

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій,
обліку та фінансів
Кафедра комп'ютерних технологій
і моделювання систем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Мисливого Дениса Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача освіти)

УДК 528.9:004.9:551.521

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Геоінформаційна система визначення теплових аномалій на космічних
знімках
(тема роботи)

126 – Інформаційні системи та технології
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Мисливий Д. В.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освіти)

Керівник роботи
Топольницький Павло Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

К.Т.Н. ДОЦЕНТ
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир 2025

Висновок кафедри

за результатами попереднього захисту:

Протокол засідання кафедри _____

№ _____ від “_____” _____ 20 _____ р.

Завідувач кафедри _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(прізвище, ім'я, по батькові)

“_____” _____ 20 _____ р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач освіти _____ захистив

(прізвище, ім'я, по батькові)

кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за шкалою ECTS _____

за національною шкалою _____

Секретар ЕК

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(прізвище, ім'я, по батькові)

АНОТАЦІЯ

Мисливий Д. В. Геоінформаційна система визначення теплових аномалій на космічних знімках. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У цій роботі було розроблено геоінформаційну систему, яка призначена для виявлення теплових аномалій на супутникових знімках. Вона дозволяє оперативно здійснювати моніторинг як природних явищ, так і техногенних процесів. Особлива актуальність дослідження пояснюється нагальною потребою своєчасно реагувати на екологічні загрози та надзвичайні ситуації, що стають дедалі частішими в умовах кліматичних змін. Головною метою роботи є створення системи, здатної визначати зони з підвищеною температурою та наочно відображати результати у форматі теплових карт. Для досягнення цієї мети було проведено комплексний системний аналіз предметної області. Також виконано функціональне моделювання, розроблено архітектуру системи, математичну модель і користувацький інтерфейс.

Аналітична частина дослідження ґрунтується на спектральному аналізі теплових сигналів, що реалізовано за допомогою дискретного перетворення Фур'є. Для цього використано інструменти та платформу ArcGIS Insights. Отримані результати подаються у вигляді інтерактивних карт, діаграм та аналітичних звітів. Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблена система може застосовуватися для прогнозування надзвичайних ситуацій і здійснення екологічного контролю.

Ключові слова: Геоінформаційна система, теплові аномалії, супутникові знімки, Arcgis insights, аналіз зображень.

SUMMARY

Myslyvyi D. V. Development of the geo-information system for detecting thermal anomalies on satellite images. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for a bachelor's degree in specialty 126 – Information Systems and Technologies – Polissya National University, Zhytomyr, 2025.

In this study, a geographic information system (GIS) was developed for detecting thermal anomalies in satellite imagery. The system enables real-time monitoring of both natural and man-made processes. The relevance of the research is driven by the growing need for timely responses to environmental threats and disasters, which are becoming increasingly frequent due to climate change.

The primary objective of this work is to create a system capable of automatically identifying areas with elevated temperatures and visualizing the results through thermal maps. To achieve this, a comprehensive system analysis of the subject area was conducted. Additionally, functional modeling was carried out, alongside the development of the system's architecture, mathematical model, and user interface.

The analytical component of the research is based on spectral analysis of thermal signals, implemented using the discrete Fourier transform. This was accomplished with the help and the ArcGIS Insights platform. The results are presented in the form of interactive maps, charts, and analytical reports. The practical value of this project lies in its potential use for forecasting emergency situations and performing environmental monitoring.

Keywords: Geo-information system, thermal anomalies, satellite images, remote sensing, Arcgis insights, image analysis.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	
1.1 Аналіз інформаційних потреб і визначення геоінформаційної системи визначення теплових аномалій на космічних знімках.....	7
1.2 Функціональне моделювання геоінформаційної системи визначення теплових аномалій на космічних знімках.....	8
Висновок до розділу 1.....	11
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ ТЕПЛОВИХ АНОМАЛІЙ НА КОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ.....	
2.1 Структура геоінформаційної системи визначення теплових аномалій на космічних знімках.....	12
2.2 Формалізація моделі геоінформаційної системи визначення теплових аномалій на космічних знімках.....	14
Висновок до розділу 2.....	16
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ АНОМАЛІЙ НА КОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ.....	
3.1 Проектування інтерфейсу геоінформаційної системи визначення теплових аномалій на космічних знімках.....	17
3.2 Реалізація математичної моделі геоінформаційної системи виявлення теплових аномалій на космічних знімках.....	18
Висновок до розділу 3.....	19
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	

ВСТУП

В умовах зростаючих екологічних загроз та частіших природних катастроф, моніторинг теплових аномалій стає невід'ємною складовою захисту навколишнього середовища. Теплові аномалії можуть свідчити про початкові стадії лісових пожеж, надмірне нагрівання промислових об'єктів або енергетичні несправності. Космічні знімки є одним із найефективніших інструментів для отримання даних, оскільки дозволяють охоплювати великі площі й отримувати актуальну інформацію в режимі реального часу.

Поєднання супутникових знімків і ГІС забезпечує швидке та ефективне опрацювання даних. Виявлення аномалій на основі аналізу супутникових знімків прискорює процес ухвалення рішень і знижує ризик людської помилки. ГІС інтегрована з даними про теплові аномалії, допомагає відстежувати лісові пожежі, виявляти осередки загоряння і прогнозувати можливі сценарії розвитку подій.

Крім того, така система може бути корисною для промислових підприємств та енергетичних об'єктів, де перегрівання або витoki тепла можуть призводити до серйозних аварій. ГІС з функцією виявлення теплових аномалій допомагає стежити за станом об'єктів у реальному часі, що сприяє запобіганню аварій, підвищенню безпеки на виробництвах та мінімізувати шкоду для довкілля[1].

РОЗДІЛ 1. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз інформаційних потреб і визначення геоінформаційної системи визначення теплових аномалій на космічних знімках

Аналіз інформаційних потреб і визначення в умовах глобальних змін клімату та зростання частоти природних катастроф, космічні знімки теплових аномалій є значущим джерелом інформації для моніторингу цих ситуацій на широкій території. Використання геоінформаційних систем для обробки космічних фотозображень не лише автоматизує процес виявлення теплових аномалій, а й полегшує прийняття рішень на основі цих даних. Виявлення теплових аномалій на космічних знімках вимагають спеціальних інструментів для виявлення та класифікації таких аномалій. Аналіз за допомогою інфрачервоного випромінювання з метою можливості досліджувати зміни температури для виявлення аномалій таких, як пожежі чи нагрівання об'єктів. Об'єктом дослідження є модель геоінформаційної системи, яка призначена для виявлення та аналізу теплових аномалій на космічних знімках. Основним призначенням такої системи є автоматизація процесу обробки супутникових зображень для виявлення та моніторингу.

За допомогою цього, створення геоінформаційної системи теплових аномалій на космічних знімках забезпечує потреби сучасного моніторингу природних і техногенних явищ. Ця система базується на комплексному аналізі космічних даних, для ефективного виявлення і реагування на небезпечні ситуації[2].

Основними споживачами інформації про теплові аномалії є різні групи, кожна з яких має свої унікальні потреби:

- Державні органи, такі як екологічні служби та служби надзвичайних ситуацій, застосовують ці дані для моніторингу та реагування на можливі ризики;
- Наукові установи, та дослідницькі організації використовують цю інформацію для аналізу кліматичних змін, вивчення екосистем і побудови прогнозів;
- Приватний сектор, зокрема компанії енергетичної галузі, сільського господарства чи управління природними ресурсами, інтегрують ці дані для підвищення ефективності своєї діяльності.

Головні інформаційні потреби у них:

- Просторове визначення аномалій. Це включає виявлення регіонів із підвищеною температурою та їхнє географічне розташування;
- Динаміка змін у часі. Важливо розуміти, як змінюється температура на окремих територіях у різні періоди, що допомагає оцінювати ризики, такі як загроза лісових пожеж;
- Класифікація аномалій. Розмежування природних і антропогенних аномалій дозволяє точніше реагувати;
- Автоматизація моніторингу. Системи, які в режимі реального часу можуть виявляти теплові аномалії, значно полегшують роботу;

Зручна подача результатів. Візуалізація даних у вигляді інтерактивних карт, звітів робить їх доступними для широкого кола користувачів.

1.2 Функціональне моделювання геоінформаційної системи визначення теплових аномалій на космічних знімках

Контекстна діаграма геоінформаційної системи (Рисунок 1.1) демонструє, як у системі взаємодіє користувач, вхідні дані та результати на виході. Головне завдання ГІС полягає в тому, щоб отримати дані від

користувача, обробити їх згідно з визначеними критеріями та стандартами, а потім згенерувати звіт, що містить інформацію про теплові аномалії.

На етапі планування система складається з кількох важливих вимог таких як, критерії оцінки аномалій які використовуються для визначення порогових значень, які вказують на те, що теплові відхилення слід вважати аномаліями. Алгоритми обробки автоматизують процес аналізу даних супутникових знімків, що прискорюючи цей процес. Вимоги визначають основні характеристики, які система повинна виконувати. Стандарти координат і візуалізації визначають, в якому форматі й у якій структурі мають бути представлені результати. Інструменти створення звітів підсумовують результати і подають їх у зручному для користувача вигляді. Так контекстна діаграма відображає високорівневий огляд усіх взаємодій системи із зовнішнім середовищем, що дозволяє легко зрозуміти її принцип.

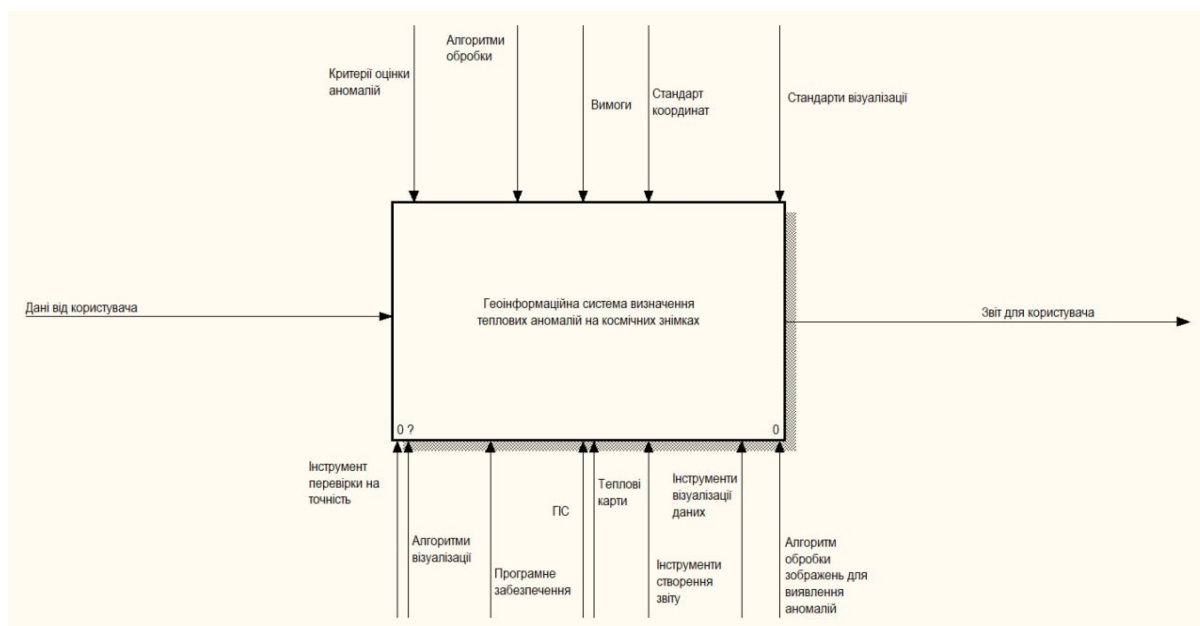


Рисунок 1.1 – Контекстна діаграма

Декомпозиція процесів (Рисунок 1.2) детально показані основні етапи функціонування системи. Система розділена на п'ять ключових процесів, кожен з яких виконує своє завдання:

На початку виконується визначення координат. Користувач вводить дані, такі як регіон інтересу або конкретні координати, які система інтерпретує відповідно до своїх стандартів. Далі відбувається пошук знімків. Система звертається до баз даних супутникових зображень, в системі Copernicus, щоб знайти актуальні знімки обраної області.

В проміжному етапі виявлення теплових аномалій. Система аналізує супутникові зображення за допомогою спеціальних алгоритмів і виявляє області з відхиленнями температур.

На завершальному етапі візуалізація результатів збирає дані, які представляються у вигляді теплових карт або в іншому форматі, що відповідає стандартам візуалізації. У завершенні система створює звіт, який містить текстову, графічну та аналітичну інформацію на основі візуалізованих даних. Усі ці процеси тісно взаємопов'язані, вхідні дані одного процесу є основою для роботи іншого, що забезпечує злагодженість усієї системи.

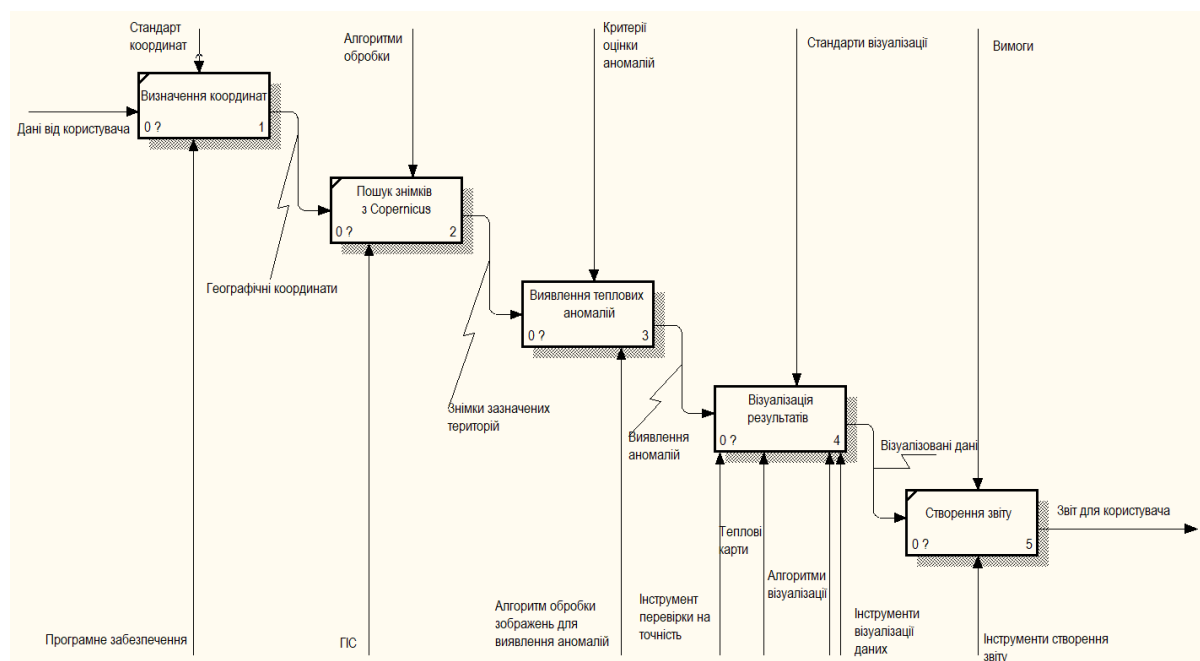


Рисунок 1.2 – Декомпозиція процесів

Декомпозиція процесу візуалізації результатів (Рисунок 1.3) деталізує процес візуалізації результатів, який складається з трьох

ключових підпроцесів. Спершу проводиться перевірка на точність виявлених аномалій. На цьому етапі система оцінює дані на відповідність критеріям і перевіряє точність алгоритмів. Далі йде вибір методу візуалізації. Визначається, який формат найкраще підходить для представлення даних теплових карт, графіків.

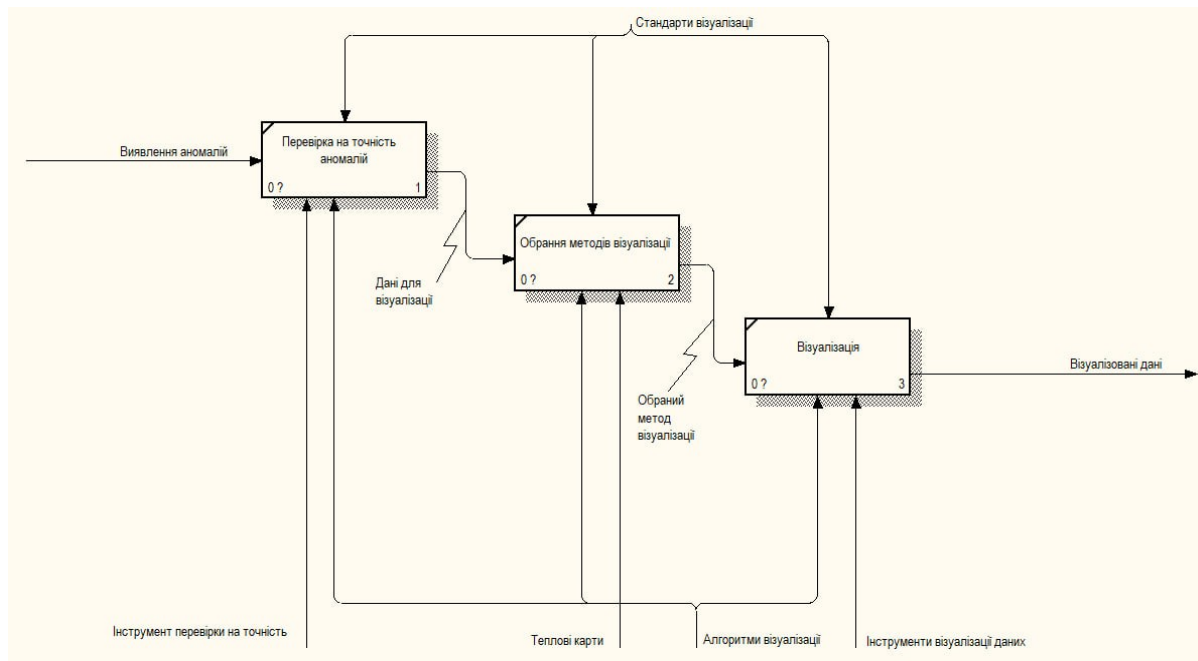


Рисунок 1.3 – Декомпозиція процесу візуалізації результатів

Проводиться сама візуалізація. Обраний метод використовується для створення графічних зображень, що надають користувачеві інформацію про теплові аномалії. Результатом цього процесу стають візуалізовані дані, які точно передають теплову динаміку території. Особливу увагу на цьому етапі приділяється перевірці точності, щоб уникнути хибних результатів.

Висновок до розділу 1

Функціональне моделювання дозволило чітко окреслити основні процеси, які виконує ГІС для виявлення теплових аномалій. Створення діаграм EDF0 дало змогу детально структурувати всі функціональні можливості системи, а також показати, як саме ці можливості взаємопов'язані та яким чином працюють алгоритми обробки даних. Такий підхід сприяє як

ефективній розробці системи, так і її подальшому продуктивному використанню.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТЕПЛОВИХ АНОМАЛІЙ НА КОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ

2.1 Структура геоінформаційної системи визначення теплових аномалій

Процес створення структури охоплює всі етапи обробки даних від початкового налаштування параметрів пошуку до формування звітів із графіками та класифікацією виявлених аномалій. Це багатоступеневий процес, що потребує інтеграції із різноманітними інструментами та методиками.



Рисунок. 2.1 – Структурна схема геоінформаційної системи

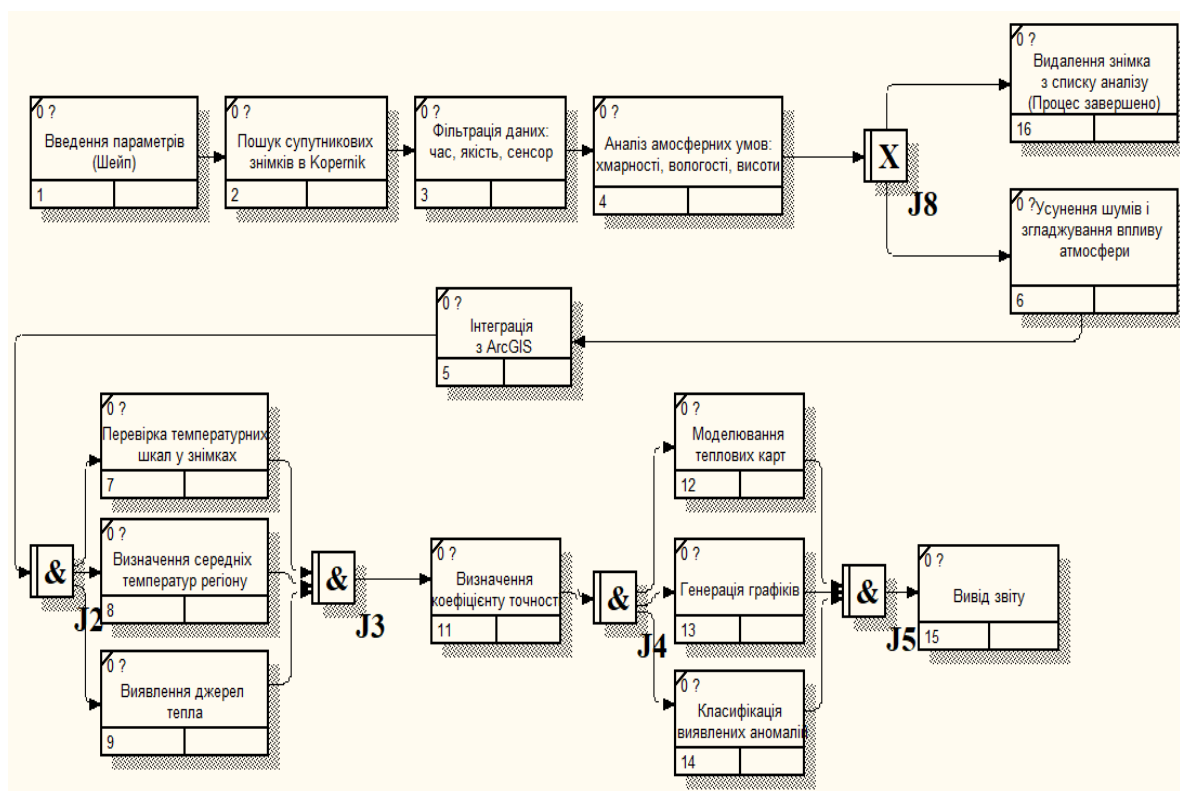


Рисунок 2.2 – IDEF3 процесу обробки запиту користувача

Перш за все процес починається зі завантаження параметрів (шейп-файлів). Ці файли визначають регіон, у межах якого виконуватиметься аналіз. Це дозволяє локалізувати пошук і не витрачати ресурси на зайві області. Далі система підключається до сервера Copernicus для пошуку супутникових даних, обираючи лише ті знімки, які відповідають встановленим критеріям.

Після збору зображень їх піддають фільтрації, ключовими стають такі параметри, як дата зйомки, тип сенсора та якість зображення. Лише дані із зазначеними параметрами допускаються до наступного кроку, аналізу атмосферних умов. Хмарність, вологість і висота атмосфери на момент зйомки можуть суттєво вплинути на точність виявлення аномалій, тому ці фактори обов'язково враховуються. Якщо атмосферні умови знижують якість даних, застосовуються методи обробки для зменшення шумів і коригування атмосферних викривлень. Якщо ж знімок не відповідає критеріям, він виключається з аналізу.

Далі виконується інтеграція з *ArcGIS*. Це середовище забезпечує гнучкість у роботі з даними, дозволяючи створювати зручні візуалізації. Потім дані піддаються температурній перевірці, аналізуються температурні шкали, щоб гарантувати відповідність зображень реальним умовам.

Система розраховує середні температури для регіону, створюючи базову лінію для ідентифікації аномалій. У процесі виявлення теплових аномалій особливу увагу приділяють точності визначення джерел тепла, таких як осередки пожеж або техногенні зони. Визначені аномалії оцінюються за коефіцієнтом точності, що дозволяє відсіяти хибні спрацьовування.

Фінальна сегмент це візуалізація даних. Створюються теплові карти, графіки динаміки змін і звіт. Останні містять не лише результати аналізу, але й деталізовані класифікації аномалій за типом: природні, техногенні, сталі, динамічні та аномальні. У результаті, ГІС для виявлення теплових аномалій це добре продумана структура з інтегрованими інструментами збору, аналізу й представлення даних. Уся ця система дозволяє отримувати точні й інформативні результати, які можуть бути застосовані для екологічного моніторингу, реагування на надзвичайні ситуації або довговому планування.

2.2 Формалізація моделі геоінформаційної системи визначення теплових аномалій на космічних знімках

У цій частині роботи детально описано створення моделі системи, яка базується на супутникових даних та алгоритмах спектрального аналізу. На основі якої було створено схему на (Рисунок 2.2) діаграма відображає всі потоки від користувача до візуалізації результатів.

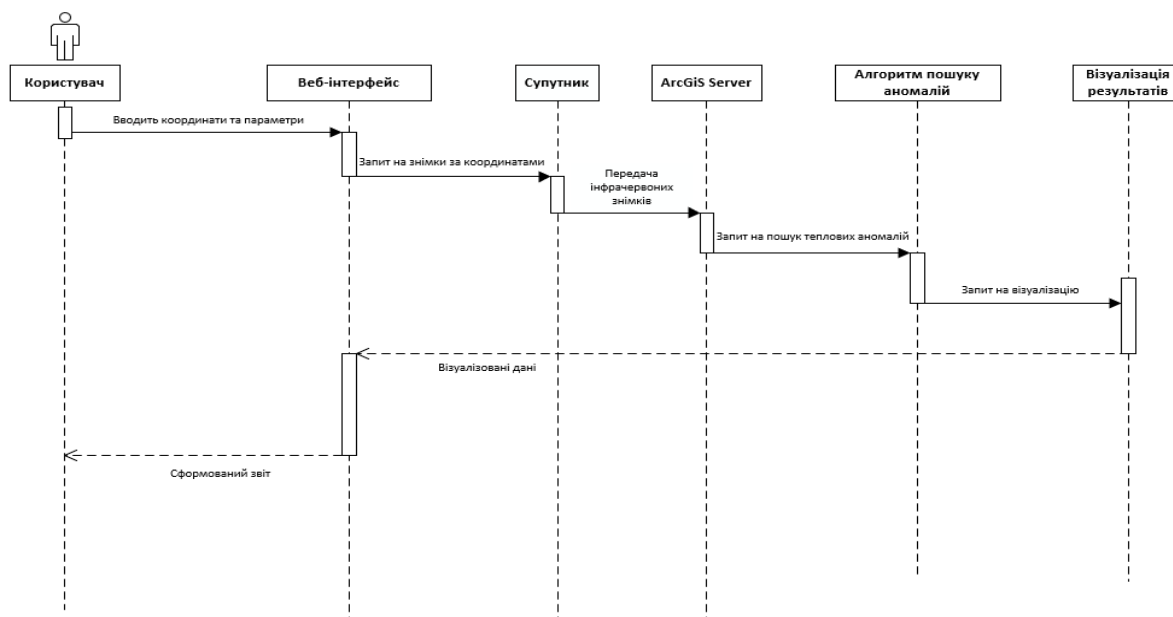


Рисунок. 2.3 – UML діаграма послідовності

Користувач через веб-інтерфейс задає координати регіону для аналізу. Система надсилає запит до бази даних супутникових знімків в *Copernicus*, таких як *Sentinel-2* або *Landsat*, щоб отримати актуальні зображення. Завантажені дані інтегруються у платформу програмного середовища *ArcGIS Insights*. Це забезпечує можливість зручної роботи з растровими шарами, візуалізацію та їх аналітичної просторової обробки. Зокрема, видаляються зони із хмарами чи з шумами які можуть зашкодити знімкам, далі вибирається інфрачервоний або тепловий інфрачервоний спектральний канал.

Також для отримання даних потрібен алгоритм який виконує пошук аномалій та порівнювати і використовувати спектральний канал, який дає зрозуміти значно ширшу інформацію про конкретну область об'єкта.

З найпопулярніших це нормалізований вегетаційний індекс *NDVI*,

Розрахунок індекса *NDVI* йде за такою формулою:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

NIR (*Near-Infrared*) значення відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні спектрів. У цьому інфрачервоному діапазоні (*NIR*) здорова

рослинність навпаки відбиває більшу частину світла, оскільки клітинна структури листків відштовхує ці хвилі.

Red це значення відбиття у червоному діапазоні спектра. Рослинність сильно поглинає світло у видимому червоному діапазоні через хлорофіл, який використовує цю енергію для фотосинтезу.

Висновок до розділу 2

У цьому розділі була описана модель системи для виявлення теплових аномалій на космічних знімках. Її формалізація включає представлення за допомогою *UML*-діаграми, яка ілюструє послідовність основних етапів роботи. Зокрема застосування індексу *NDVI* дає змогу точно оцінювати стан рослинності й ефективно виявляти аномальні ділянки. Використання бібліотеки *OpenCV* сприяє автоматизації процесу ідентифікації зон із підвищеною температурою. А завдяки інтеграції результатів в *ArcGIS Insights* забезпечується їх візуалізація у вигляді теплових карт, графіків і таблиць.

Таким чином, створена ГІС-система виступає дієвим інструментом для екологічного моніторингу та управління надзвичайними ситуаціями в рамках довгострокового планування. Система надає точні й інформативні дані, які можуть бути використані для ухвалення рішень у сфері управління природними ресурсами й охорони довкілля.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ АНОМАЛІЙ НА КОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ

3.1 Проектування інтерфейсу геоінформаційної системи визначення теплових аномалій на космічних знімках

Інтерфейс користувача є ключовим елементом будь-якої геоінформаційної системи, адже саме від його зручності та функціональності залежить ефективність роботи користувачів із просторовими даними. У межах цієї роботи було спроектовано інтерфейс системи виявлення теплових аномалій на основі супутникових знімків, з урахуванням потреб аналітиків, екологічних служб та органів місцевого самоврядування.

Одним із оптимальних рішень для інтеграції просторових даних є програмний продукт ArcGIS Insights. Ця платформа забезпечує можливість інтерактивної візуалізації та аналітики великих обсягів просторової інформації, включаючи побудову теплових карт для відображення зон підвищеної температури. Інтерфейс системи спроектовано таким чином, щоб надати користувачам доступ до функціоналу.

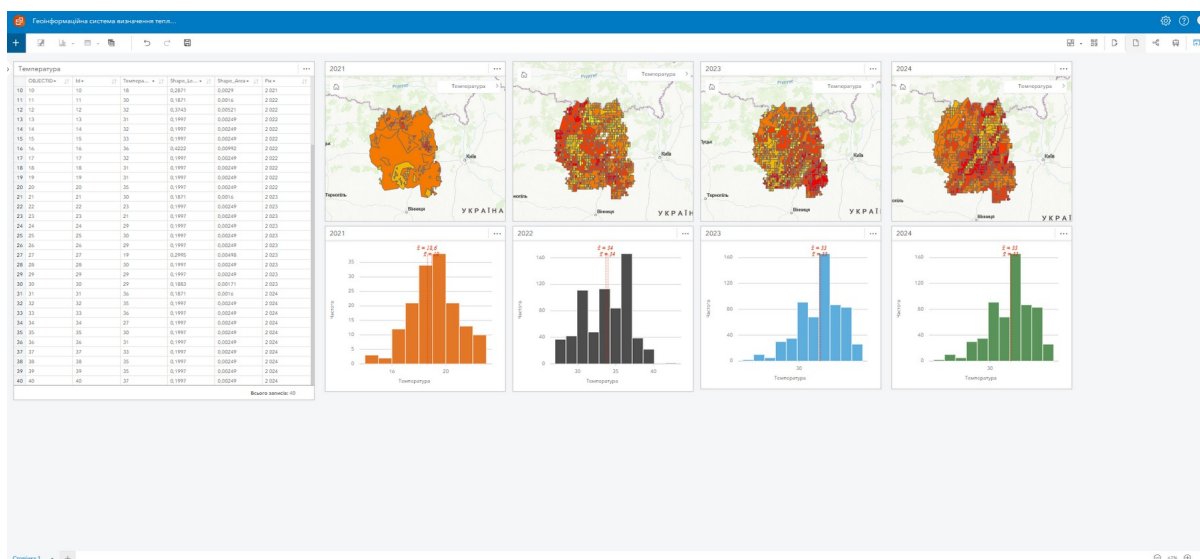


Рисунок 3.1 – Вигляд інтерфейсу

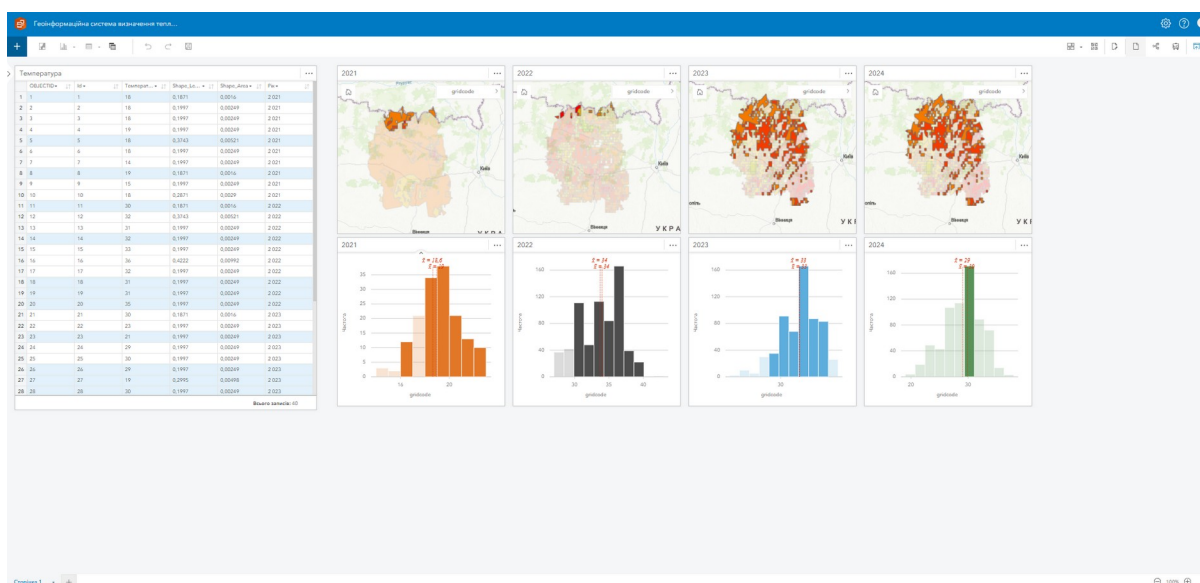


Рисунок 3.2 – Вигляд інтерактивної карти у системі

Програмна система *ArcGIS Insights* надає користувачам можливість досліджувати дані за допомогою динамічних візуалізацій. Це дозволяє проводити детальний аналіз теплових аномалій, відстежувати зміни температури в різних регіонах, а також виявляти та прогнозувати можливі майбутні зміни. Такий підхід робить роботу з даними більш інтерактивною та інформативною, допомагаючи краще розуміти тенденції та потенційні ризики.

3.2 Реалізація математичної моделі геоінформаційної системи виявлення теплових аномалій на космічних знімках

Для покращення інформаційних характеристик розробленої системи доцільно використовувати сучасні математичні методи обробки геопросторових даних одним з таких методів є використання спектрального аналізу на основі перетворення Фур'є. Основою для виявлення теплових аномалій може бути обрано метод спектрального аналізу супутникових знімків, який дозволяє виявляти аномальні теплові зони шляхом аналізу просторових частот теплового випромінювання. Для реалізації цього методу застосовано дискретне перетворення Фур'є, що

перетворює сигнал із просторової області у частотну для подальшого аналізу.

Формула дискретного перетворення Фур'є має вигляд:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{(-i \cdot 2\pi \cdot k \cdot n / N)}$$

де: $X[k]$ — коефіцієнт перетворення на частоті k ;
 $x[n]$ — значення сигналу в просторі на n -й точці;
 N — загальна кількість дискретних точок;
 $e^{-i \cdot 2\pi \cdot k \cdot n / N}$ — функція для обчислення частотних складових.

Застосування цього методу обґрунтоване тим, що аномальні області зазвичай проявляються як локальні відхилення в спектрі теплових сигналів.

Альтернативні методи, такі як кластерний аналіз або методи машинного навчання, потребують значно більшого обсягу навчальних даних та часу на налаштування, тому на етапі розробки системи було прийнято рішення зосередитися на спектральному аналізі як оптимальному компромісі між складністю реалізації та точністю результатів.

Висновок до розділу 3

У третьому розділі дипломної роботи було розроблено інтерфейс геоінформаційної системи для виявлення теплових аномалій на космічних знімках. Проектування інтерфейсу здійснено на базі ArcGIS Insights, що дозволило створити функціональний і зручний для користувачів інструмент для інтерактивного аналізу просторових даних. Реалізація математичної моделі на основі дискретного перетворення Фур'є забезпечила можливість глибокого аналізу теплових характеристик супутникових знімків та виявлення зон з аномальними тепловими властивостями. Обґрунтовано вибір технологічних засобів, алгоритмів та бібліотек, що забезпечують високу точність та ефективність системи. Результати роботи підтверджують доцільність використання спектрального аналізу для виявлення теплових аномалій та перспективність подальшого розвитку системи, зокрема, інтеграції з

методами машинного навчання для автоматизованого прогнозування тенденцій.

ВИСНОВКИ

У межах дипломної роботи було розроблено геоінформаційну систему виявлення теплових аномалій на космічних знімках, що є важливим інструментом для моніторингу природних і техногенних процесів в умовах глобальних кліматичних змін. Реалізована система дозволяє автоматизувати процес обробки супутникових даних, що суттєво прискорює виявлення температурних аномалій, таких як осередки пожеж, промислові викиди чи інші теплові відхилення.

Проведений системний аналіз предметної області та функціональне моделювання підтвердили доцільність використання сучасних ГІС-технологій для розв'язання завдань екологічного моніторингу. Застосування ArcGIS Insights забезпечило створення інтерактивного користувацького інтерфейсу, що дозволяє візуалізувати великі обсяги просторових даних у вигляді теплових карт та аналітичних діаграм. Це значно підвищує ефективність прийняття управлінських рішень на основі просторового аналізу.

Математична модель системи, побудована на основі дискретного перетворення Фур'є, дозволила забезпечити ефективне виявлення теплових аномалій шляхом перетворення теплових сигналів у частотну область та подальшого спектрального аналізу. Реалізація моделі виконана із застосуванням мови програмування Python та бібліотек NumPy, Pandas, GeoPandas, що забезпечує високу швидкість обробки даних і точність аналітичних результатів.

Наукова новизна роботи полягає в інтеграції методу спектрального аналізу з ГІС платформою для аналізу супутникових даних у реальному часі, що дозволяє оперативно виявляти потенційно небезпечні теплові об'єкти.

Практична цінність проєкту полягає в можливості застосування розробленої системи для екологічного моніторингу, прогнозування надзвичайних ситуацій, планування природоохоронних заходів та управління природними ресурсами.

Перспективи подальшого розвитку системи передбачають:

1. впровадження моделей машинного навчання для прогнозування виникнення аномальних зон;
2. розширення функціоналу для аналізу багатоспектральних супутникових даних;
3. створення вебпорталу для відкритого доступу до інтерактивних карт та аналітичних звітів для органів місцевого самоврядування, екологічних служб і громадськості.

Таким чином, запропонована геоінформаційна система є ефективним та сучасним засобом просторового аналізу, що сприяє підвищенню якості екологічного моніторингу та прийняття управлінських рішень на різних рівнях.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Геоінформаційні технології в системі екології. URL: https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/Ekologichna-heoinformatyka_literatura-dlia-lektsiy.pdf
2. Береза А.М. Основи створення інформаційних систем : посібник. – Київ : КНЕУ, 2001. – 256 с. URL: <https://www.kneu.edu.ua/>
3. Костенко О.В. Геоінформаційні системи: теорія та практика. – Київ : Наукова думка, 2015. – 320 с. URL: <http://www.nauka-dumka.kiev.ua/>
4. Лисенко В.І. Методи обробки супутникових зображень : навч. посібник. – Харків : ХНУ, 2012. – 210 с. URL: <http://www.hnup.edu.ua/>
5. Петров С.А. Аналіз даних у геоінформаційних системах. – Львів : ЛНУ, 2016. – 185 с. URL: <http://www.lnu.edu.ua/>
6. Сидоренко Т.В. Сучасні технології в екологічному моніторингу. – Одеса : ОНУ, 2018. – 230 с. URL: <http://www.onu.edu.ua/>
7. ESRI. ArcGIS Insights Documentation. URL: <https://doc.arcgis.com/en/insights/latest/get-started/overview.htm>
8. OpenCV Documentation. URL: <https://docs.opencv.org/>
9. Коваленко І.М. Спектральний аналіз у геоінформаційних системах : монографія. – Київ : Видавництво НТУУ "КПІ", 2014. – 278 с. URL: <http://kpi.ua/>