вікні і залежить від того, які шари завантажені. Якщо дані додаються або змінюються у Таблиці змісту, це також відображається на карті.

6. Рядок стану - це нижній рядок у вікні програми, де показується поточне положення курсора миші в координатах карти (наприклад, у метрах або градусах). Також тут вказується масштаб карти, який можна змінювати, масштабуючи за допомогою миші. Рядок стану також містить кнопку для тимчасового припинення відображення шарів на карті. Справа є кнопка для поточної системи координат, яка відкриває вікно властивостей проєкту зі системою координат.

Модулі QGIS Більшість функцій у QGIS реалізовані як основні або зовнішні модулі:

- Основні модулі розробляються командою розробників QGIS і автоматично включаються в кожний новий реліз програми.
- Зовнішні модулі знаходяться у зовнішніх репозиторіях і підтримуються авторами-волонтерами. Якщо модуль стає популярним серед користувачів, його можуть додати до основних модулів QGIS.

Управління модулями здійснюється через менеджер модулів QGIS, де можна активувати, встановлювати, оновлювати або видаляти їх. Завантаження модулів QGIS можна здійснити через меню Plugins (Плагіни) -> Manage and

Install plugins (Керування та встановлення модулів). Щоб встановити модуль, потрібно перейти на вкладку Not installed (Не встановлено), знайти потрібний модуль в пошуку і натиснути Install Plugin (Встановити плагін). Після цього встановлений модуль з'явиться у меню Plugins (Плагіни), де деякі модулі можуть бути представлені як окремі панелі інструментів, які можна відключати або активувати за бажанням.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАСЛІДКІВ ПОЖЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАНИХ ДЗЗ

3.1 Моніторинг пожеж

Моніторинг – спеціально організоване, систематичне спостереження за станом об'єктів, явищ, процесів з метою їх оцінки, контролю або прогнозу [8].

Моніторинг навколишнього середовища (екологічний моніторинг) – інформаційна система постійного спостереження та регулярного контролю, що проводиться за певною програмою для оцінки поточного стану навколишнього природного середовища, аналізу всіх процесів, що 9 відбуваються в ньому в даний період, а також завчасного виявлення можливих тенденцій його зміни.

Зміни у навколишньому середовищі відбуваються під впливом природних і антропогенних чинників. Саме у спостереженні за довкіллям, оцінюванні його фактичного стану, прогнозуванні його розвитку полягає сутність моніторингу. За міжнародним стандартом (СТ ІСО 4225-80) моніторинг – це багаторазове вимірювання для спостереження за змінами будь-якого параметра в певному інтервалі часу; система довготривалих спостережень, оцінювання, контролювання і прогнозування стану й зміни об'єктів. Крім спостережень та отримання інформації, моніторинг передбачає й елементи активних дій, таких, як оцінювання, прогнозування, розроблення природоохоронних рекомендацій [4].

Моніторинг лісових пожеж представляє собою систему спостережень та контролю за ризиком виникнення пожеж у лісі, а також за станом лісової рослинності, можливими джерелами займання з метою своєчасного вжиття заходів для запобігання пожежам та зменшення збитків від них. Використання космічних знімків з середнім просторовим розрізненням виявляється ефективним підходом для проведення моніторингу лісових пожеж.

Так, запровадження ведення моніторингу земель в Україні було передбачено Земельним кодексом, прийнятим 18.12.1990 р. № 561-ХІІ, а систематичні спостереження за станом земельних ресурсів розпочались після затвердження постановою Кабінету Міністрів України від 20.08.1993 р. № 661

Положення про моніторинг земель. Система моніторингу заснована на використанні наявних організаційних структур суб'єктів моніторингу і передбачає функціонування на основі єдиного нормативного, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднання складових частин та уніфікованих компонентів цієї системи [3].

Використовують можливості геоінформаційних систем для роботи з картографічними матеріалами (карти, плани, космічні знімки, цифрові моделі рельєфу), базами геоінформаційних даних, їх поєднання, аналізу, візуалізації, моделювання та оформлення і подання просторової інформації у вигляді цифрових карт, діаграм, тривимірних моделей місцевості для задач екологічного моніторингу [5].

Ефективність дослідження характеристик земної поверхні та процесів, що відбуваються на ній, за результатами дистанційного зондування Землі, значно залежить від комплексного підходу до обробки різноманітних даних, які надходять з різних джерел та датчиків, використовуючи різні технології та методи. Це може включати дані, зібрані різними знімальними системами, на різних аерокосмічних апаратах та в різних діапазонах. Сполучення таких даних та їх аналіз в різний час є ключовим для досягнення максимальної інформативності та точності результатів.

Оперативне отримання даних в системі моніторингу можливе завдяки функціонуванню космічних апаратів на стаціонарній орбіті або через використання угруповань космічних апаратів. Залежно від масштабів об'єктів спостереження та поставлених завдань, може бути необхідним використання різноманітної апаратури для дистанційного зондування Землі.

Один із пріоритетних напрямків розвитку засобів дистанційного зондування Землі, згідно з Національною космічною програмою України, полягає у створенні постійно діючої системи аерокосмічного моніторингу. Це може включати багатопозиційні системи, які дозволять підвищити оперативність отримання даних, збільшити інформативність космічних знімків та забезпечити стійкість системи до шумів для вирішення різних завдань в області безпеки,

оборони країни та господарської діяльності, включаючи розв'язання наукових задач щодо оцінювання та прогнозування майбутнього стану довкілля.

Наразі проводяться дослідження в рамках програми "Високоєфективні технології оцінювання параметрів природних середовищ земної поверхні з аерокосмічних носіїв", що входить до координаційного плану "Наукові основи створення аерокосмічних технологій" Міністерства освіти і науки України.



Рисунок 3.1. Схема проведення моніторингу лісових пожеж
Неконтрольована класифікація

$$SD_{xyl} = \sqrt{\sum_{l=1}^L (\mu_{li} - X_{xyl})^2}$$

L – кількість каналів;

l – номер каналу;

μ_{li} – середнє значення класу i у каналі l;

i – номер класу; X_{xyl} – значення піксела для каналу l;

SD_{xyl} – спектральна відстань піксела у точці з координатами x, y.

Контрольована класифікація

$$D = \ln(a_m) - [0.5 \ln(|K_m|)] - [0.5(X - M_m)^T (K_m^{-1})(X - M_m)]$$

D - вагова відстань (вірогідність);

a_m - відсоток вірогідності належності класифікованого піксела до класу m (дорівнює 1,0 або вводиться на основі апріорних даних);

$|K_m|$ - детермінант матриці K_m .

Піксель належить до класу m, якщо обчислене для нього D є мінімальним.

Класифікація природних катастроф залежно від їх відображення на космічних знімках та вимог до даних космічного знімання може бути поділена на кілька класів:

1. Непроявні на космічних знімках (прогнозування, пошук, моніторинг, аварії):

- Наслідки аварій у метрополітені;
- Викиди патогенних мікроорганізмів;
- Епідемії, отруєння;
- Епізоотії.

2. Наслідки, іноді - джерело на космічних знімках:

- Аварії з викидом аварійно-хімічно небезпечних речовин;

- Викиди метану, CO₂ тощо;
- Аварії на атомних електростанціях, реакторах, сховищах;
- Небезпечні метеорологічні явища.

3. Малі за розмірами, чітко локалізовані лиха, для яких космічний моніторинг неефективний:

- Автомобільні аварії (за винятком найбільших);
- Пожежі в будівлях, спорудах;
- Аварії на комунальних мережах.

4. Можливість виконання повного комплексу робіт за допомогою космічних знімків:

- 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.

Ця класифікація дозволяє розуміти, які природні катастрофи можуть бути виявлені, відслідковані та моніторинговані за допомогою космічних знімків, а також які з них можуть бути прогнозовані та уникнуті завдяки цій технології.

Ортокоригована безшовна кольорова мозаїка з просторовою роздільною здатністю 2,5 м повинна відповідати за точністю карті масштабу 1:25 000 для всієї території, за винятком міст і районів особливого інтересу. Для міст і районів особливого інтересу мозаїка за точністю має відповідати карті масштабу 1:10 000.

Мозаїка виступає базовою просторовою базою, що використовується для об'єднання всіх видів даних ДЗЗ, зібраних під час моніторингу, та всієї іншої інформації з просторовою компонентою.

Для мозаїки масштабу 1:25 000 рекомендується використовувати космічні знімки з такими параметрами:

- Просторова роздільна здатність не нижче 2,5 м;
- Панхроматичні (чорно-білі) знімки;
- Матеріали космічного знімання, які мають модель та метадані орієнтації у вигляді коефіцієнтів раціонального полінома (RPC), що забезпечують геопозиціонування знімків з точністю не менше 12 м (СКП) на місцевості без застосування опорної наземної інформації;
- Точність геопозиціонування ортотрансформованих знімків без застосування опорної наземної інформації не менше 12 м на місцевості.

Ці вимоги відповідають космічним знімкам з супутників WorldView-1, WorldView-2, WorldView-3, GeoEye-1, Pleiades-1A, 1B та інших космічних апаратів з високою просторовою роздільною здатністю.

Потреба у своєчасному зніманні з високою просторовою роздільною здатністю виникає у випадках термінового відстеження локальних процесів або детального вибіркового спостереження за явищами і об'єктами:

- Детальний своєчасний моніторинг підтоплення соціально-промислових об'єктів під час повеней, пов'язаних з паводками на річках або штормовою діяльністю моря;
- Детальний своєчасний моніторинг катастрофічних екзогенних рельєфоутворювальних процесів, таких як зсуви, обвали, осипи, берегові процеси;
- Детальний своєчасний моніторинг споруд і руйнувань будівель внаслідок дії катастрофічних процесів, таких як урагани, штормові вітри, зсуви, обвали, осипи, берегові процеси.

Радіолокаційне знімання не залежить від сонячного світла та погодних умов і може точно виявляти вертикальні й горизонтальні зміщення земної поверхні. Особливості радарних космічних апаратів, таких як COSMO-SkyMed

1-4, RADARSAT-2, TerraSAR-X, TanDEM-X і інші, дозволяють успішно використовувати отримані дані для моніторингу стихійних лих.

Радарні знімки дозволяють:

- Спостерігати за деформаціями та зсувами земної поверхні з міліметровою точністю за допомогою диференціальної інтерферометричної обробки;

- Моніторити стан споруд та будівель;
- Вивчати наслідки землетрусів;
- Моніторити забруднення прибережних акваторій морів нафтопродуктами в результаті зливу пального з суден;

- Виявляти вітровали та вирубки;
- Швидко 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 пошуковорятувальних робіт, спостереження, розвідки і т. д [19].

З відповідним знімальним обладнанням, аерознімання з БПЛА дозволяє отримувати цифрові знімки дуже високої просторової роздільної здатності (до 2–4 см) у різних спектральних діапазонах.

Це обладнання має наступні можливості:

- Автоматизоване отримання ортофотопланів з просторовою роздільною здатністю до декількох сантиметрів.

- Створення фотореалістичних цифрових 3D-моделей місцевості.
- Моніторинг надзвичайних ситуацій та їх наслідків, контроль за ходом аварійно-відновлювальних робіт, пошук потерпілих.
- Оцінка й аналіз динаміки трансформацій місцевості.
- Виробничо-екологічний моніторинг.

- Дистанційний моніторинг об'єктів нафтової промисловості, ліній електропередачі, сільськогосподарських угідь і лісових масивів.
- Тепловізійне знімання.

У послідовності завдань моніторингу НС, що вирішуються із застосуванням космічних розробок, серйозне місце займає моніторинг повеней [20].

Представимо перелік завдань моніторингу районів повеней, які ефективно вирішуються за допомогою космічного спостереження, а також радарної та автоматизованої обробки даних дистанційного зондування Землі:

1. Карта затоплених площ і великих затоплених територій.
2. Визначення конкретних ділянок та обчислення площі затоплених населених пунктів, сільськогосподарських угідь та лісових масивів під час повені.
3. Встановлення конкретних ділянок та обчислення довжини інфраструктурних споруд (дороги, електролінії, трубопроводи тощо), що підтоплені під час повені.
4. Виявлення конкретних об'єктів та підрахунок загальної кількості об'єктів кожного типу, які постраждали від повені:
 - Житлові будинки: приватні та багатоповерхові;
 - Садові ділянки та споруди дач;
 - Фермерські господарства та склади тварин;
 - Промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні споруди;
 - Місця зберігання небезпечних хімічних відходів, добрив, сільськогосподарської техніки, а також скотомогильники та інші небезпечні об'єкти.

3.2 . Методика визначення наслідків пожеж за допомогою OpenCV

Для обробки растрових даних доступна бібліотека комп'ютерного зору OpenCV. OpenCV (аббревіатура від англ. Open Source Computer Vision Library) - це набір функцій та алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень і числових алгоритмів загального призначення з відкритим вихідним кодом. Ця бібліотека надає інструменти для обробки і аналізу вмісту зображень, такі як розпізнавання об'єктів на фотографіях (наприклад, осіб і предметів), відстеження руху об'єктів, зміну зображень, використання методів машинного навчання та виявлення загальних елементів на різних зображеннях.

Бібліотека OpenCV була розроблена компанією Intel і наразі підтримується Willow Garage та Itseez. Основний код бібліотеки написаний мовою C++ і розповсюджується під ліцензією BSD. Для різних мов програмування, таких як Python, Java, Ruby, Matlab, Lua та інші, розроблені біндинги. Вона може використовуватися як у навчальних, так і в комерційних цілях.

Офіційно проект OpenCV був запущений у 1999 році за ініціативою Intel Research з метою розвитку програм, які використовують великі обсяги обчислювальних ресурсів. На початкових етапах розвитку основними завданнями бібліотеки були: розвиток досліджень у сфері комп'ютерного зору з наданням добре оптимізованого і відкритого коду; поширення знань у цій галузі забезпеченням загальної інфраструктури, яку могли б розвивати розробники; розвиток комерційних програм, що базуються на комп'ютерному зорі, створення незалежної від платформи, оптимізованої та безкоштовної бібліотеки.

Бібліотека містить понад 2500 оптимізованих алгоритмів, в яких представлені як класичні, так і практичні алгоритми машинного навчання і комп'ютерного зору. Ці алгоритми використовуються у різних областях, таких як аналіз та обробка зображень, розпізнавання облич, ідентифікація об'єктів, відстеження руху, побудова 3D моделей, створення 3D хмар точок, розпізнавання жестів, системи взаємодії людини з комп'ютером та інші. OpenCV написана на C++, але має інтерфейси для Python, Java та MATLAB / OCTAVE.

Для реалізації методики визначення наслідків пожеж за допомогою дерев рішень та бібліотеки OpenCV оптимально використати таку технологічну схему як на рис. 3.2.

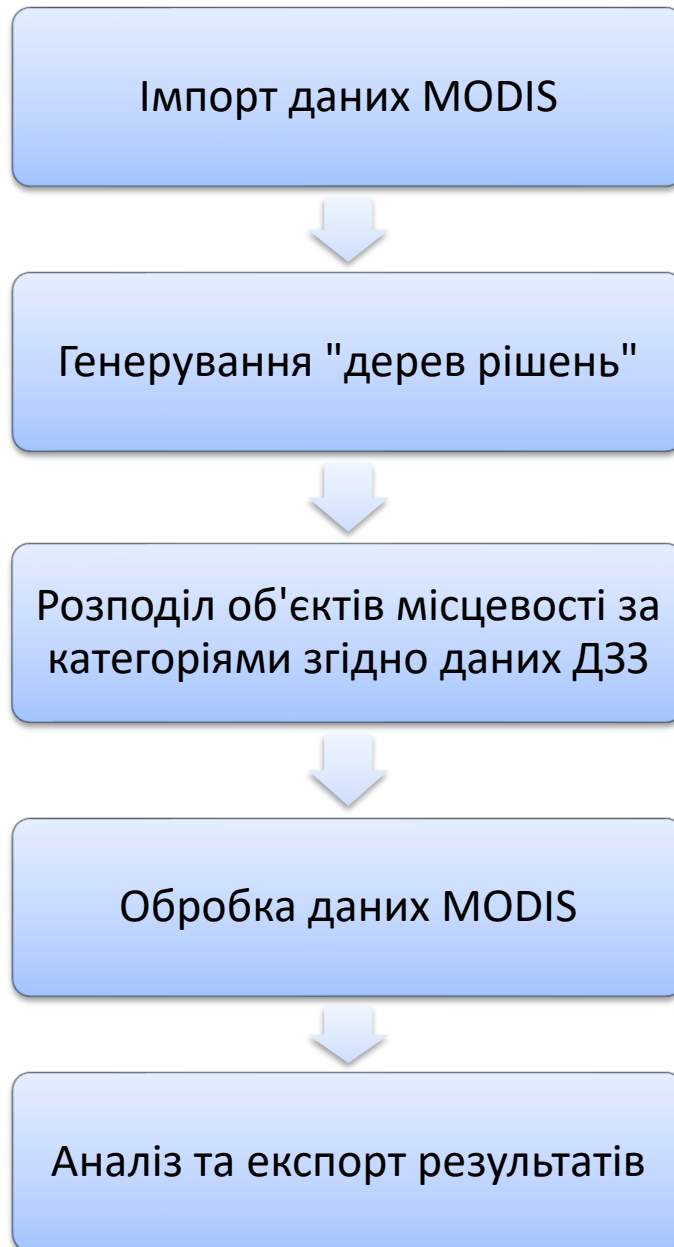


Рисунок 3.2. Технологічний план визначення площ спалених територій за даними MODIS

У прилеглих до сіл Коблиця і Великий Ліс Бородянського району на території лісових масивів "Іванківського агролісу" і "Клавдієвського лісгоспу"

31 серпня 2015 року о 16:30 спалахнула пожежа, яка охопила площу близько 24 гектарів. Станом на 3 вересня пожежа продовжувала тривати [9].

Інформація про земну поверхню формується у різних групах продуктів на основі даних від спектрорадіометра MODIS. Дані з цього радіометра передаються на земні станції безперервно та безкоштовно, і їх готовність відбувається протягом години після прийому. Залежно від широти сцени та одночасної роботи MODIS на супутниках Terra і Aqua, дані можна отримувати 4–6 разів на добу, при цьому ширина смуги огляду становить 2300 км. Знімання тепловою апаратурою MODIS з просторовою роздільною здатністю 1000 метрів дозволяє виявляти осередок пожежі площею від 1 гектара або підземну пожежу площею від 9 гектарів. В таблиці 3.1 наведені технічні характеристики цієї системи [10, 11].

Назва	MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)
Тип	Електронно-оптична система
Країна	США
Розробник	США
Носій	Aqua, Terra
Смуга охоплення, км	2320
Можливість стереознімання	Немає
Джерело даних	EarthObservingSystemDataGateway

Таблиця 3.1. Технічні характеристики MODIS

Для конвертування отриманих даних MODIS для Бородянського району з формату HDF в графічний формат із географічною прив'язкою GeoTIFF використовується програма Modis Tool. В полі "Output File" вказується назва вихідного файлу з розширенням *.tiff. У полі "Output File Type" обирається GEOTIFF, а в полі "Resampling type" вибирається метод найближчого сусіда - Nearest Neighbor. Після цього обирається тип вихідної проекції, у даному випадку - Geographic. У параметрах проекції "Edit projection parameters" вказується датум WGS 84. У вибраних діапазонах "Selected bands" кількість назв цих діапазонів відповідає кількості вихідних зображень TIFF.

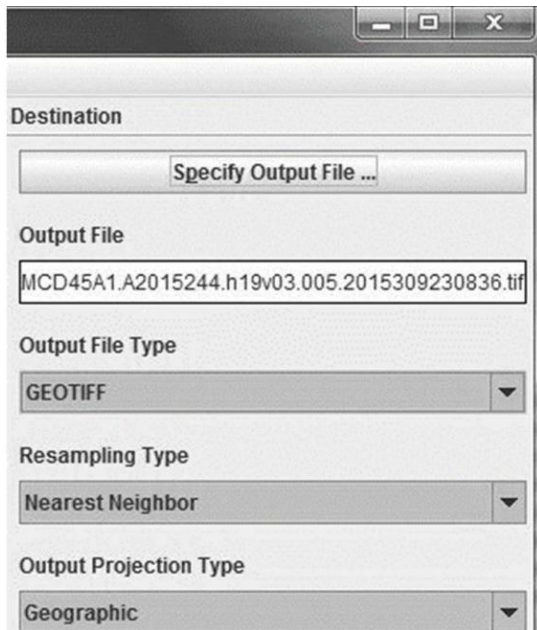


Рисунок 3.3 Вікно вибору вихідних типів даних

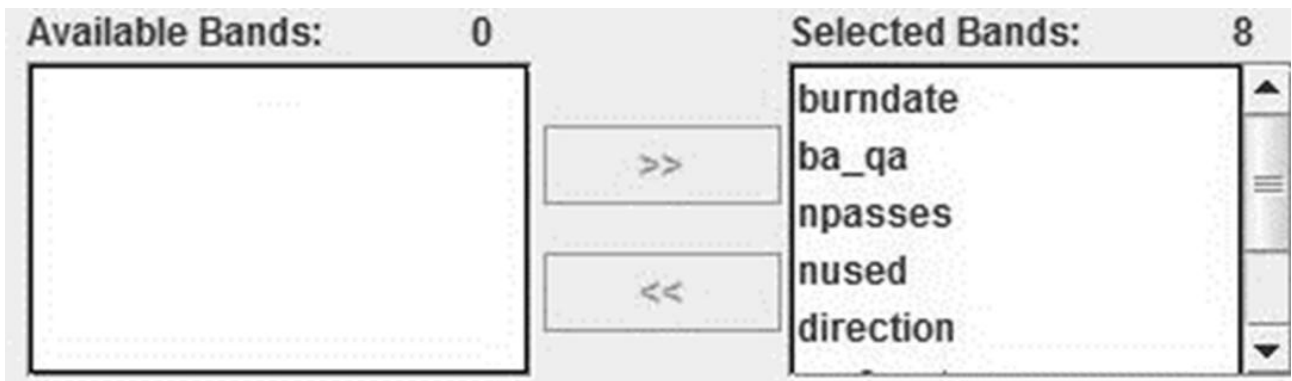


Рисунок 3.4. Вибрані діапазони Selected bands

Команда Convert format стане фінальною дією завантаження даних. Як результат маємо зображення формату GeoTIFF.

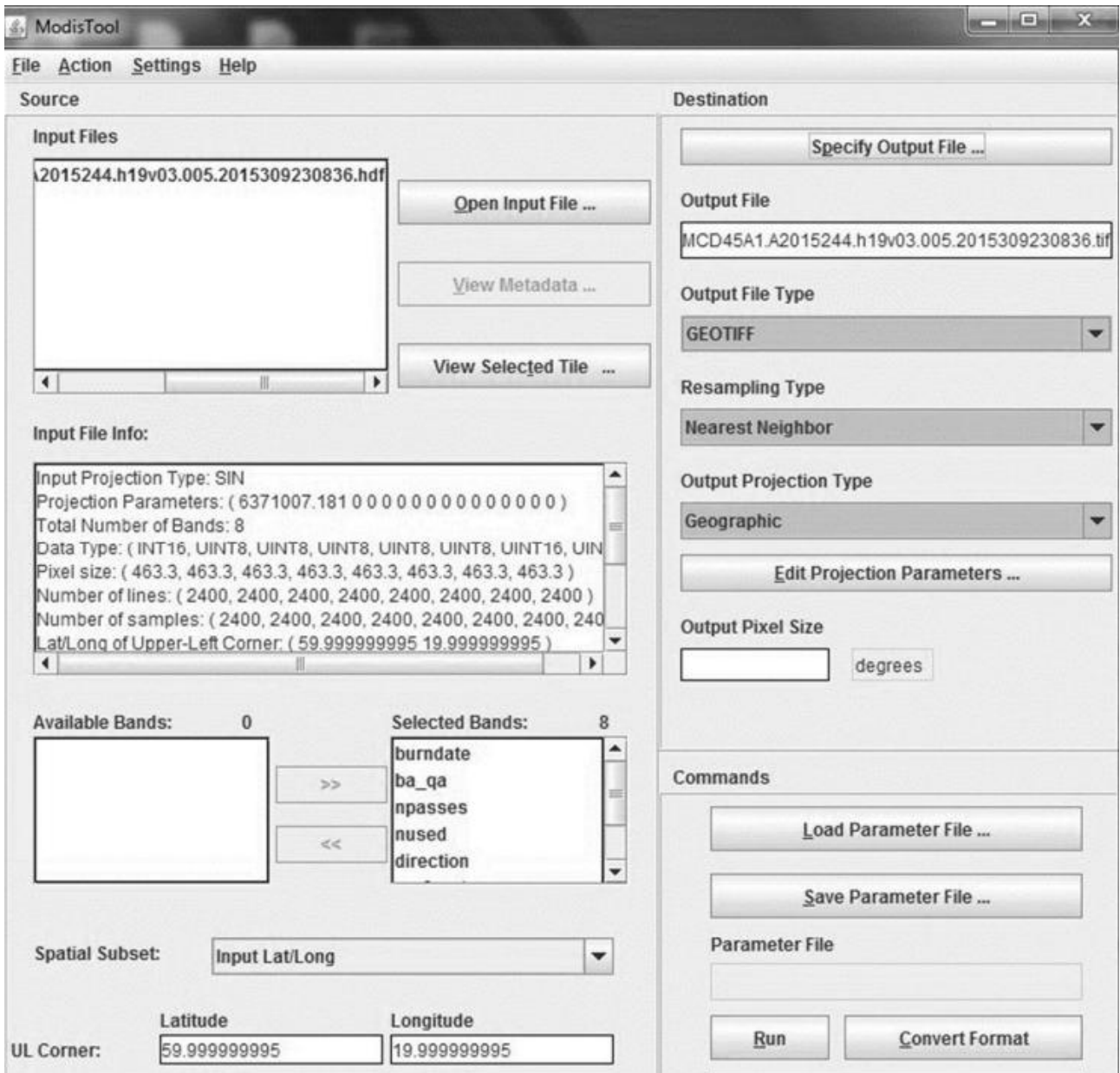


Рисунок 3.5. Вікно конвертації даних MODIS

Після перетворення даних наступним етапом є пряме класифікування знімка Бородянського району за допомогою бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV. Цей процес можна умовно розділити на три етапи: розпізнавання зображення, візуалізацію та експорт результатів. На систему, де вже встановлено програму Microsoft Visual Studio та підключена бібліотека комп'ютерного зору OpenCV, завантажується перетворений раніше знімок у форматі GeoTIFF. Це зображення зберігається в OpenCV у вигляді матриці. Для цього використовується клас Mat як основний клас для роботи з 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 даній ситуації імпортовано перший канал знімка. Так само імпортуємо всі інші канали до початку пожежі та канали станом на 5 вересня після пожежі. Так ми маємо 14-канальну 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
```

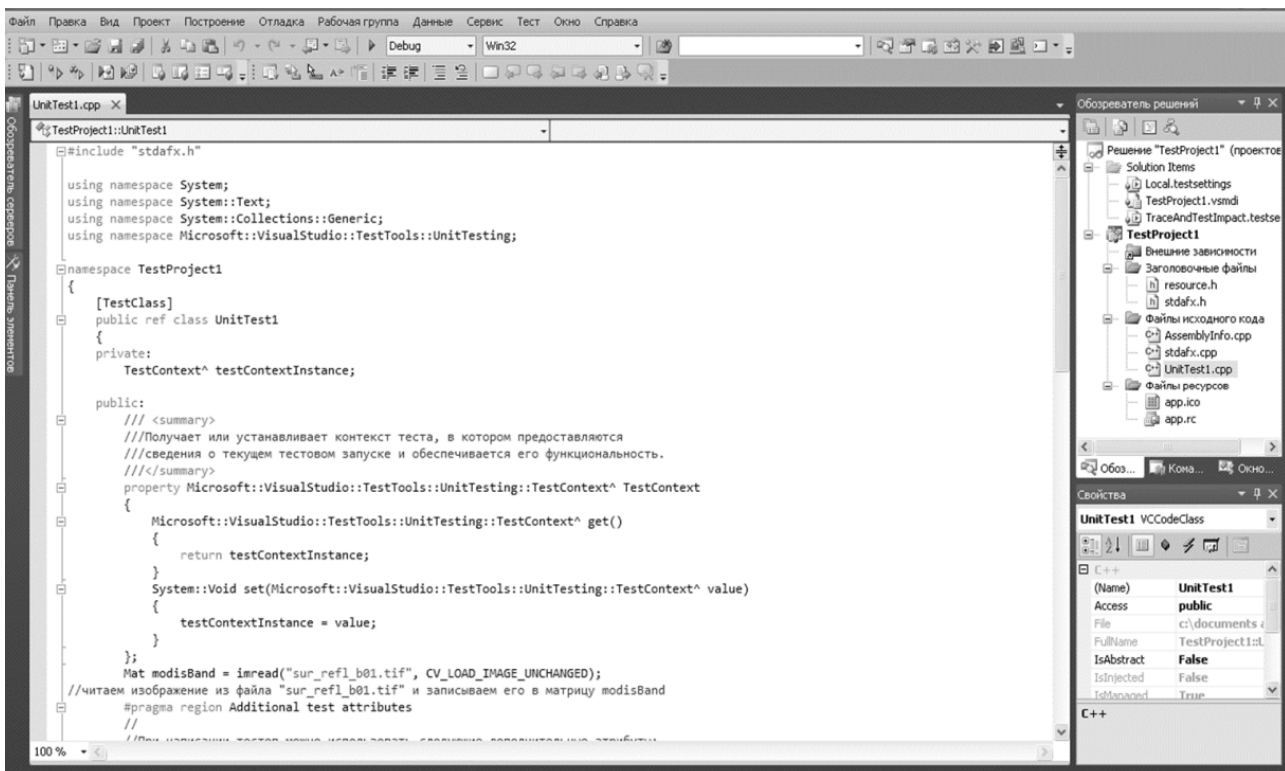


Рисунок 3.6. Вікно робочого простору програми Microsoft Visual Studio

Для налаштування дерев рішень та перевірки отриманих результатів необхідно мати інформацію про території, які зазнали спалення протягом цього періоду. Для цього проводяться операції, які виконуються на рівні окремих пікселів, 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

```

Далі було зроблено розпізнання зображення через його класифікацію за допомогою взаємодії дерев рішень:

```

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

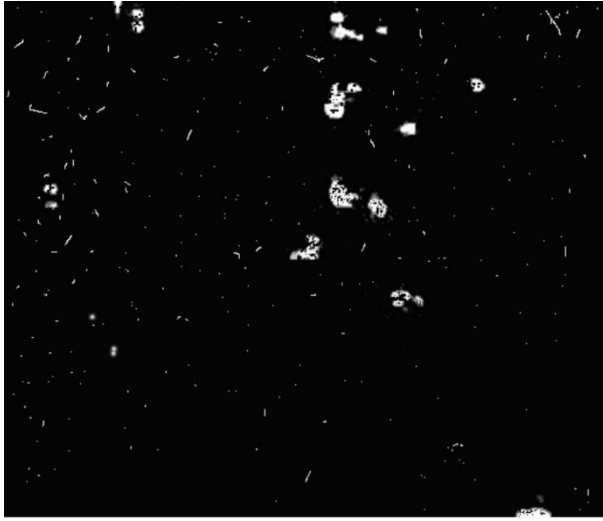
```

Наступним кроком відбувається пост обробка зображення. Задіяно операції математичної морфології, щоб в точності розпізнати пікселі спалених територій.

```

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

```



а

б

Рисунок 3.7. Результати опрацювання знімка з пожежами в Бородянському районі (білим кольором вказані території, що згоріли): а – до морфології; б – після морфології

Підрахунок матриці помилок проводився для оцінки якості класифікації:

```

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();
//відображати зображення поки не натиснуть будь -яку клавішу

```

Фінальним етапом був експорт отриманих результатів у файл з розширенням tif.

У табл. 3.2. представлена матриця помилок для ансамблю дерев рішень.

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

Таблиця 3.2. Матриця помилок для ансамблю дерев рішень

За допомогою ансамблю дерев рішень було встановлено, що спалена частина території Бородянського району становить 9% від загальної площі знімка MODIS, що дорівнює 97%. На рисунку 3.8 наведено саме побудоване зображення з межами спалених територій.



Рис. 3.8. 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 [12].

Після аналізу методики визначення наслідків пожеж за допомогою даних дистанційного зондування Землі:

1. Проаналізовано та детально описано функціональні можливості бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV.
2. Проведено обробку космічних знімків MODIS за допомогою методу дерев рішень та функціоналу бібліотеки комп'ютерного зору з метою визначення пошкоджених пожежами територій у Бородянському районі Київської області у 2015 році.

3. Розроблено технологічну схему та описано методику виявлення спалених територій за допомогою космічних знімків, що базується на методі "дерев рішень". За допомогою цієї методики було встановлено, що площа території Бородянського району, пошкодженої пожежею, становить 11589 пікселів або 9% від загальної площі опрацьованого знімка.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ

Охорона праці представляє собою важливий аспект у будь-якій системі виробництва. З метою забезпечення безпеки та здоров'я працівників в Україні було прийнято Закон України про охорону праці. Цей закон встановлює норми та принципи щодо збереження праці та визначає відповідальність за порушення цих норм. У даній публікації ми розглянемо основи цього закону, охоплюючи такі питання, як: хто підпадає під закон про охорону праці, види відповідальності за порушення законодавства та можливі санкції для працівників та роботодавців.

У цьому розділі магістерської роботи докладно розглядаються основні аспекти техніки безпеки та охорони праці.

Всі види дослідницьких робіт проводяться відповідно до вимог законодавства, зокрема "Техніки безпеки в будівництві", "Посібника з техніки безпеки на інженерно-дослідницьких роботах для будівництва", "Правил з техніки безпеки на топографо-геодезичних роботах", а також санітарно-гігієнічних норм і правил, установлених відповідними органами державного нагляду та міністерствами України.

Загальне керівництво охороною праці та її забезпеченням у всій системі інституту покладається на головного інженера інституту, а у філіях (відділеннях) - на головного інженера філії (відділення).

Керівники окремих підрозділів інституту та філій несуть відповідальність за дотримання вимог техніки безпеки та виробничої санітарії в їхніх підрозділах.

При виконанні особливо небезпечних та шкідливих умов робіт перед їх виконанням видається письмовий наряд-допуск виконавцям, в якому визначаються безпечні умови праці та вказуються небезпечні зони та необхідні заходи з техніки безпеки. Підписує наряд-допуск головний інженер інституту (філії), який також визначає ступінь небезпеки робіт.

Охоронні зони ліній електропередач мають важливе значення для забезпечення безпеки під час виконання різноманітних робіт у їхній близькості.

Ці зони визначаються з урахуванням напруги лінії, а також мають конкретні параметри, які встановлюють мінімальну допустиму відстань від крайніх проводів до робочої зони.

Напруга, кВ	Відстань, м
1 до 20 до кВ включно	10
35	15
100	20
220	25

Таблиця 4.1. Співвідношення напруги до відстані від крайніх дротів до робочої зони

Усі роботи, що проводяться в охоронній зоні, мають бути санкціоновані відповідними організаціями, які експлуатують лінію. Для цього необхідно отримати письмовий дозвіл, який підтверджує можливість виконання цих робіт із забезпеченням необхідної безпеки. При цьому роботи повинні відповідати всім вимогам і стандартам з техніки безпеки, які передбачені для робіт із лініями електропередач.

Забезпечення безпеки під час виконання робіт включає в себе дотримання ряду правил і вимог. Робочі місця, якщо потрібно, повинні бути обгороджені та обладнані захисними та запобіжними пристроями. У цих зонах не допускається присутність сторонніх осіб, які можуть заважати виконанню робіт. Також важливо, щоб устаткування та інструменти були в справному стані та відповідали характеру виконуваної роботи. Частина машин і механізмів, що можуть становити небезпеку для людей, повинні бути обгороджені, а працюючі машини не можуть залишатися без нагляду.

Крім того, в зонах, де проводяться вишукувальні роботи, обов'язково повинні бути наявні аптечки з медикаментами та інші засоби для надання першої допомоги, а також набір фіксуєуючих шин для випадків травмування. Всі ці заходи спрямовані на забезпечення максимальної безпеки працівників під час виконання робіт у небезпечних умовах біля ліній електропередач.

Проектна організація має обов'язок забезпечити своїх працівників, які займаються вишукувальними роботами, відповідним спеціальним одягом, взуттям та індивідуальними засобами захисту. Це включає в себе різні типи захисного обладнання, такі як респіратори, захисні каски, окуляри тощо, які відповідають конкретним умовам роботи і забезпечують безпеку працівників під час виконання різних видів завдань.

Тимчасовим працівникам, які беруть участь у польових дослідницьких роботах, необхідно провести детальний інструктаж з техніки безпеки на їхньому робочому місці. Цей інструктаж має включати в себе ознайомлення з ризиками, пов'язаними з виконанням роботи, правилами безпеки, процедурами евакуації та діями у випадку аварійних ситуацій. Важливо, щоб такий інструктаж проводився кваліфікованими спеціалістами і записувався в спеціальний журнал, який зберігається у виконавця робіт.

Кожен працівник зобов'язаний підтвердити своє ознайомлення з правилами охорони праці і безпеки шляхом особистого підпису в журналі реєстрації інструктажів. Це є важливим кроком для підтвердження того, що працівник розуміє свої обов'язки з охорони праці та готовий їх виконувати.

Рекогносцировка, або дослідження місцевості, передбачає детальне вивчення умов території, де планується виконання робіт. Це може включати аналіз географічних особливостей, рельєфу місцевості, наявності можливих небезпек та інших факторів, які можуть вплинути на безпеку та ефективність робіт. Такий підхід дозволяє раціонально розташувати робочі пункти, забезпечувати їхню безпеку та забезпечувати ефективність виконання завдань.

З метою забезпечення безпеки рекомендується встановлювати сигнали на відстані, що дозволить уникнути небезпечних ситуацій. Наприклад, відстань між сигналом і найближчими дорогами, телеграфними лініями та будівлями повинна бути не меншою за дві висоти сигналу. Такий підхід дозволяє уникнути можливих зіткнень або випадкових пошкоджень, що можуть виникнути внаслідок близького розміщення сигналу до цих об'єктів.

Також важливо враховувати електробезпеку. Отже, від електроліній високої напруги рекомендується тримати відстань не менше за вісім висот сигналу. Це може допомогти уникнути можливості ураження електричним струмом при можливому обваленні або пошкодженні ліній.

Для аеродромів важливо дотримуватися встановлених вимог щодо безпеки польотів. Тому рекомендується тримати сигнали на відстані не менш як тридцяти висот сигналу від межі аеродрому. Це забезпечить безпечний маневр повітряних суден навколо аеродрому, уникнувши можливих зіткнень з будь-якими перешкодами.

Попереднє обговорення стосується форми ліній та висоти знаків, що визначаються під час проектування триангуляції та розрахунків на карті з горизонталями. Пізніше ці дані уточнюються на місці через розміщення віх або мачт на пунктах, обраних для встановлення знаків. Після цього проводиться вимірювання їхнього місцезнаходження та визначення висот знаків шляхом геодезичного нівелювання.

Щодо перспективних методів, об'єднання рекогносцировки і побудови знаків в єдиний комплекс може виявитися ефективним. Такі бригади, підтримані будівельними, можуть вибрати вигідне місце для пункту та побудувати сигнал на відповідній висоті, уникнувши надмірних будівельних робіт та перебудов.

Керівник комплексної ланки, який зазвичай є інженером-рекогносцировщиком, відповідає за організацію процесу рекогносцировки. Він працює спільно з будівельниками для швидкого встановлення віх або мачт і розміщення на них сигналів. Важливо, щоб встановлені віхи були добре видимі на великій відстані, зокрема, від 13 до 20 км. Це досягається шляхом встановлення візирних цілей на верхівках віх. Ці цілі мають бути розміщені на висоті, яка перевищує рівень лісу, щоб забезпечити їхню видимість.

Для дослідження обсягу місцевості геодезістам може бути потрібно підніматися на високі споруди, такі як старі сигнали, пожежні вишки чи церковні дзвіниці. Проте ці дії потребують обережності, оскільки деякі з цих споруд

можуть бути пошкоджені. Іноді рекогносцировщики доводиться підніматися на дерева за допомогою спеціальних інструментів та захисного обладнання.

При цьому дуже важливо дотримуватися всіх правил безпеки. Страхувальні пояси, шнури, карабіни та інше обладнання повинні бути перевірені на міцність та надійність, оскільки вони відповідають за життя та безпеку працівника.

Деякі методи піднімання, наприклад застосування драбин або використання автомобільних драбин, можуть забезпечити значно більшу стабільність та безпеку в порівнянні з іншими методами. Наприклад, драбина Н.В. Шрейбера спеціально розроблена для рекогносцировки пунктів триангуляції в складних лісових умовах і може підніматися за допомогою "падаючої стріли".

Кожен аспект роботи рекогносцировщика повинен бути детально продуманий та підкріплений необхідними знаннями та навичками, щоб забезпечити безпеку та ефективність процесу.

Вимоги до виробничих приміщень та персоналу, які працюють з відеотерміналами, мають на меті забезпечення безпеки, комфорту і здоров'я працівників. Отже, облаштування робочих місць повинно враховувати кілька ключових аспектів:

1. Умови освітлення та відблисків: Виробниче середовище повинно мати належне освітлення, яке не створює неприємних відблисків на екранах відеотерміналів. Це допомагає уникнути напруження очей та забезпечує комфортні умови роботи.

2. Мікроклімат: Важливо підтримувати оптимальні параметри мікроклімату, такі як температура, відносна вологість, швидкість руху повітря та рівень іонізації. Це сприяє забезпеченню комфортних умов для праці та підтримує здоров'я працівників.

3. Ергономіка робочого місця: Робоче місце повинно мати належні ергономічні характеристики, що сприяють зручності та ефективності роботи оператора.

У додаток до цього, облаштування має враховувати різноманітні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникати у виробничому середовищі:

- Шум та вібрації: Належить уникати розташування робочих місць поряд із джерелами шуму та вібрацій, що може впливати на здоров'я працівників та якість їхньої роботи.

- Рентгенівське випромінювання, електромагнітне випромінювання, ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання, електростатичне поле: Необхідно вживати заходів для захисту від цих небезпечних випромінювань, зокрема, шляхом встановлення відповідного обладнання та ефективної системи вентиляції.

- Пил, озон, оксиди азоту, аероіонізація: Виробничі приміщення повинні бути обладнані системами очищення повітря для уникнення впливу шкідливих речовин на здоров'я працівників.

Крім того, неприпустимим є розташування виробничих приміщень, де ведуться мокрі технологічні процеси поряд з тими, де розміщені робочі місця з ЕОМ, оскільки це може створювати небезпеку для обладнання та здоров'я працівників.

Робочі місця, де використовуються відеотермінали або персональні комп'ютери (ЕОМ), у приміщеннях з можливими джерелами шкідливих виробничих факторів, повинні бути розташовані в ізольованих кабінах, які забезпечують належний повітрообмін. Відповідно до санітарних норм і правил, санітарно-гігієнічні параметри на робочому місці мають відповідати вимогам, зазначеним у відповідних нормативних документах.

Згідно з Державними санітарними правилами та нормами роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин, розташування приміщень для роботи з відеотерміналами та ЕОМ у підвалах та

на цокольних поверхах вважається недопустимим. Площу цих приміщень слід визначати згідно з встановленими нормативами на одне робоче місце з урахуванням максимальної кількості осіб, що працюють у зміні.

Матеріали для обробки стін, стелі та підлоги в приміщеннях з ЕОМ мають бути відповідними санітарним вимогам. Ремонт, обслуговування та налагодження ЕОМ слід проводити у спеціально обладнаних приміщеннях або майстернях.

Конструкції, які знаходяться в приміщеннях (наприклад, батареї опалення, водопровідні труби, кабелі з заземленим екраном), мають бути надійно захищені від випадкового дотику. Приміщення з ЕОМ слід регулярно очищати від пилу, і в них мають бути доступні медичні аптечки першої допомоги. Підходи до засобів пожежогасіння повинні бути вільними.

Приміщення для відпочинку працівників, які працюють з ЕОМ, повинні бути оснащені відповідно до вимог будівельних норм СНиП 2.09.04-87. Якщо проводиться психологічне розвантаження, воно має проводитись у спеціально обладнаних приміщеннях, наприклад, у кімнатах психологічного розвантаження.

Під час регламентованих перерв або наприкінці робочого дня згідно з процедурою психофізіологічного розвантаження, яка описана в додатку 9 до Державних санітарних правил та норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин (ДСанПіН 3.3.2-007-98), виконується відповідна діяльність.

Усі працівники, які займаються експлуатацією, обслуговуванням, налагодженням та ремонтом ЕОМ, підлягають обов'язковому медичному огляду при прийомі на роботу та періодично протягом трудової діяльності. Це передбачено відповідно до Положення про медичний огляд працівників певних категорій, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31 березня 1994 року № 45, із зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 21 червня 1994 року № 136/345, а також в ДСанПіН 3.3.2-007-98.

Посадові особи, спеціалісти та інші працівники підприємств, які відповідають за експлуатацію, профілактичне обслуговування, налагодження та

ремонт ЕОМ, проходять підготовку та перевірку знань з охорони праці, правил і питань пожежної безпеки. Це відповідає вимогам Типового положення про навчання з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 17 лютого 1999 року № 27, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 21 квітня 1999 року № 248/3541. Також вони проходять спеціальне навчання, інструктаж та перевірку знань з питань пожежної безпеки, що відповідає вимогам, встановленим наказом МВС України від 17 листопада 1994 року № 628, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 22 грудня 1994 року № 307/517.

До роботи безпосередньо на ЕОМ допускаються особи, які не мають медичних протипоказань [21].

ВИСНОВКИ

У ході досліджень було проаналізовано невітійну статистику надзвичайних ситуацій, в тому числі викликаних стихійними лихами на території України. Були визначені ключові чинники збільшення постраждалих з 2021 на 2022 рік, один з ключових – повномасштабне вторгнення російських військ на територію України. Було встановлено, що більшу частину загорянь лісів становить не що інше, як навмисне нищення природних ресурсів, тобто – екоцид.

Досліджено основні характеристики дистанційного зондування Землі. А також виявлено, що розвиток ДЗЗ є одним з пріоритетних напрямків космічної діяльності України, зважаючи на нелегку ситуацію.

В ході дослідження був проведений огляд комерційних та безкоштовних ресурсів для моніторингу стихійних лих за допомогою знімків з супутників. А також описано можливості даних ресурсів та необхідне програмне забезпечення.

Було ретельно проаналізовано та докладно описано функціональні можливості бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV.

Проведено обробку космічних знімків MODIS за допомогою методу дерев рішень та функціоналу бібліотеки комп'ютерного зору з метою визначення пошкоджених пожежами територій у Бородянському районі Київської області у 2015 році.

Була розроблена технологічна схема та детально описано методику виявлення спалених територій за допомогою космічних знімків, що базується на методі "дерев рішень". Згідно з цією методикою було визначено, що площа території Бородянського району, пошкодженої пожежею, становить 11589 пікселів або 9% від загальної площі опрацьованого знімка.

Як результат встановлено, що однією з основних переваг космічного зондування є те, що воно не залежить від погодних умов або часу доби, оскільки супутники можуть проводити спостереження навіть у нічний час або в умовах хмарності.

Цей метод став дуже корисним для виявлення та моніторингу стихійних лих, таких як лісові пожежі, повені та інші природні катастрофи. Зокрема, супутникові знімки з високим розширенням дають можливість виявити епіцентри пожеж та визначити площу пошкоджень без необхідності фізичного перебування на місці події.

Крім того, космічне зондування дозволяє оперативно отримувати інформацію про зміни в природних умовах, таких як затоплення територій під час повеней. Це допомагає вчасно реагувати на надзвичайні ситуації, оцінювати їх масштаби та приймати необхідні заходи для зменшення збитків.

Таким чином, космічне дистанційне зондування є важливим інструментом для моніторингу стану земної поверхні та виявлення небезпечних природних явищ, що допомагає у запобіганні та управлінні наслідками стихійних лих.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2022 році. – С. 1-6
2. Наукова робота «Визначення впливу лісових пожеж на забрудненість ґрунтів важкими металами». – Харків 2016. – С. 6-8
https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/konkurs/lisovi_pozhezhi.pdf
3. Постанова Кабінету Міністрів «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ N 1763 (1763-99-п) від 24.09.99, N 528 (528- 2001-п) від 16.05.2001, N 717 (717-2003-п) від 15.05.2003, N 792 (792- 2004-п) від 21.06.2004, N 754 (754-2006-п) від 25.05.2006, N 911 (911- 2011-п) від 31.08.2011, N 657 (657-2012-п) від 18.07.2012, N 930 (930- 2012-п) від 10.10.2012, N 991 (991-2012-п) від 17.10.2012, N 380 (380- 2013-п) від 29.05.2013, N 748 (748-2013-п) від 07.08.2013, N 379 (379- 2015-п) від 27.05.2015, N 797 (797-2017-п) від 18.10.2017, N 758 (758-2018-п) від 19.09.2018, N 827 (827-2019-п) від 14.08.2019, N 916 (916- 2019-п) від 06.11.2019, N 1065 (1065-2019-п) від 04.12.2019) від 30 березня 1998 р. N 391. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98- %D0%BF](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF) (дата звернення: 14.04.2020)
4. Рома В.В., Степова О.В. Навчальний посібник для вивчення дисципліни «Моніторинг довкілля». Полтава 2016. 117с.
5. Ніщинський А.Г. Моніторинг земель і прогнозування земельних ресурсів. – Рівне. - 1999.-105с
6. Медведєв В.В. Родючість ґрунтів. Моніторинг та управління. – К.: Урожай, 2002. -232с.
7. Основи створення електронних карт на базі програмного забезпечення Arcgis 10. 1 / Бревус С. М. та ін. Київ : ТОВ «СІТІПРІНТ», 2013. 142 с
8. Конституція України: Закон від 28.06.1996 № 254к/96- ВР//Верховна Рада України

9. Столиця в диму: пожежа під Києвом все ще не згашена. 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://dt.ua/UKRAINE/stolicya-v-dimupozhezha-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. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://nubip.edu.ua/node/16228>.
11. Дубинин М. Продукты MODIS – Land. 2006. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://gislab.info/qa/modislandprod.html>.
12. 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
13. Космическое зондирование Земли: итоги 2008. // Snews
14. Можливості забезпечення даними ДЗЗ користувачів України
15. Запуски спутников съемки Земли: итоги 2009 года. // Snews. Аналитика. – 2010. – Режим доступа: свободный, <http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2010/01/12/375927>. – Дата обращения: 12 января 2010
16. Боярчук К.А., Туманов М.В. Дистанционное зондирование земли как часть современной информационной системы. – НТЖ «Вопросы электромеханики», Том 113. № 6 2009, с 33-36.
17. Порядок роботи ДНВЦ "Природа" з користувачами ДЗЗ
18. Постанова кабінету міністрів України Про затвердження Положення про моніторинг земель від 20 серпня 1993 р. N 661 м.Київ (В редакції Постанови КМ N 2041 від 26.12.2003)
19. Лащёнов Ю. М. Созвездие спутников DigitalGlobe: реалии и перспективы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pryroda.gov.ua>.
20. 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.

21. “Моніторинг земель”. “Навчальний посібник”. Львів, 1997 р. Сохнич А.Я.