

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва та архітектури

**ДИСТАНЦІЙНЕ
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ
*ЧАСТИНА 1***

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Київ 2025

УДК 528.8

Д72

Укладач Т. М. Плющ, старш. викладач

Рецензент: О.В. Прохорчук, к-т техн. наук

Відповідальний за випуск Ю. О. Карпінський, д-р техн. наук,
професор

*Затверджено на засіданні кафедри геоінформатики і
фотограмметрії, протокол № 2 від 28 серпня 2024 року.*

Видається в авторській редакції

Дистанційне зондування Землі. Частина 1 [Електронний ресурс] :
Д72 методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / уклад.
Т. М. Плющ. – Київ : КНУБА, 2025. – 100 с.

Містить опис та рекомендації до виконання лабораторних робіт.
Наведено порядок виконання лабораторних робіт та приклади
отриманих результатів.

Призначені для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої
освіти спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій».

© КНУБА, 2025

Зміст

Загальні положення.....	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота № 1. Джерела безкоштовних даних дистанційного зондування. Ознайомлення, реєстрація, пошук та завантаження даних.....	5
1.1. Ресурс Copernicus Data Space.....	5
1. 2. Ресурс USGS Earth Explorer.....	8
Лабораторна робота №2. Робота з EO browser.....	13
Лабораторна робота №3. Робота з даними дистанційного зондування Землі в Google Earth Engine.....	19
Лабораторна робота №4. Комбінація та синтез каналів космічного знімку. Вирізання фрагменту.....	32
4.1. Синтез каналів космічного знімку Landsat-8 у програмі Erdas Imagine.....	33
4.2. Вирізання фрагменту знімку у програмі Erdas Imagine.....	37
4.3. Вирізання фрагменту знімку Sentinel-2 у програмному пакеті SNAP.....	40
Лабораторна робота № 5. Координатна прив'язка та геометричне трансформування знімків.....	44
Лабораторна робота № 6. Ортотрансформування знімків з використанням опорних точок, RPC-коефіцієнтів та цифрової моделі рельєфу.....	54
Лабораторна робота № 7. Злиття зображень з різним розрізненням, pan sharpening.....	60
Лабораторна робота № 8. Некерована класифікація (Unsupervised Classification).....	62
8.1. Некерована класифікація знімків у програмі Erdas IMAGINE.....	63
8.2. Некерована класифікація знімків у програмі SNAP.....	69
Лабораторна робота № 9. Керована класифікація.....	71
Лабораторна робота № 10. Розрахунок індексів.....	78
10.1. Обрахунок індексу NDVI у програмі Erdas Imagine.....	79
10.2. Обрахунок індексу NDVI у програмі SNAP.....	81
10.3. Математика каналів у програмі SNAP.....	83
Лабораторна робота № 11. Робота з радарними знімками у програмі SNAP.....	85
Список літератури.....	100

Загальні положення

Методичні вказівки до лабораторних занять складено відповідно до програми з освітньої компоненти «Дистанційне зондування Землі. Частина 1».

Методичні вказівки мають за мету ознайомити здобувачів з основними принципами опрацювання космічних знімків (синтез каналів, вирізання фрагменту, прив'язка, ортотрансформування, класифікація, обрахунок індексів, тощо.), щоб оволодіти базовими навичками роботи з даними дистанційного зондування з застосуванням різних програмних комплексів.

Для реалізації завдань лабораторних робіт здобувачі використовують спеціалізоване програмне забезпечення та широкий спектр вихідних даних для роботи у вигляді різних типів космічних знімків.

До загального порядку виконання лабораторних робіт слід віднести обов'язковість попередньої самостійної підготовки здобувачів до заняття, а саме:

- опрацювання лекційних та методичних матеріалів за темою лабораторної роботи;
- підготовка відповідей на контрольні питання до теоретичної частини за темою лабораторної роботи;
- підготовка електронної версії проекту звіту про виконання лабораторної роботи.

Лабораторна робота № 1. Джерела безкоштовних даних дистанційного зондування. Ознайомлення, реєстрація, пошук та завантаження даних

Мета: ознайомитися з безкоштовними браузерами для пошуку та завантаження космічних знімків. Завантажити два знімки для подальшої роботи.



Завдання: на кожному з наведених у першій роботі ресурсів вам потрібно зареєструватися для отримання доступу до завантаження даних, ознайомитися з інтерфейсом та можливостями цих сайтів.

Завантажити знімки Sentinel-2 та Landsat-8,9 на територію населеного пункту, звідки ви родом. Знайдіть знімок з мінімальною хмарністю (не більше 20%) за найближчі місяці від дати виконання вами даної роботи.

1.1. Ресурс Copernicus Data Space

Copernicus Data Space це вебплатформа від Європейського космічного агентства (ESA) для надання користувачам повного, відкритого та безкоштовного доступу до радарних знімків Sentinel-1, оптичних мультиспектральних знімків Sentinel-2, а також даних про земну поверхню Sentinel-3, Sentinel-5P. Доступні набори даних включають повний архів і нещодавно зібрані зображення.

Хід роботи:

1. Для того щоб мати доступ до завантаження супутникових знімків з архіву, потрібно спочатку зареєструватися та залогінитися на ресурсі <https://dataspace.copernicus.eu/browser/>. Для цього натисніть кнопку **Login** (Логін) у верхньому лівому куті сторінки.

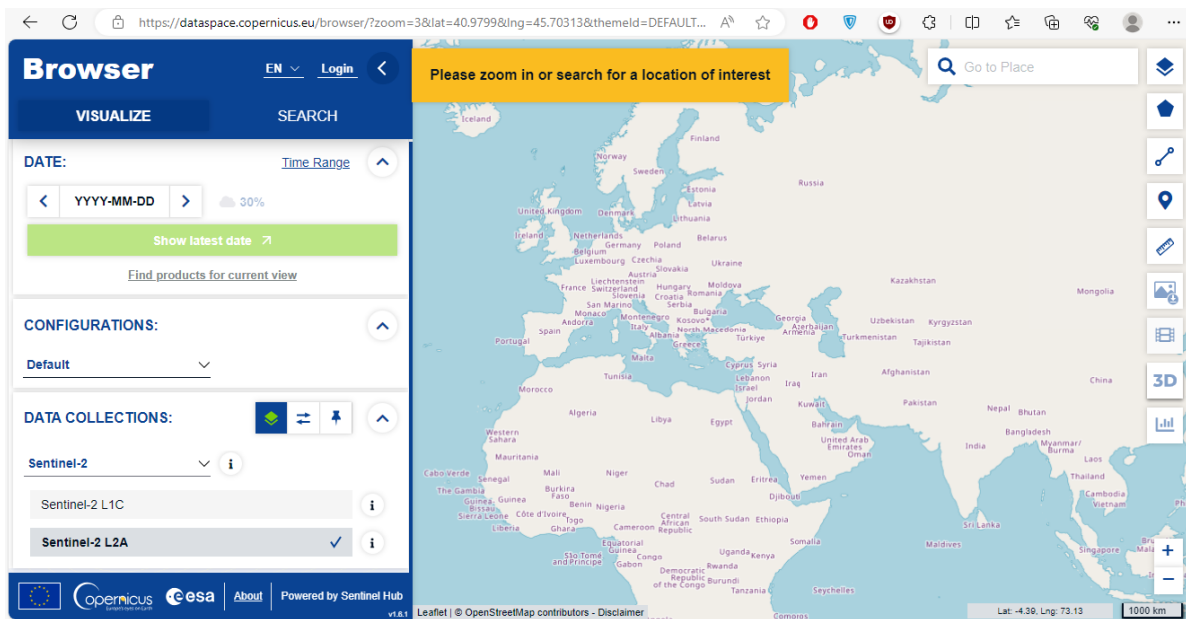


Рис. 1.1. Вікно браузера

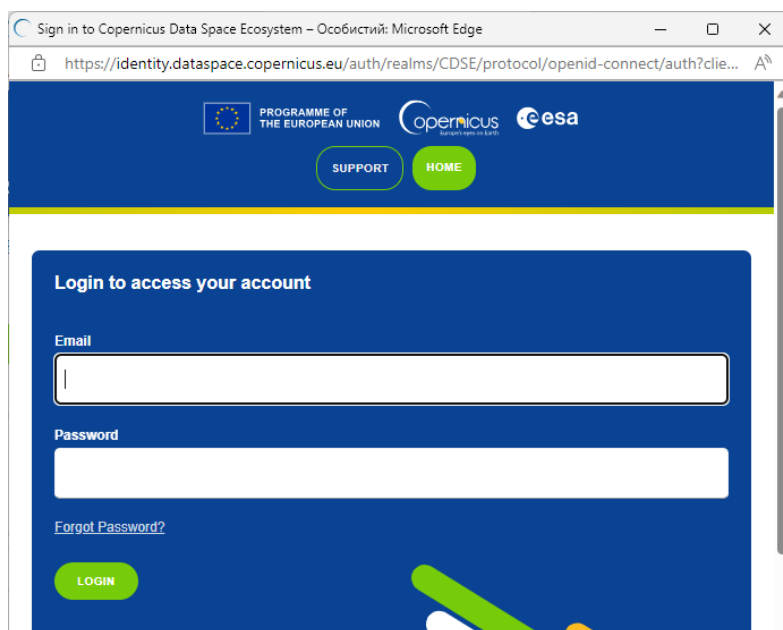


Рис. 1.2. Реєстрація на ресурсі Copernicus Data Space

Після реєстрації потрібно повернутися на стартову сторінку і залогінитися.

2. Для пошуку космічних знімків на цьому сайті вам спочатку необхідно за допомогою колеса миші наблизитися до області на карті, для якої шукаєте знімки. Натиснути кнопку **Create an area of interest** (Створити район інтересу) на правій боковій панелі інструментів. Виберіть інструмент прямокутник та за допомогою курсора миші окресліть на карті область інтересу полігоном.

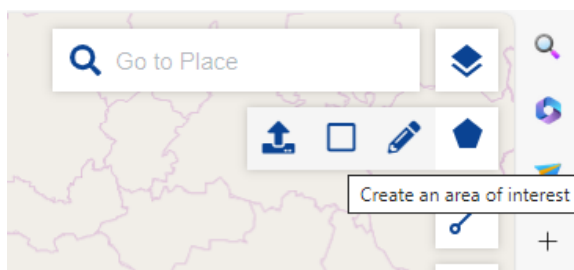


Рис. 1.3. Вибір зони інтересу

Перейдіть на вкладку **Search** (Пошук) на лівій бічній панелі. Тут можна задати часовий проміжок, для якого шукаєте знімки, а також вибрати супутник, зменшити хмарність тощо.

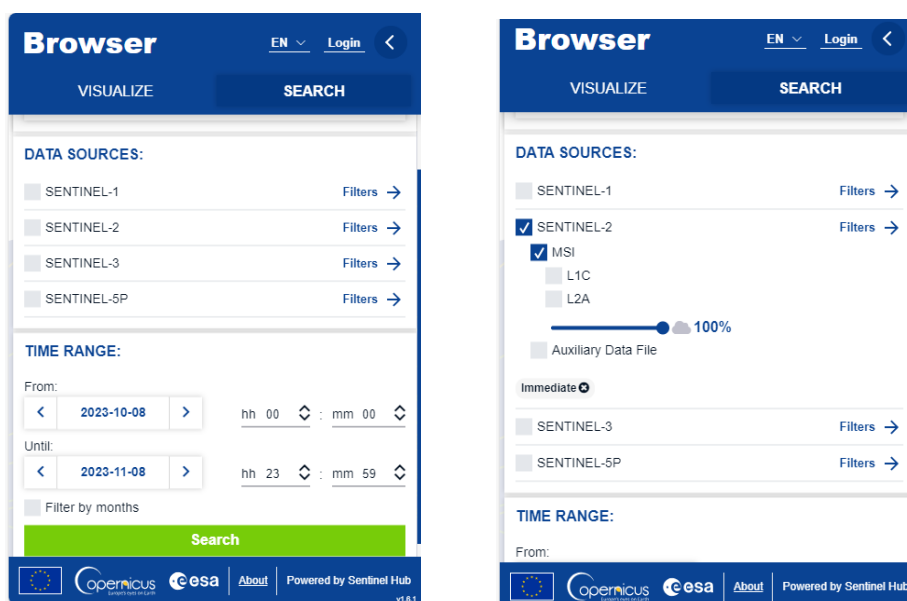


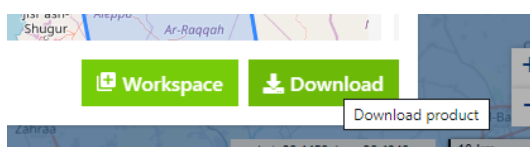
Рис. 1.4. Вибір критерій пошуку знімків

У розділі **Time Range** вкажіть інтервал часу, який вас цікавить, та натисніть **Search** (Пошук).

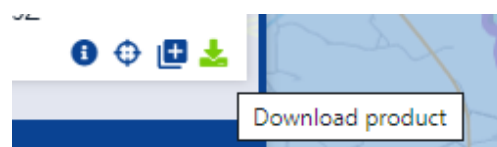
3. На цьому сайті є кілька варіантів завантаження обраного знімка:

1) натиснути на кнопку інформації біля мініатюри знімка з лівого боку екрана та переглянувши її, можна почати процес скачування одразу з вікна інформації **Product info** (рис. 1.5, а);

2) натиснути кнопку біля мініатюри знімка (рис. 1.5, б).



а



б

Рис. 1.5. Варіанти (а) та (б) завантаження космічних знімків

Дочекайтеся повного завантаження файлу та вкажіть шлях на вашому комп'ютері для його збереження. Ви отримали архів даних, з якими продовжите роботу у наступних завданнях.

1.2. Ресурс USGS Earth Explorer

Earth Explorer (EE) забезпечує онлайн-пошук, перегляд, експорт метаданих і завантаження даних про Землю з архівів Геологічної служби США (USGS). На цьому ресурсі можна безкоштовно завантажити знімки: Landsat, SPOT HRV (території Північної Америки у 1986–1998 рр.), радіолокаційні знімки SIR- C/X-SAR, а також цифрову модель рельєфу SRTM (ЦМР).

Крім того, за визначену плату доступні розсекречені архівні аерофотознімки території США та окремі райони світу; космічні знімки місії CORONA; EO-1 ALI; Hyperion.

Офіційна сторінка: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Хід роботи:

1. Для можливості скачувати знімків потрібно зареєструватися на сайті, заповнивши анкету англійською мовою, або увійти в свій акаунт, якщо ви вже зареєстровані.

User Registration Особисті дані Контактна інформація Підтвердити реєстрацію

User Credentials Contact Demographic Contact Information Complete Registration

Registration and login credentials are required to access all system features and download data from USGS EROS web services. To ensure privacy and security, ERS uses Hypertext Transfer Protocol with Secure Sockets Layer (HTTPS) to encrypt user authentication.


To register, please create a username and password. The information gathered from the registration process is not distributed to other organizations and is only used to determine trends in data usage. Review USGS Privacy Policies.

The Cancel button can be used to exit the registration process at any time and information entered will be lost.

Username

New Password

Confirm New Password

I'm not a robot 

Username Requirements

- Must be between 4 and 30 characters
- May contain alphabetic and numeric characters
- May only contain the following special characters
 - period "."
 - at sign "@"
 - underscore "_"
 - dash "-"

Password Requirements

- Must be between 12 and 24 characters
- Must contain at least one alphabetic character
- Must contain at least one numeric character
- May only contain the following special characters
 - comma ","
 - hyphen "-"
 - period "."
 - pipe "|"
 - pound "#"
 - underscore "_"

OMB number 1028-0119
OMB expiration date 09/30/2021

Privacy and Paperwork Reduction Act statements: 18 U.S.C. 197 authorized collection of this information. This information will be used by the U.S. Geological Survey to better serve the public. The time required to complete this information collection is estimated to average 2 minutes per response. We will not distribute responses associated with you as an individual. We ask you for some basic organizational and contact information to help us interpret the results and, if needed, to contact you for clarification. Comments on this collection should be sent to publicinfo@usgs.gov.

Рис. 1. 6. Вікно створення особистого профілю на Earth Explorer

На вашу електронну пошту надійде лист з проханням підтвердити, що саме ви зареєструвалися на сайті, тож потрібно підтвердити свою реєстрацію.

Тепер заходьте на сайт, використовуючи свій персональний логін та пароль.

Натисніть **Login** (Логін) і введіть свої дані.

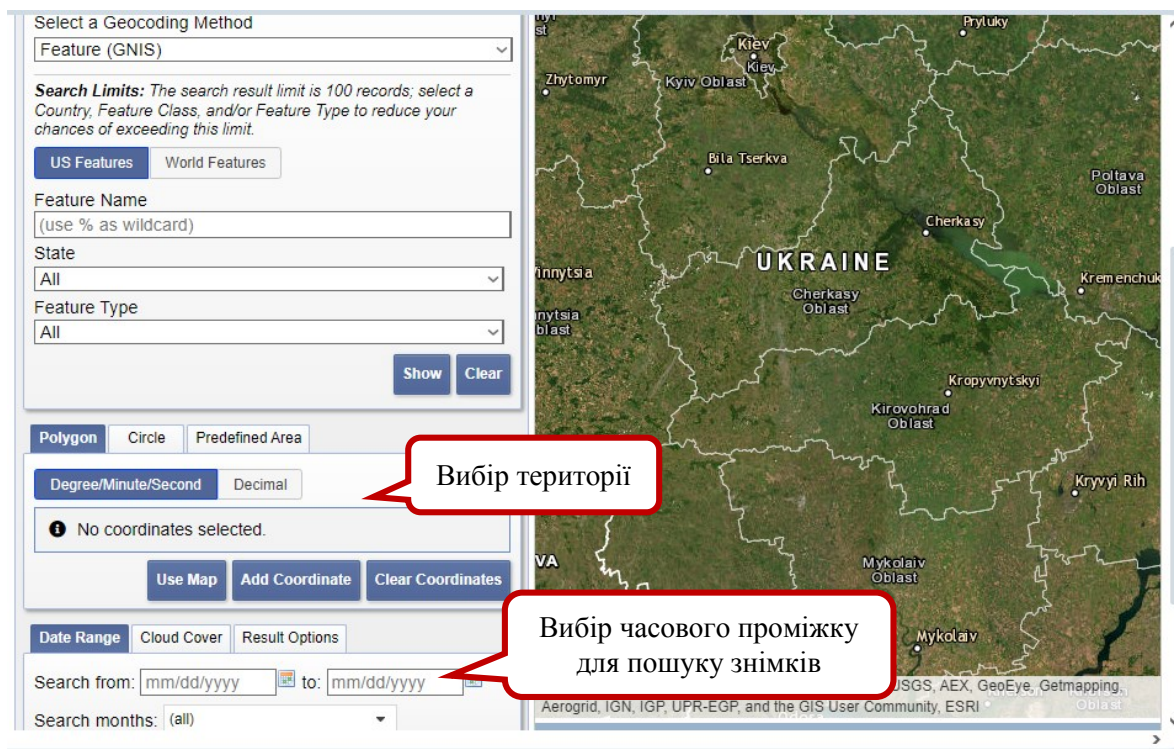


Рис. 1.7. Робоче вікно Earth Explorer

2. Вибрати територію, для якої будемо шукати дані, можна за допомогою виокремлення області зацікавлення полігоном, окресливши лівою клавішею миші вершини полігона на карті, або поставити точку в центрі зони інтересу та задати необхідний радіус, щоб територія потрапила в середину зони, або ввівши назву населеного пункту чи адресу в пошуковому рядку.

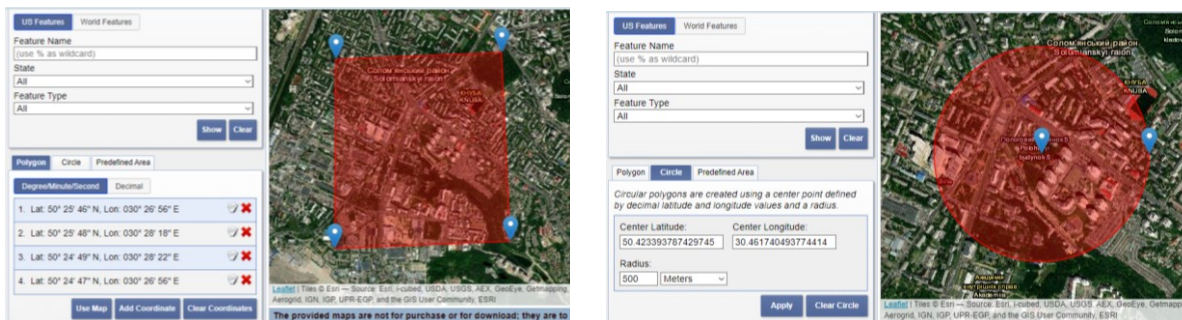


Рис. 1.8. Варіанти вибору зони інтересу

Зробивши територіальний запит, можемо переходити до часового.

3. Заповніть поле **Data Range** (*Часовий період*) – період, для якого хочете отримати дані. Щоб задати період для пошуку даних необхідно натиснути на значок календаря та обрати рік, місяць та число послідовно біля кожного поля **Search from:** та **to:**.

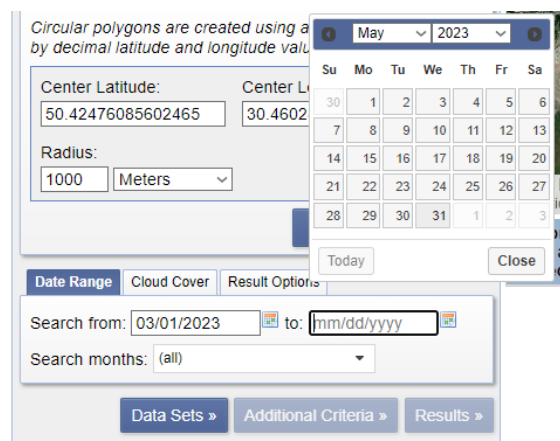


Рис. 1.9. Вибір часового періоду для пошуку знімків

4. Перейдіть на вкладку **Data Sets** (*Набори даних*) і в списку даних знайдіть **Landsat**, відкрийте список. Позначте **Landsat 8, 9 OLI/TIRS** у пункті **Landsat Collection 1 Level 2**. Натиснувши на значок інформації, можна дізнатися більше відомостей про кожен із наборів даних.

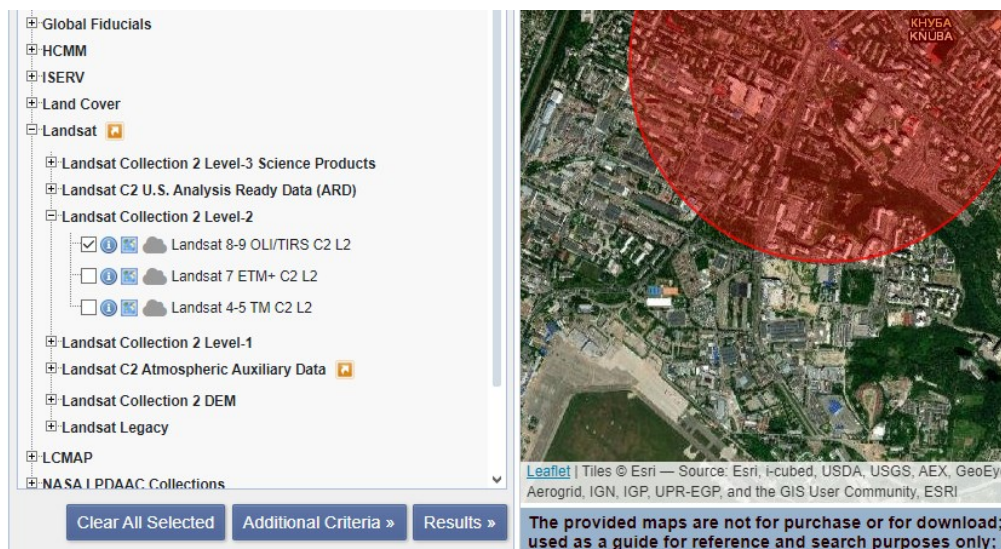


Рис. 1.10. Вибір набору даних супутника

5. Натисніть кнопку **Results** (*Результати*), після чого і з'явиться список даних, які відібрані за вашим запитом.

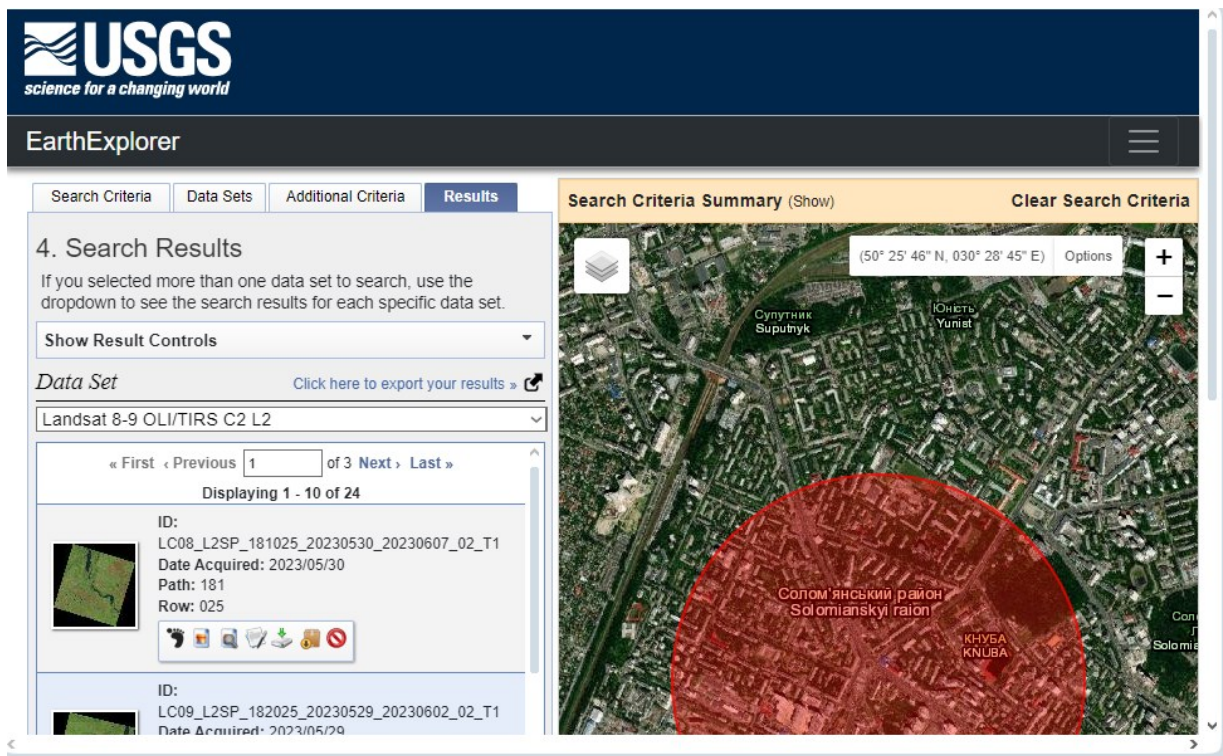


Рис. 1.11. Перелік знімків, які знайдені в результаті пошуку

Кожен знімок, який ви отримали в результаті пошуку, містить таку інформацію: **ID** (Назва сцени), **Date Acquired** (Дата зйомки), **Path** (Стовпчик сцени), **Row** (Рядок сцени), а також невеличку панель інструментів відображення (рис. 1. 12), де **Show Footprint** (Показати слід) показує область покриття території знімком (сцену знімка); **Show Browse Overlay** (Показати перегляд накладення) показує попередній перегляд знімка.



Рис. 1.12. Панель інструментів

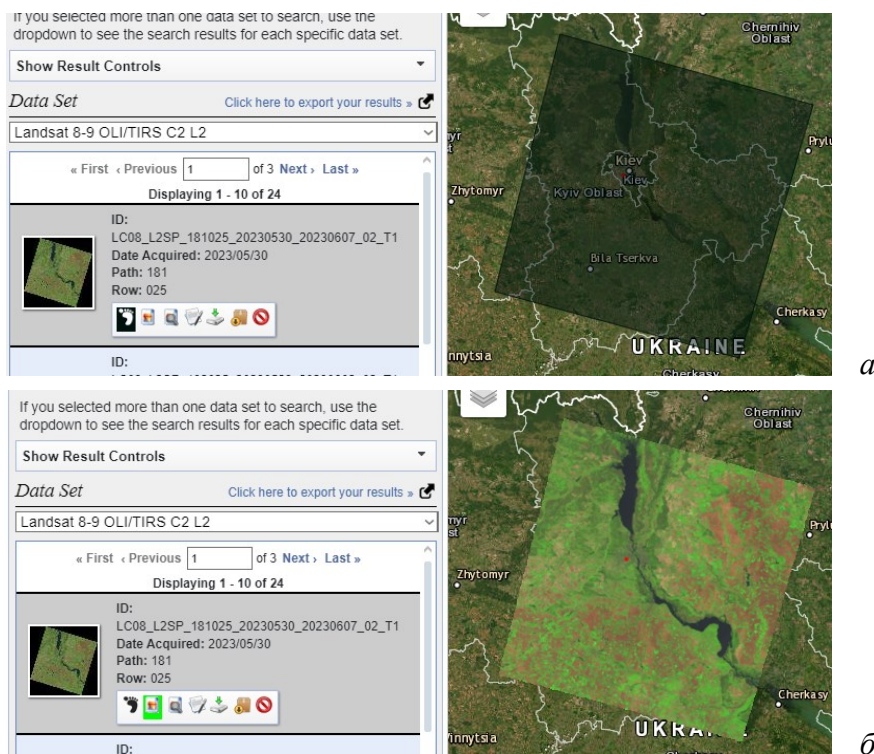


Рис. 1.13. Область покриття території знімком: темною заливкою позначено сцену знімка (а) або попередній перегляд знімка (б)

6. За допомогою цих інструментів можна перевірити чи підходить знімок, чи ні, аби не завантажувати непотрібні дані. Серед переліку знімків у вкладці **Results** (Результати) знайдіть знімок який вас влаштовує, натискайте на **Download options** (Варіанти завантаження).

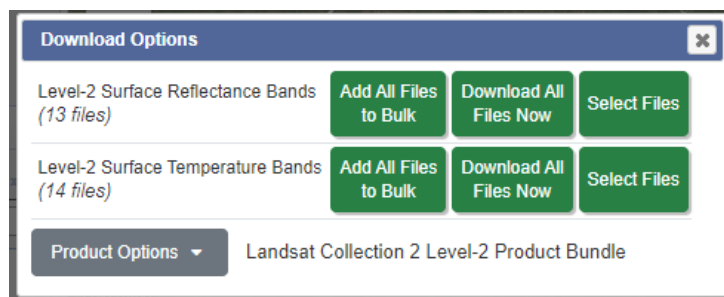


Рис. 1.14. Варіанти завантаження знімка

7. З'явиться вікно, в якому потрібно вибрати **Product Options** (Параметри продукту). Відкриється нове вікно, де ви можете обрати різні дані до обраного знімку, наприклад, завантажити лише певні шари, але для повноцінної роботи з ним необхідно завантажити весь архів, натиснувши на іконку скачування, що знаходиться вгорі вікна.

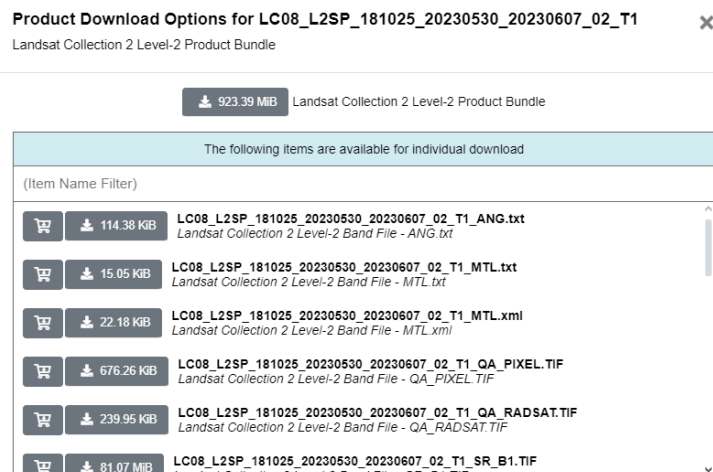


Рис. 1.15. Вікно завантаження знімків

У результаті отримуємо завантажений файл у вигляді архіву, який перед початком роботи зі знімком потрібно розпакувати. Роботу над цим знімком продовжите у наступних завданнях.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно підготувати:

1. Завантажений знімок Sentinel-2 з зазначенням дати зйомки та території;
2. Завантажений знімок Landsat з вказанням дати та території;
3. Дати відповідь на такі питання:
 - а) які дані ви можете обрати та завантажити з ресурсу Copernicus Data Space та з якого періоду?
 - б) які найкращі безкоштовні супутникові зображення можна завантажити з USGS Earth Explorer?

Лабораторна робота №2. Робота з EO browser

Мета: ознайомитися з EO browser, навчитися шукати, візуалізувати та завантажувати дані.

Відкрийте сторінку EO browser, набравши в Google «EO browser» або перейшовши за лінком: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>.

EO browser – переглядач доступних онлайн знімків середньої і низької роздільної здатності від Європейського космічного агентства, який містить

знімки із супутників: Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, Landsat, Envisat Meris, MODIS, Proba V, GIBS.

EO Browser поєднує в собі безліч функцій: порівняння даних, різні автоматичні параметри візуалізації (природні та штучні кольори, NDVI і т. д.), синтез каналів, вимірювання площ, отримання статистичних даних у вигляді графіків і навіть деякі алгоритми обробки даних та скрипти.

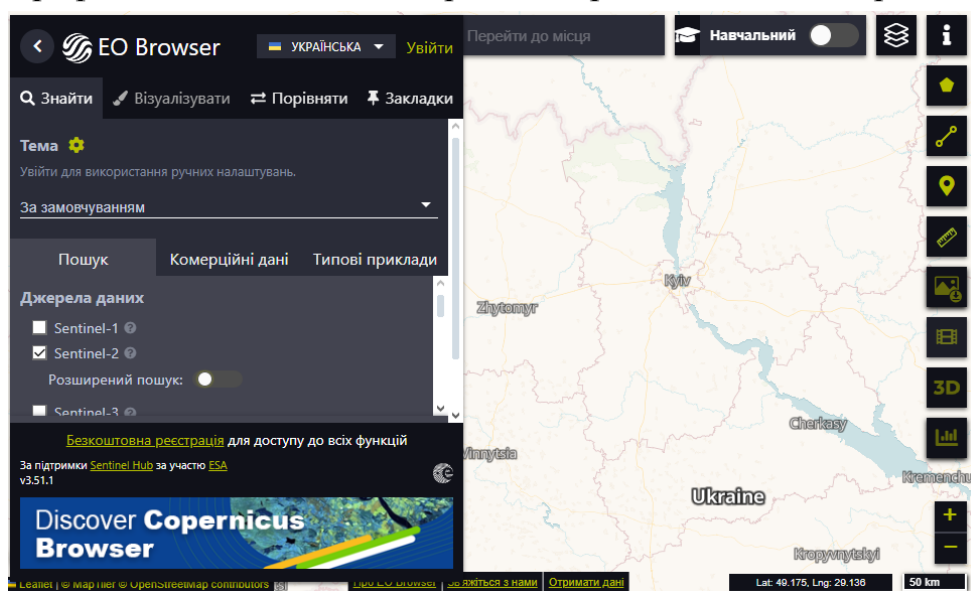


Рис. 2.1. Робоче вікно EO browser

Хід роботи:

1. Спочатку потрібно зареєструйтеся, натиснувши внизу на лівій панелі інструментів **Безкоштовна реєстрація** або **Free sign up** якщо у вас обрана англійська мова. На вкладці, яка відкриється, введіть свої особисті дані та увійдіть на портал, натиснувши **Sign up** (*Зареєструватися*).

The image shows the registration form for Sentinel Hub. The form is set against a background of Earth from space. It includes fields for 'First name', 'Last name', 'E-mail', and 'Country' (with a dropdown menu). There are also fields for 'Password' and 'Confirm password'. Below these fields, there's a checkbox for 'I'm not a robot' with a reCAPTCHA logo, and another checkbox for 'I would like to receive the latest news and information about Sentinel Hub'. At the bottom, there's a prominent yellow 'Sign Up' button.

Рис. 2.2. Вікно реєстрації EO browser

На вашу електронну пошту надійде лист від *Sentinel Hub* з проханням підтвердити, що саме ви зареєструвалися на сайті. Вам потрібно натиснути *Verify e-mail address (Підтвердити електронну адресу)*.

* *Лист може потрапити в спам, тому уважно перевіряйте пошту!*

Тепер заходьте на сайт, використовуючи свій персональний логін та пароль. Натисніть **Login (Логін)** і введіть свої дані.

2. Для того щоб знайти космічний знімок території, яка вас цікавить, потрібно в рядку пошуку території у верхньому правому кутку вікна написати назву населеного пункту, регіону чи географічного об'єкту, а потім зі списку, що випадає, вибрати його.

* *Назву можна писати як англійською, так і українською мовою.*

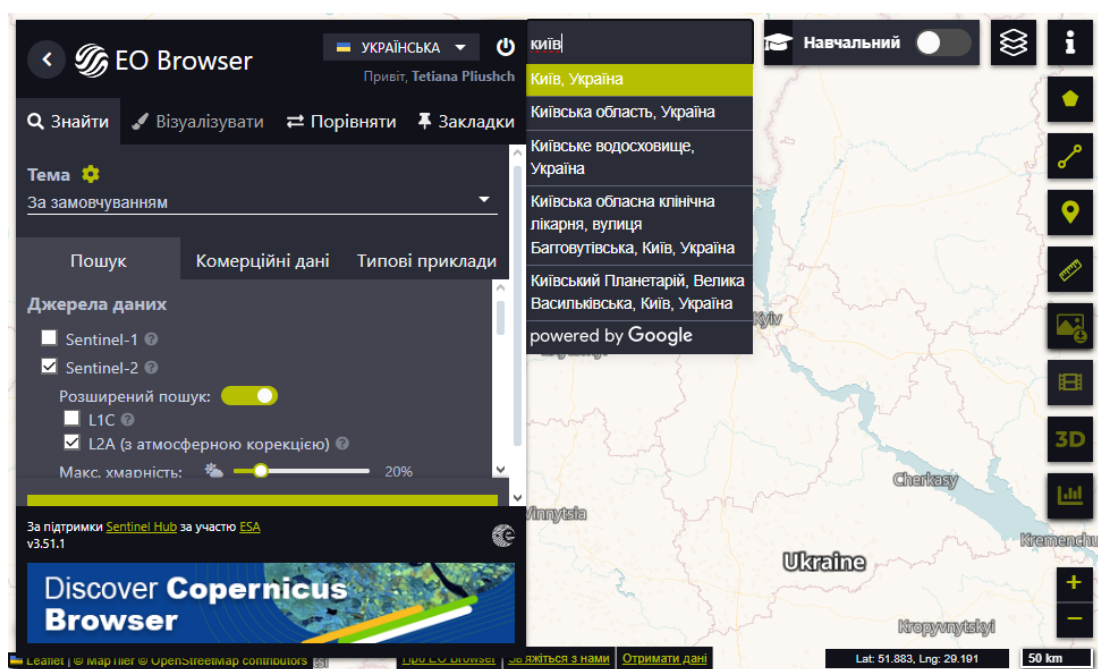


Рис. 2.3. Пошук населеного пункту, території зацікавлення

Скористайтесь колесом миші або кнопками навігації у правому нижньому кутку екрана, щоб наблизитися до району, який вас цікавить.

Переміщатися по карті можна, натискаючи та утримуючи ліву клавішу миші, і в такий спосіб ви протягуєте карту в той бік, в який вам потрібно.

3. На панелі інструментів для визначення параметрів знімків у лівому кутку екрана виберіть:

- **Data source (Джерела даних/Супутник):** Sentinel-2 / L2A;
- **Max.cloud coverage (Макс. хмарність):** 10%;
- **Time range (Часовий період):** вкажіть період у кілька місяців до дати виконання вами цієї роботи.

* Для того щоб вибрати дату, не треба вводити її через клавіатуру, а вибирайте в календарі, оскільки вибір через клавіатуру не спрацює.

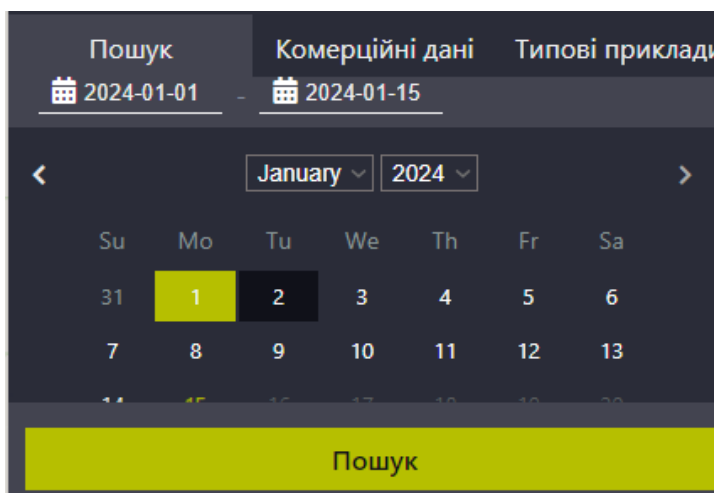


Рис. 2.4. Вибір часового періоду через календар

4. Натисніть **Search** (Пошук). У результаті завантажуться всі наявні знімки, які відповідають визначеним критеріям.

5. Перегляньте знімки, гортаючи їх перелік на лівій панелі вмісту, та знайдіть знімок за ту дату, яку ви обрали у попередньому завданні, натисніть кнопку **Visualize** (Візуалізувати). У результаті відкривається вкладка з різними комбінаціями візуалізації і автоматичними індексами на основі комбінації каналів.

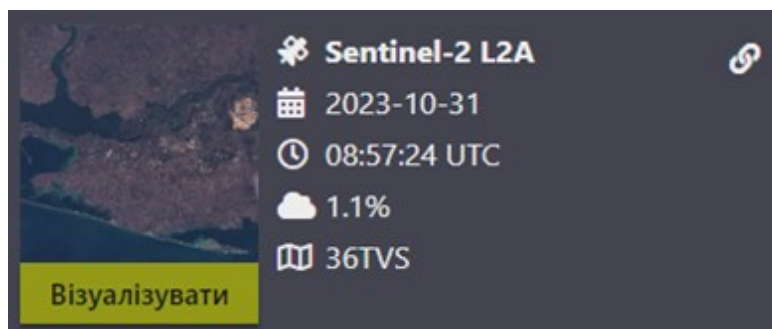


Рис. 2.5. Інформація про знімок

6. Вибраний знімок відобразиться у картографічному вікні, а на лівій панелі відкриється меню для налаштування відображення знімка **Visualization** (Візуалізувати). За замовчуванням знімок відображається у **True color** (Природні кольори), тобто зображення видиме для людського ока, схоже на фотографію місцевості згори.

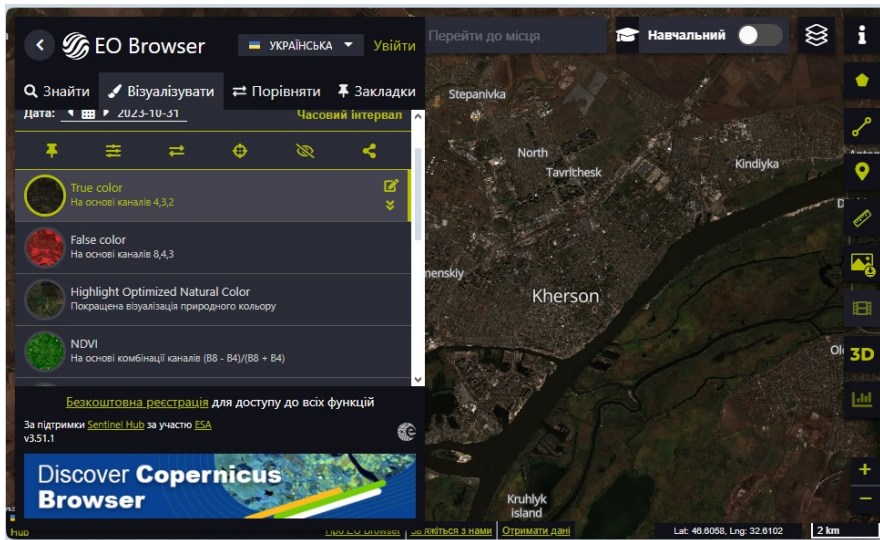


Рис. 2.6. Візуалізований знімок з можливими варіантами відображення

7. Спробуйте обрати по черзі кожен з запропонованих візуалізацій знімка, відчуйте різницю та можливості різних варіантів відображення каналів знімків.

8. У кінці списку візуалізацій є індивідуальні налаштування, де ви можете самостійно обрати комбінацію каналів чи скористатися блоком **Custom script** (Користувацький скрипт). Розкрийте його, і перед вами з'явиться вікно зі скриптом, що за допомогою коду описує ситуацію, яку ви бачите на екрані, тобто на знімку. Для того, щоб скористатися готовою бібліотекою скриптів для Sentinel, перейдіть за цим покликанням: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/> або натисніть піктограму із знаком питання над вікном скрипта.

* Дана інформація для самостійного опрацювання. Для виконання роботи достатньо ознайомитися з цією можливістю.

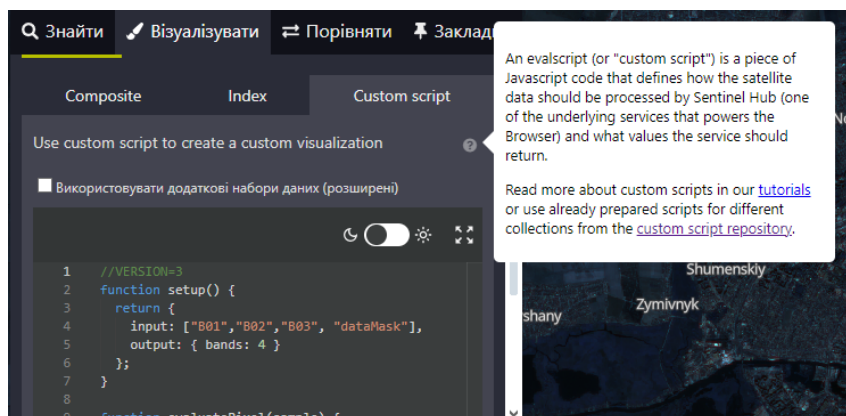



Рис. 2.7. Блок Custom script у EO Browser

9. З EO Browser можна завантажити потрібний вам знімок розміром, який відображається на екрані комп'ютера. Це буде архів, де зберігаються

обрані вами канали чи налаштування відображення знімку. Даний архів **не є оригіналом знімку** і може не сприйматися професійними програмами для обробки космічних знімків, тому цей варіант збереження даних не є основним для вашої роботи.

Збереження знімку відбувається за допомогою інструменту  **Завантажити зображення** на правій бічній панелі. Для збереження знімку обов'язковою умовою є авторизація у браузері, без цього функція завантажити зображення не буде доступною.

10. Перейдіть до вкладки **Аналітичні** і вкажіть такі параметри:

Формат зображення – TIFF (32-bit float);

Просторова розрізненість зображення: High (Висока);

Система координат: оберіть одну з запропонованих;

Шари: поставте галочки навпроти необхідних вам шарів, це можуть бути готові продукти або необроблені канали.

11. Натисніть **Завантажити** і вкажіть шлях для збереження файлу на вашому комп'ютері.

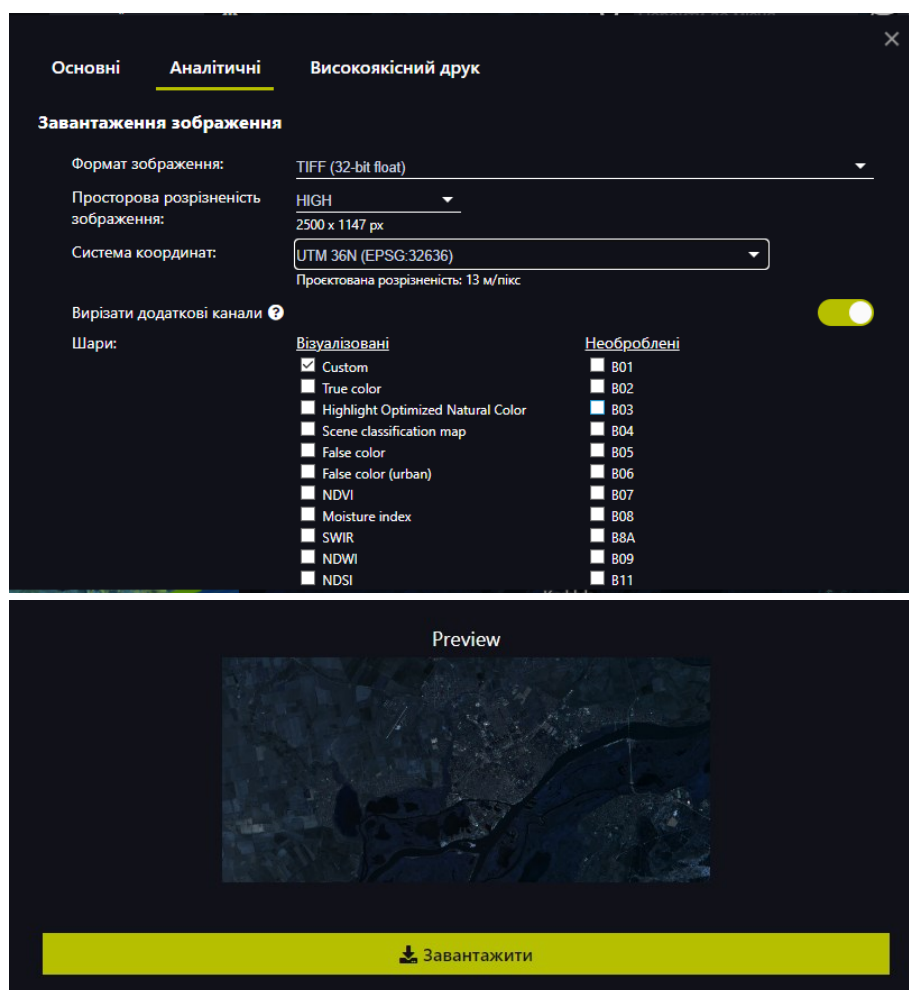


Рис. 2.8. Вікно завантаження знімку

Отриманий архів даних можна з легкістю використовувати для подальшої обробки та аналізу у програмі QGIS.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно підготувати:

1. Збережений фрагмент знімку на ваше місто;
 2. Дати відповідь на такі питання:
 - а) які типи візуалізації знімків доступні у браузері?
 - б) чи можна порівнювати різночасові знімки у цьому браузері?
 - в) що таке користувацькі скрипти та які переваги вони дають?
-

Лабораторна робота №3. Робота з даними дистанційного зондування Землі в Google Earth Engine

Мета: навчитися використовувати колекції знімків, фільтрувати їх за певними параметрами, створити мозаїку знімків та обрахувати індекси на одну область України.

Google Earth Engine є відкритою хмарною платформою, що дозволяє здійснювати аналіз і візуалізацію геопросторових наборів даних великого обсягу для наукових, освітніх, громадських, державних і комерційних організацій. Вона надає інструментальні програмні засоби з відкритим кодом для геопросторового аналізу, а також доступ до публічного каталогу растрових і векторних даних, який включає супутникові зображення, дані метеорологічних, геофізичних спостережень, тощо.

Обчислення на платформі виконуються на серверах Google, це звільняє користувача від необхідності задіяти власні обчислювальні потужності для обробки даних, що дозволяє багаторазово скоротити час та витрати на їхню обробку.

Хід роботи:

1. Для початку роботи необхідно зареєструватися за посиланням <https://signup.earthengine.google.com/#>

Важливо! Всі дані необхідно вводити англійською мовою, та використовувати пошту з доменом @gmail.com.

Після реєстрації компанія Google надішле вам повідомлення, в якому будуть посилання на **Code Editor (Редактор скрипту)** <https://code.earthengine.google.com/> – це основне середовище розробки для Google Earth Engine, також редактор коду можна знайти на головній сторінці сайту Google Earth Engine а саме в закладці **Platform (Платформа)/ Code Editor (Редактор скрипту)**.

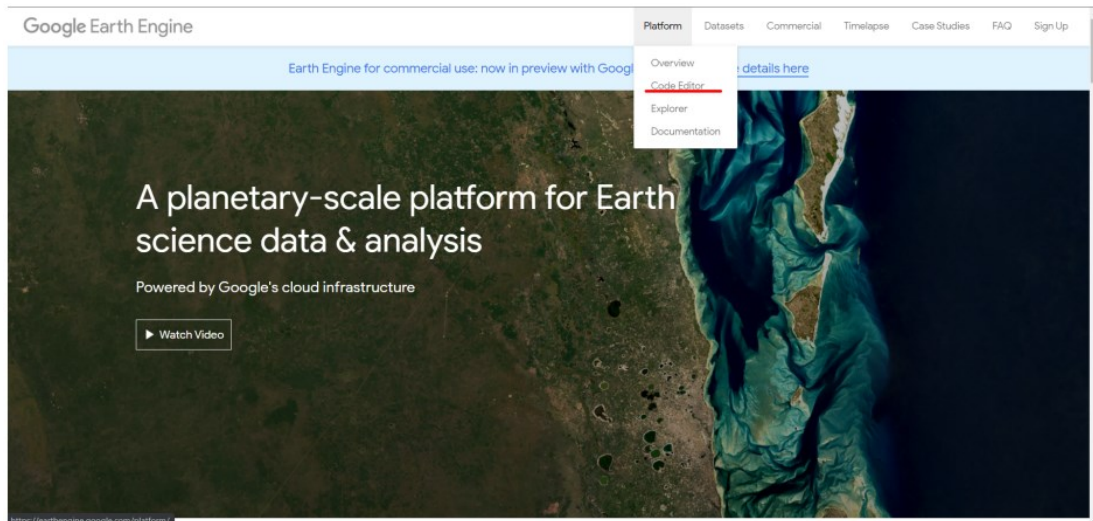


Рис. 3.1. Головна сторінка Google Earth Engine

Натиснувши на лінк в пошті чи на сайті ви перейдете до редактору коду в якому будемо працювати.

2. Ознайомтесь з інтерфейсом Google Earth Engine.

Відкривається нове вікно де ви побачите **Code Editor (Редактор скрипту)**, в якому ми будемо працювати увесь час, це є основним робочим інструментом GEE.

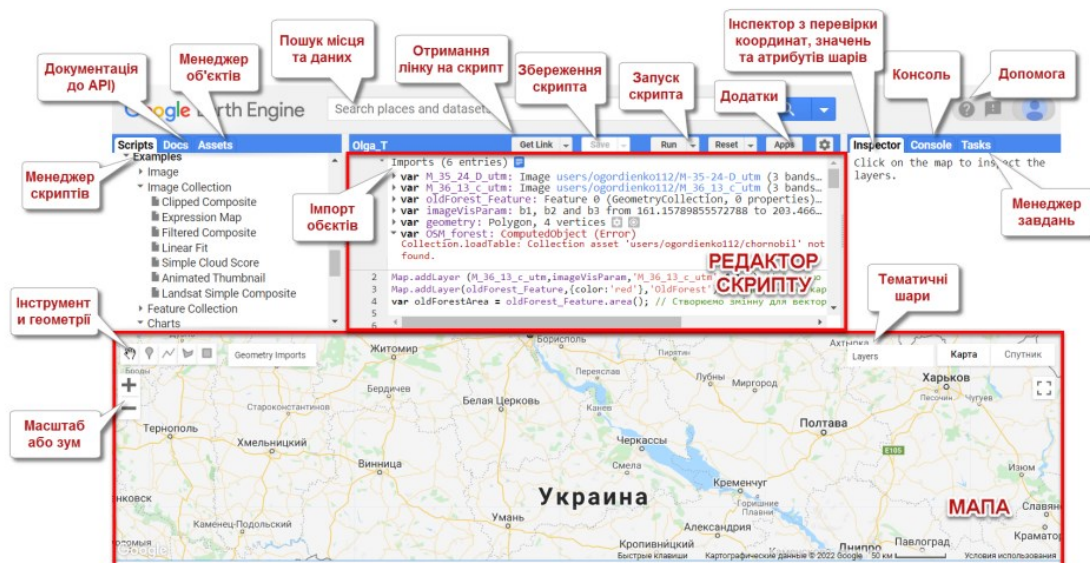


Рис. 3.2. Вікно редактору коду

Map (Мапа) – займає найбільшу площу на сторінці та саме на ній буде візуалізуватися результат.

Code Editor (Редактор скрипту) – головне вікно програми в якому ви пишете свій скрипт.

Console (Консоль) – служить для виводу текстової інформації, результатів розрахунку, графіків тощо.

Tasks (Менеджер завдань) – в ньому можна бачити результати завантаження та вивантаження з GEE.

Inspector (Інспектор) – служить для отримання інформації за кліком, координати, значення в точці тощо.

Help (Допомога) – служить для зв'язку з компанією Google стосовно помилок в роботі програми.

Scripts manager (Менеджер скриптів) – в ньому зберігаються скрипти, які ви створювали, також приклади скриптів від Google та доступ до папок інших користувачів.

Docs or API Documentation (Документація до API) – повна документація з описом стосовно всіх команд в GEE.

Reset (Перезавантажити) – перезавантажує вид на карті та в консолі, повністю їх очищає від результатів розрахунку не видаляючи скрипт.

Apps (Додатки) – дозволяє створити веб додаток на основі вашого скрипта, що буде працювати як сторінка в інтернеті.

Assets manager (Менеджер об'єктів) – служить для завантаження своїх власних даних до середовища GEE.

Geometry tools (Інструменти геометрії) – служать для навігації по мапі, також для створення своїх власних векторних даних.

Scale tools or Zoom (Масштаб або зум) – служить для зміни зуму на карті.

Search for data (Пошук місця та даних) – служить для пошуку даних в середовищі GEE та місця на карті за назвою чи координатами.

Imports (Імпорт об'єктів) – тут зберігаються об'єкти які імпортувалися з вашого скрипту.

Get link (URL) to the script (Отримання лінку на скрипт) – дозволяє ділитися своїм скриптом з користувачами GEE.

Save the script (Збереження скрипта) – дозволяє зберігати скрипт.

Run the script (Запуск скрипта) – кнопка, що виконує скрипт написаний в редакторі коду.

3. Робота з колекціями зображень. Більшість наборів даних у Earth Engine постачаються як *ImageCollection*. Колекція зображень – це набір даних, який складається із зображень, зроблених у різний час і в різних місцях, зазвичай із того самого супутника чи постачальника даних. Ви можете завантажити колекцію, виконавши пошук у каталозі даних *Earth Engine* <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> за ідентифікатором *ImageCollection*. Знайдіть набір даних *Sentinel-2 Level 1C*, і ви побачите його ідентифікатор *COPERNICUS/S2_SR*.

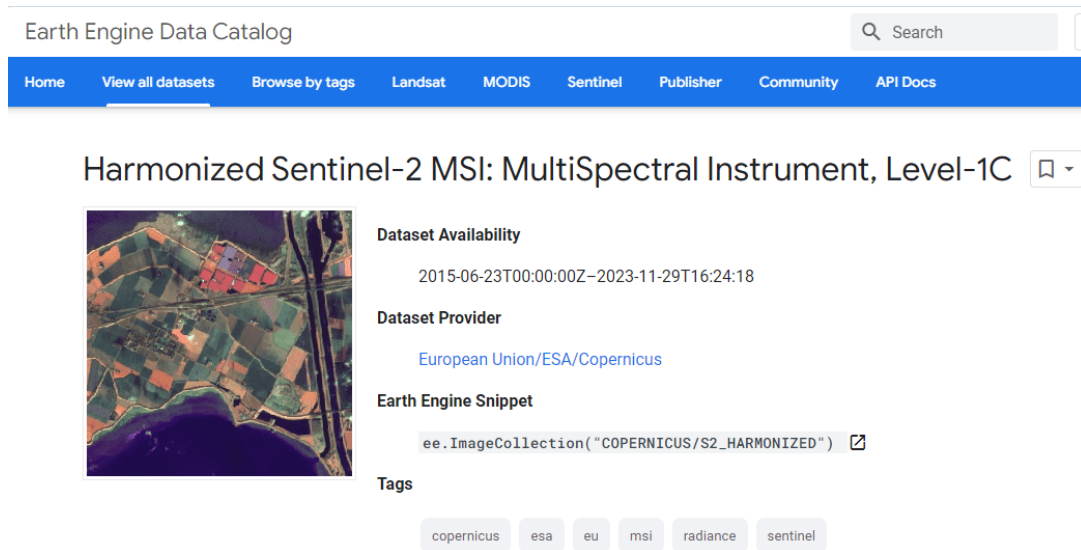


Рис. 3.3. Колекція зображень Sentinel-2

4. Перейдіть на сторінку Sentinel-2, рівень 1C і перегляньте розділ *Explore in Earth Engine* (Дослідження в Earth Engine), щоб знайти фрагмент коду для завантаження та візуалізації колекції. Цей фрагмент є чудовою відправною точкою для вашої роботи з цим набором даних.

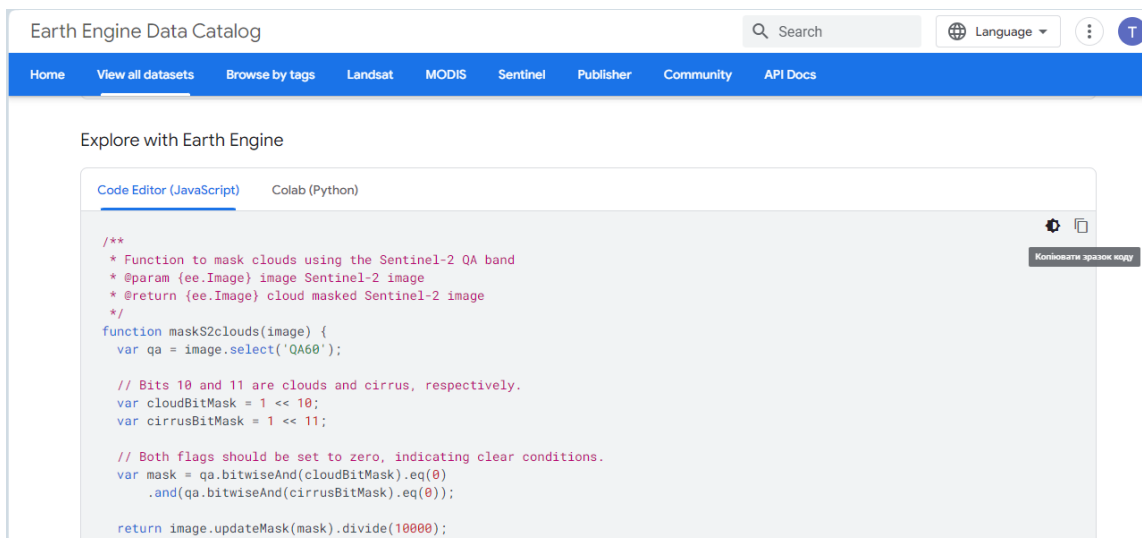


Рис. 3.4. Зразок коду в Earth Engine

Натисніть кнопку *Copy Code Sample* (Копіювати зразок коду) та вставте код у редактор коду. Натисніть *Run* (Виконати), і ви побачите, як плитку зображень завантажуються на карті.

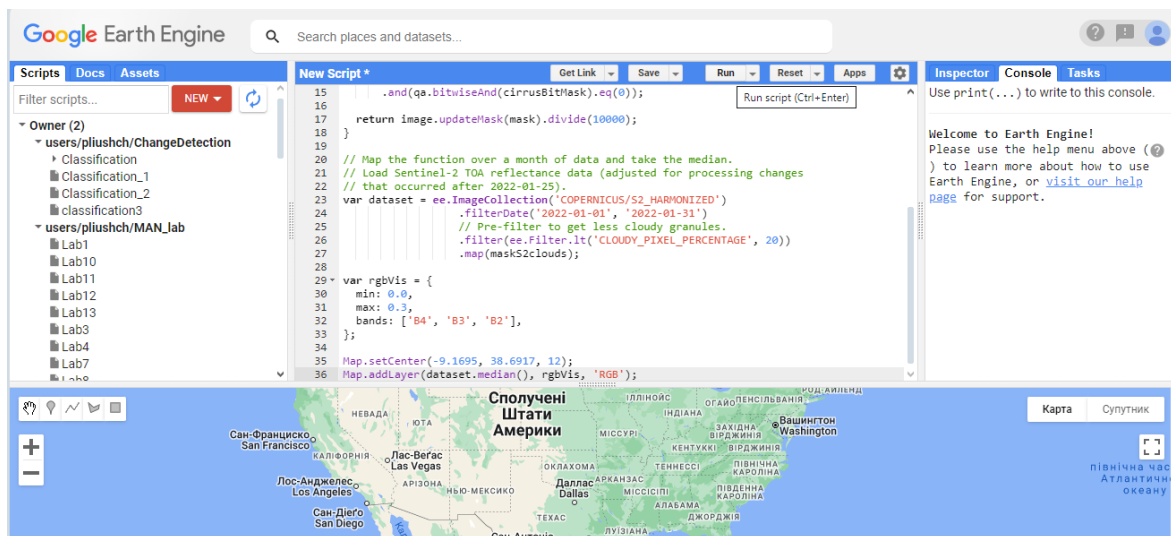


Рис. 3.5. Скопійований код у вікні скрипту Earth Engine

Цей код фільтрує зображення з супутникового знімку Sentinel-2 та накладає маску для хмар, потім отриманий медіанний результат від першої дати до останньої та відображає у вікні з мапою.

Тепер цей код потрібно трохи модифікувати відповідно до вашого дослідження.

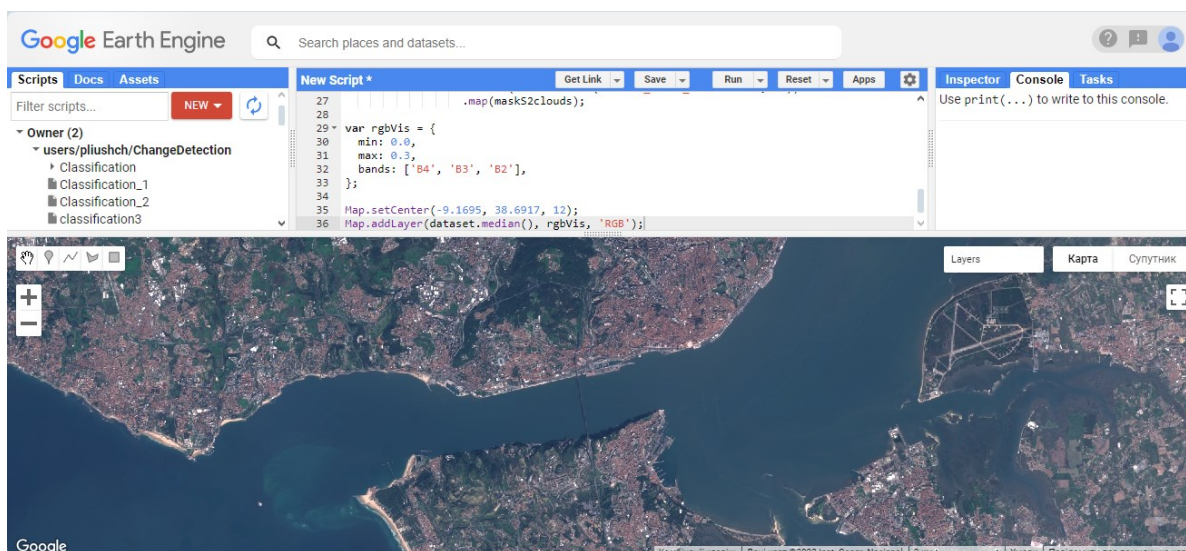


Рис. 3.6. Візуалізація колекції знімків після запуску коду

5. У фрагменті коду ви бачите функцію *Map.setCenter()*, яка встановлює для вікна перегляду певне розташування та рівень масштабування. Функція приймає координату *X* (довгота), координату *Y* (широта) і параметри масштабу.

Використайте **Inspector** (*Інспектор*) щоб знайти координати вашого міста. Для цього можна скористатися рядком пошуку **Search places and datasets** (*Пошук місць та наборів даних*). Відкрийте вкладку **Inspector** (*Інспектор*) і натисніть мишкою на місце розташування вашого міста на карті. У вікні **Inspector** (*Інспектор*) відобразяться координати - скопіюйте їх та змініть наявні у коді координати на нові, натисніть **Run** щоб побачити зображення вашого міста.

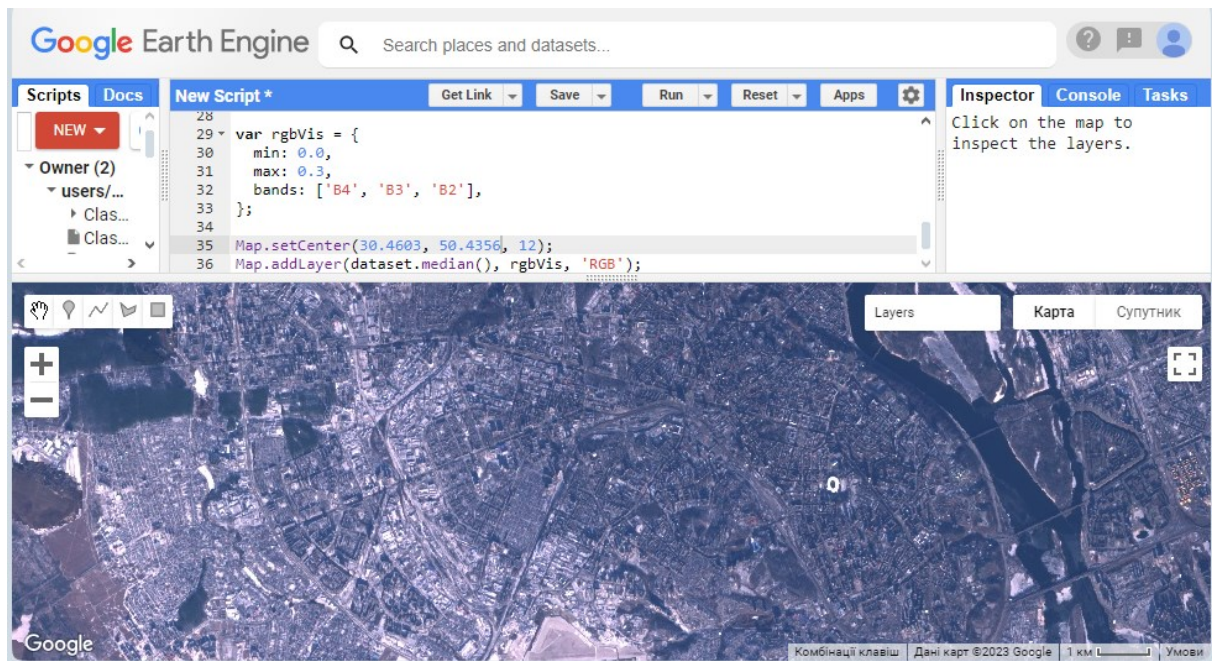


Рис. 3.7. Територія міста Київ

6. Фільтрування колекцій зображень. Колекція містить усі зображення, коли-небудь зібрані сенсором. Цілі колекції не дуже корисні. Для більшості програм потрібна підмножина зображень, тому використовуються фільтри для вибору відповідних зображень. Існує багато типів функцій фільтрів, у роботі використовуємо основні 3 типи методів фільтрації зображень:

1. *Фільтрувати за метаданими*: ви можете застосувати фільтр до метаданих зображення за допомогою таких фільтрів, як **ee.Filter.eq()**, **ee.Filter.lt()** тощо. Ви можете фільтрувати за значеннями **PATH/ROW**, номером орбіти, хмарним покривом тощо.

2. *Фільтрувати за датою*: ви можете вибрати зображення в певному діапазоні дат за допомогою фільтрів, таких як **ee.Filter.date()**.

3. *Фільтрувати за розташуванням*: ви можете вибрати підмножину зображень за розташуванням або геометрією за допомогою

ee.Filter.bounds(). Ви також можете використовувати інструменти малювання, щоб намалювати геометрію для фільтрації.

Після застосування фільтрів ви можете використовувати функцію ***size()***, щоб перевірити, скільки зображень відповідає фільтрам.

! Приклад скрипту для виконання завдання. Змініть необхідні параметри, щоб отримати результат на задане місце та термін. Територія, яка вам потрібна – це ваше місто, з попередніх робіт. Період – рік від дати виконання вами роботи.

```
var geometry = ee.Geometry.Point([30.46460643322753896,50.425430392401104])
Map.centerObject(geometry, 10)

var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_HARMONIZED');

// Фільтрувати за метаданими
var filtered = s2.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 30));

// Фільтрувати за датою
var filtered = s2.filter(ee.Filter.date('2022-01-01', '2023-01-01'));

// Фільтрувати за розташуванням
var filtered = s2.filter(ee.Filter.bounds(geometry));

// Давайте застосуємо всі 3 фільтри до колекції

// Спочатку застосуйте фільтр метаданих
var filtered1 = s2.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 30));
// Застосуйте фільтр дати до результатів
var filtered2 = filtered1.filter(
  ee.Filter.date('2022-01-01', '2023-01-01'));
// Останнім застосуйте фільтр розташування
var filtered3 = filtered2.filter(ee.Filter.bounds(geometry));

// Замість того, щоб застосовувати фільтри один за одним, ми можемо
«з'єднати» їх
// Використовуйте . позначення для застосування всіх фільтрів разом
var filtered = s2.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 30))
  .filter(ee.Filter.date('2022-01-01', '2023-01-01'))
  .filter(ee.Filter.bounds(geometry));

print(filtered.size());
```

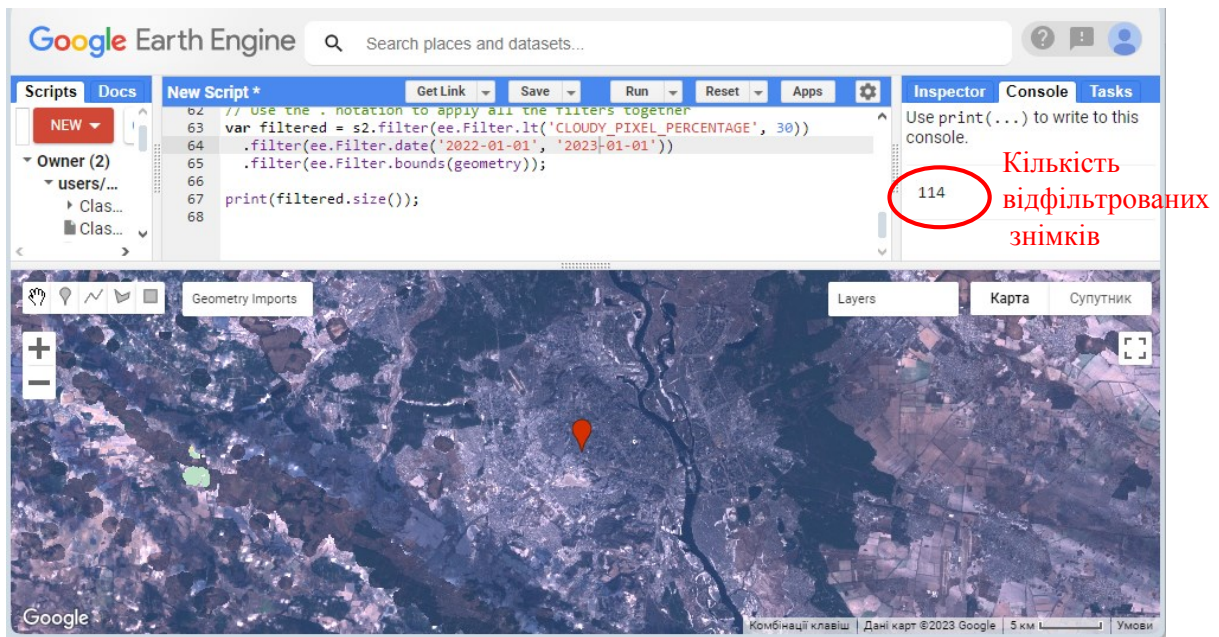


Рис. 3.8. Відфільтровані зображення на задану територію

7. Створення мозаїки і композитів із *ImageCollections*. Порядок колекції за замовчуванням – за датою. Отже, коли ви показуєте колекцію, вона неявно створює мозаїку з останніми пікселями зверху. Ви можете викликати *.mosaic()* у *ImageCollection*, щоб створити мозаїчне зображення з пікселів у верхній частині.

Ви також можете створити складене зображення, застосовуючи критерії вибору до кожного пікселя з усіх пікселів у стеку. Тут використовується функція *median()* для створення композиту, де кожне значення пікселя є медіаною всіх пікселів зі стеку.

Порада. Якщо вам потрібно створити мозаїку, де зображення розташовані в певному порядку, ви можете скористатися функцією *.sort()*, щоб спочатку відсортувати колекцію за властивістю.

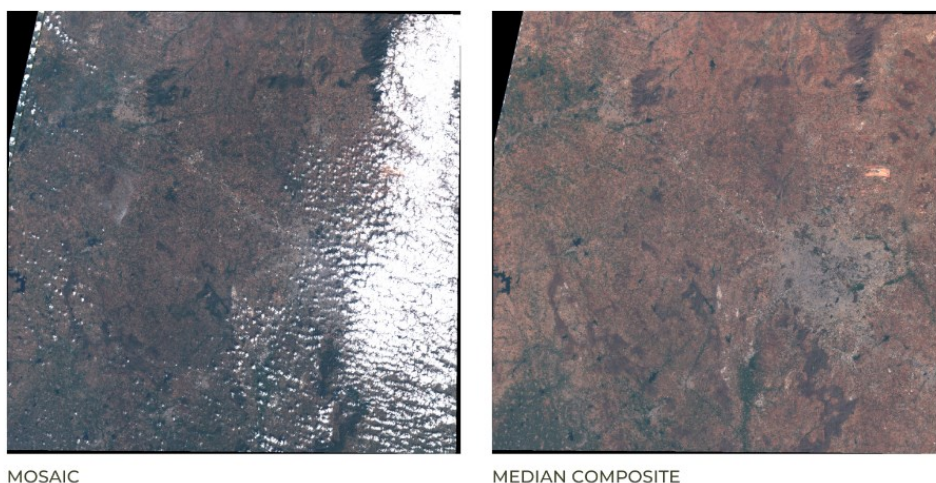


Рис. 3.9. Приклад мозаїки знімків, отриманих різними методами

```

var rgbVis = {
  min: 0.0,
  max: 3000,
  bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
};
var filtered = s2.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 30))
  .filter(ee.Filter.date('2022-01-01', '2023-01-01'))
  .filter(ee.Filter.bounds(geometry));

var mosaic = filtered.mosaic();

var medianComposite = filtered.median();

Map.addLayer(filtered, rgbVis, 'Filtered Collection');
Map.addLayer(mosaic, rgbVis, 'Mosaic');
Map.addLayer(medianComposite, rgbVis, 'Median Composite');

```

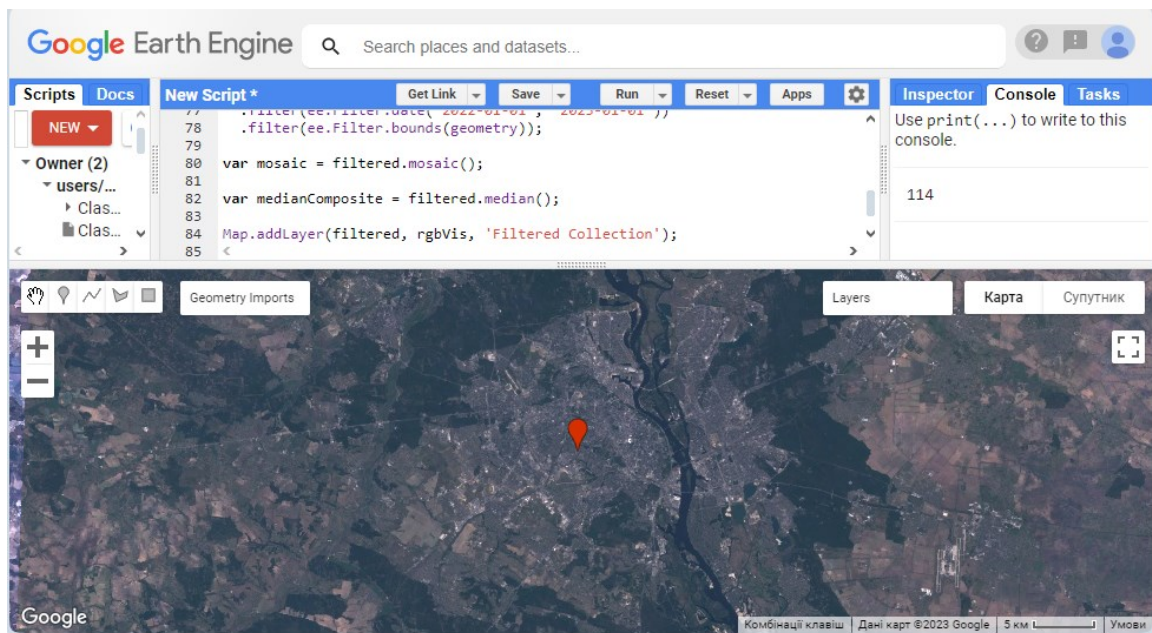


Рис. 3.10. Мозаїка знімків

8. Робота з колекціями об'єктів. Колекції об'єктів схожі на колекції зображень, але вони містять об'єкти, а не зображення. Вони еквівалентні векторним шарам у ГІС. Ви можете завантажувати, фільтрувати та відображати колекції об'єктів, використовуючи подібні методи, яким ви навчилися досі.

Знайдіть адміністративні кордони другого рівня *GAUL* і завантажте колекцію. Це глобальна колекція, яка містить усі межі *Admin2*. Ми можемо застосувати фільтр за допомогою властивості *ADM1_NAME*, щоб отримати всі межі *Admin2* (тобто райони) від штату.

! Для території України найменшою територіальною одиницею доступною для виділення є область, тому для виконання цього завдання обираєте область, звідки ви родом.

```
var admin = ee.FeatureCollection('FAO/GAUL_SIMPLIFIED_500m/2015/level2');  
  
var region= admin.filter(ee.Filter.eq('ADM1_NAME', "Kyivvs'ka"));  
  
var visParams = {'color': 'red'};  
Map.addLayer(region, visParams, "Kyivvs'ka Districts");
```

Назву області потрібно написати так, як вона записана в таблиці *ADM1_NAME*, інакше код не спрацює. Для прикладу наведено написання Київської області *Киуivvs'ka*. Інші області пишуться за таким прикладом.

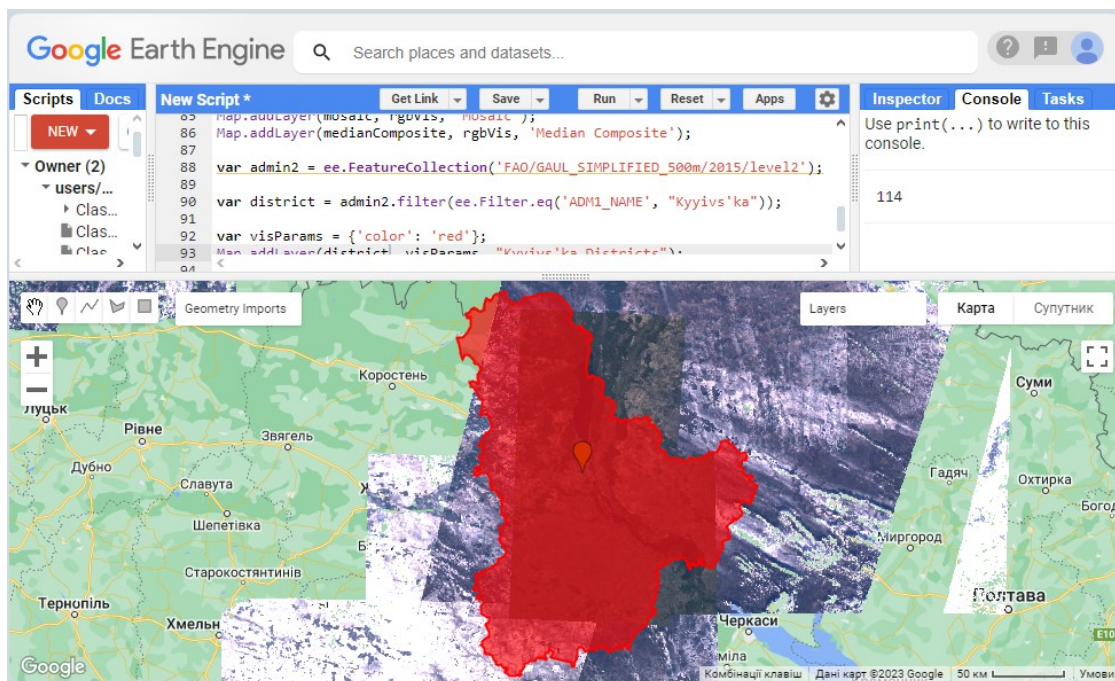


Рис. 3.11. Відображення межі Київської області

9. Розрахунок індексів. Спектральні індекси є центральними для багатьох аспектів дистанційного зондування. Незалежно від того, чи ви вивчаєте рослинність, чи відстежуєте пожежі, вам потрібно буде обчислити піксельне співвідношення двох або більше каналів. Найпоширенішою формулою для розрахунку індексу є нормалізована різниця між 2 діапазонами. Earth Engine надає допоміжну функцію *normalizedDifference()*, щоб допомогти обчислити нормалізовані індекси, такі як нормалізований індекс різниці рослинності (*NDVI*). Для більш складних формул ви також можете використовувати функцію *express()* для опису обчислення.

```

// Розраховуємо нормалізований вегетаційний індекс рослинності (NDVI)
// 'NIR' (B8) та 'RED' (B4)
var ndvi = image.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename(['ndvi']);

// Розраховуємо модифікований нормалізований індекс різниці води (MNDWI)
// 'GREEN' (B3) та 'SWIR1' (B11)
var mndwi = image.normalizedDifference(['B3', 'B11']).rename(['mndwi']);

// Розраховуємо індекс рослинності з урахуванням ґрунту (SAVI)
// 1.5 * ((NIR - RED) / (NIR + RED + 0.5))

// Для більш складних індексів ви можете використовувати функцію
expression()

// Примітка:
// Для формули SAVI значення пікселів потрібно перетворити на коефіцієнти
відбиття
// Множення значень пікселів на «масштаб» дає нам значення відбиття
// Значення масштабу становить 0,0001 для набору даних Sentinel-2

var savi = image.expression(
  '1.5 * ((NIR - RED) / (NIR + RED + 0.5))', {
    'NIR': image.select('B8').multiply(0.0001),
    'RED': image.select('B4').multiply(0.0001),
  }).rename('savi');

var rgbVis = {min: 0.0, max: 3000, bands: ['B4', 'B3', 'B2']};
var ndviVis = {min:0, max:1, palette: ['white', 'green']};
var ndwiVis = {min:0, max:0.5, palette: ['white', 'blue']};

Map.addLayer(image.clip(geometry), rgbVis, 'Image');
Map.addLayer(mndwi.clip(geometry), ndwiVis, 'mndwi');
Map.addLayer(savi.clip(geometry), ndviVis, 'savi');
Map.addLayer(ndvi.clip(geometry), ndviVis, 'ndvi');

```

Виконайте по черзі обрахунок кожного індексу, щоб мати змогу побачити та завантажити кожне зображення окремо. Почніть з *'Image'*, додайте частину коду на завантаження зображення, що описано нижче у роботі, збережіть його, а потім перейдіть до *'mndwi'* і так далі.

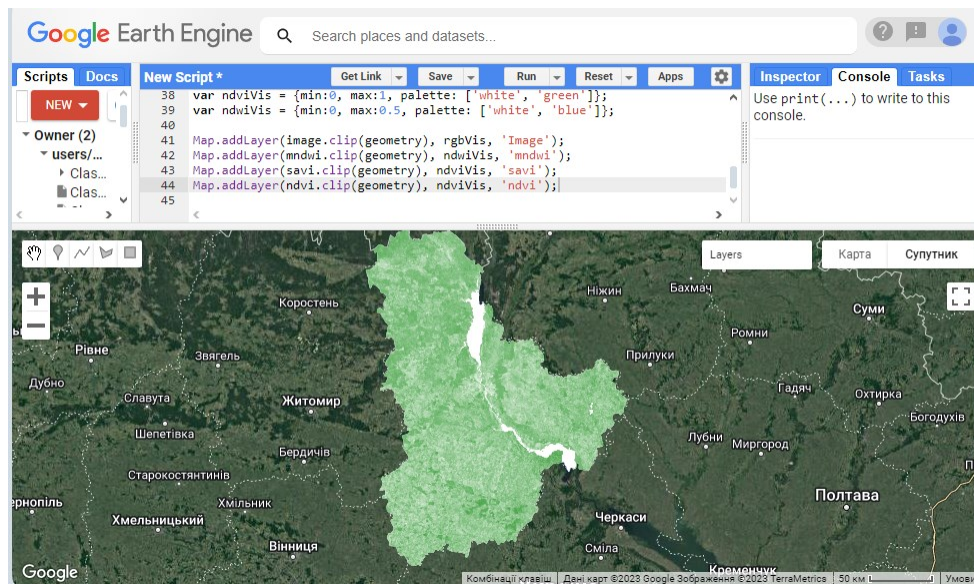


Рис. 3.12. Обрахунок індексів на обрану територію

Приклади отриманих результатів наведено нижче на рис. 3.13.

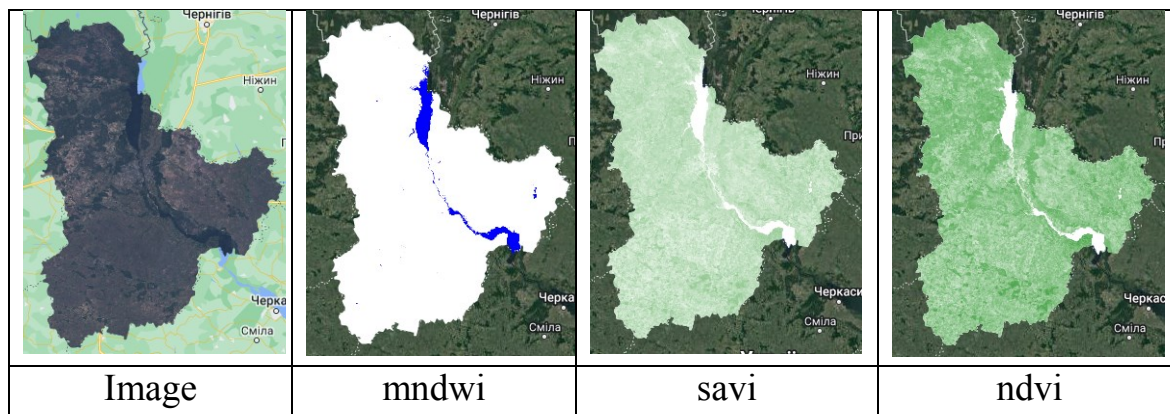


Рис. 3.13. Приклади обрхованих індексів

10. Експорт даних. Earth Engine дозволяє експортувати як векторні, так і растрові дані для використання у зовнішніх програмах. Векторні дані можна експортувати як **CSV** або **Shapefile**, тоді як растри можна експортувати як файли **GeoTIFF**.

```

var clipped = image.clip(geometry);
var exportImage = clipped.select('B.*');

Export.image.toDrive({
  image: exportImage,
  description: 'Композит знімків на Київську область',
  folder: 'earthengine',
  fileNamePrefix: "Kyiv_composite_raw",
  region: geometry,
  scale: 10,
  maxPixels: 1e9
});

```

Після запуску цього коду вкладка **Tasks** буде виділена. Перейдіть на вкладку і ви побачите завдання, що очікують. Щоб розпочати процес завантаження, клацніть **Run** біля кожного завдання. Завантаження може зайняти деякий час.

Перед скачуванням кожного растру з індексами змініть код у рядку **description** (опис) та **fileNamePrefix** (назва файлу) на відповідні до зображень, що завантажуються.

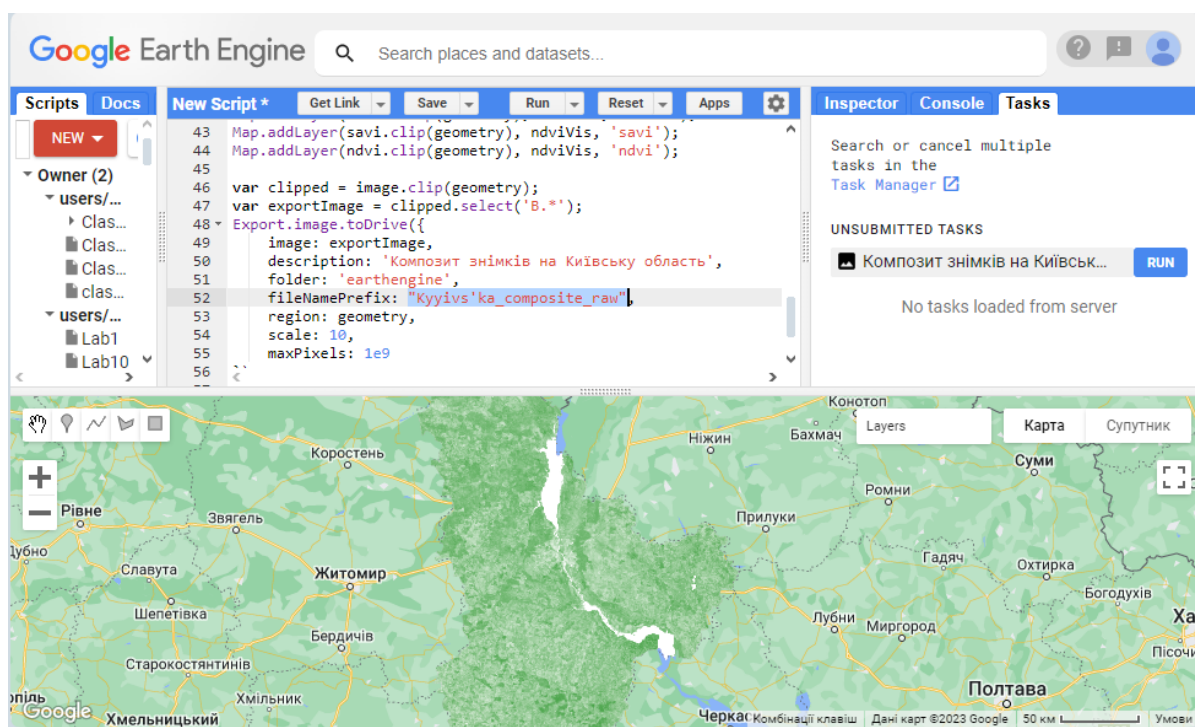


Рис. 3. 14. Завантаження результатів з Earth Engine

Відкрийте у будь-якій іншій програмі растри на вашу область та дослідіть результат.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно підготувати:

1. Кількість відфільтрованих знімків відповідно до ваших умов;
2. Зробити мозаїку знімків на ваше місто;
3. Зберегти у вигляді растрів обраховані індекси на вашу область України;
4. Дати відповідь на такі питання:
 - а) як виконати пошук та фільтрування даних у GEE?
 - б) які набори даних застосовуються для вибору меж адміністративних одиниць?

Лабораторна робота №4. Комбінація та синтез каналів космічного знімку. Вирізання фрагменту

Мета: створити кольоровий багатоспектральний знімок за рахунок об'єднання одноканальних панхроматичних знімків (на прикладі знімка Landsat) та навчитися вирізати фрагмент.

! Вихідні дані: набір космознімків на територію вашого населеного пункту. Landsat завантажений з ресурсу USGS та знімок Sentinel 2 завантажений з ресурсу DataSpace.

Космічний знімок – це зображення нашої планети, отримане за допомогою космічних апаратів, яке містить інформацію про електромагнітне випромінювання (ЕМВ), відбите від різних типів земної поверхні.

Синтез каналів – це об'єднання каналів супутникового знімка в одне кольорове зображення. Будь-яке кольорове зображення формується з трьох каналів: червоного (Red), зеленого (Green) та синього (Blue), тому таке зображення також називають зображенням RGB – цей принцип зображено на рис. 4.1

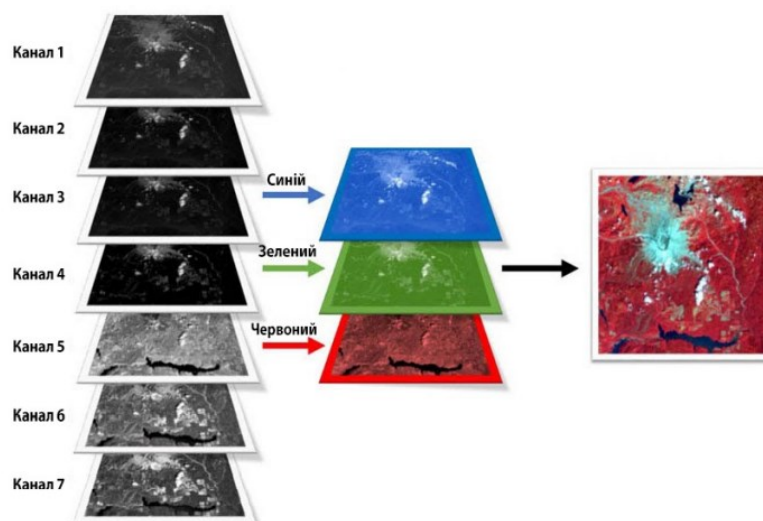


Рис. 4.1. Синтез каналів супутника [11]

! Всі папки, з якими ви працюєте при виконанні цих робіт, та шлях до вашої робочої папки мають бути написані латинськими літерами. Не все програмне забезпечення здатне працювати з кирилицею і на певних етапах у вас можуть виникати проблеми з виконанням певних функцій.

4.1. Синтез каналів космічного знімку Landsat-8 у програмі Erdas Imagine

Супутник Landsat-8 отримує дані, використовуючи два набори інструментів, *Operational Land Imager (OLI)* та *Thermal InfraRed Sensor (TIRS)*. Перший набір отримує зображення у 9 діапазонах видимого світла та ближньому ІЧ, другий набір – у 2 діапазонах далекого (теплого) ІЧ.

Параметри продукції Landsat-8:

- Рівень обробки: 1T (корекція рельєфу) з 2016 року знімки Landsat доступні вже з геометричною та радіометричною корекцією (такими є знімки, які знаходяться в наборах Landsat Level-1 Data Processing Levels або Landsat Level-1 data product або L1TP).
- Формат зображень: GeoTIFF.
- Розмір пікселя: 15 метрів /30 метрів /100 метрів (панхроматичний /мультиспектральний /дальній ІЧ-канал, відповідно).
- Проекція: UTM, також полярна стереографічна для Антарктиди.
- Система координат: WGS 84.
- Точність позиціонування:
 - OLI: СКП 12 метрів (90%);
 - TIRS: СКП 41 метр (90%).

Таблиця 1

Канали космічних знімків Landsat-8

Спектральний канал	Довжина хвилі, мкм	Розрізнення (розмір 1 пікселя)
Діапазони OLI (Operational Land Imager)		
Канал 1 Узбережжя та аерозолі (Coastal / Aerosol, New Deep Blue)	0.433 – 0.453	30 м
Канал 2 – Синій (Blue)	0.450 – 0.515	30 м
Канал 3 – Зелений (Green)	0.525 – 0.600	30 м
Канал 4 – Червоний (Red)	0.630 – 0.680	30 м
Канал 5 – Ближній ІЧ (Near Infrared, NIR)	0.845 – 0.885	30 м
Канал 6 – Ближній ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	1.560 – 1.660	30 м
Канал 7 – Ближній ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 3)	2.100 – 2.300	30 м
Канал 8 – Панхроматичний (Panchromatic, PAN)	0.500 – 0.680	15 м
Канал 9 – Перисті хмари (Cirrus, SWIR)	1.360 – 1.390	30 м
Діапазони TIRS (Thermal Infrared Sensor)		
Канал 10 – Дальній ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR1)	10.30 – 11.30	100 м
Канал 11 – Дальній ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR2)	11.50 – 12.50	100 м

Хід роботи:

1. Відкрийте всі знімки *Landsat.tif* із робочої директорії до в'ювера. Це дані супутника Landsat 8.

Папка з вихідними даними містить 14-ть файлів два з яких текстові документи з технічною документацією, а решта 12 - графічні зображення у форматі *GeoTIFF*.

Имя	Даты	Тип	Размер
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_ANG.txt	21.04.2019 20:35	Текстовый докум...	115 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B1.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B2.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B3.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B4.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B5.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B6.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B7.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B8.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	509 594 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B9.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B10.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_B11.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_BQA.TIF	21.04.2019 20:36	Файл "TIF"	127 447 КБ
LC08_L1TP_181025_20190401_20190421_01_T1_MTL.txt	21.04.2019 20:36	Текстовый докум...	9 КБ

Рис. 4.2. Вміст папки завантаженого знімку.

Усі графічні файли названі за однією схемою:

- перші чотири символи - "*LC08*" - позначають супутник, з якого проводилася зйомка - Landsat 8;
- ще чотири символи після роздільника у вигляді підкреслення - "*L1TP*" - рівень обробки даних - Level 1;
- потім після роздільника йдуть 6 символів, що позначають номер витка (181) та ряду (номер сцени) у витку (025) - *Path* та *Row*, вони завжди стандартні для супутників Landsat;
- потім – вісім символів, що позначають дату зйомки у форматі *рік-місяць-день*, у даному випадку – це 1 квітня 2019 року;
- потім - ще вісім символів, дата зйомки;
- більшість файлів закінчуються буквою "*B*" (від англійського "*band*" - канал, смуга) з номером, який є номером спектрального каналу знімальної апаратури супутника Landsat.

Файл, назва якого закінчується на "*BQA*", містить дані технічного каналу, куди поміщаються дані про наявність хмарності.

File/ Open/ Raster Layer (Файл/ Відкрити/ Растровий шар) або використавши значок папки у верхньому лівому куті вікна програми,

перейдіть до директорії зі знімками та відкрийте їх. **Важливо:** виберіть тип файлу (*Files of type*) – **TIFF**.

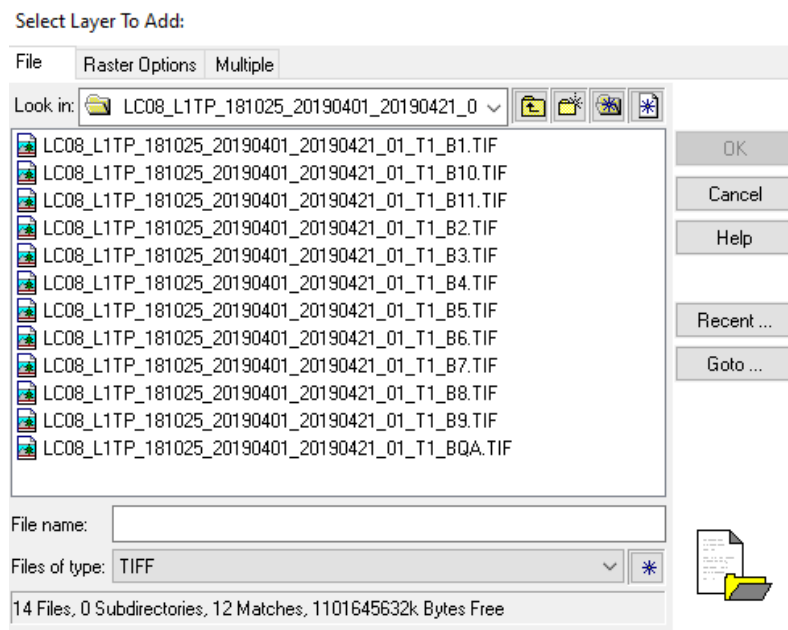


Рис. 4.3. Вікно вибору даних

Після відкриття знімків у програмі, у вас можуть з'явитися жовті значки біля іконок зображень, правою кнопкою миші виберіть меню *Correct the Alert Problem* (*Виправте проблему сповіщення*).

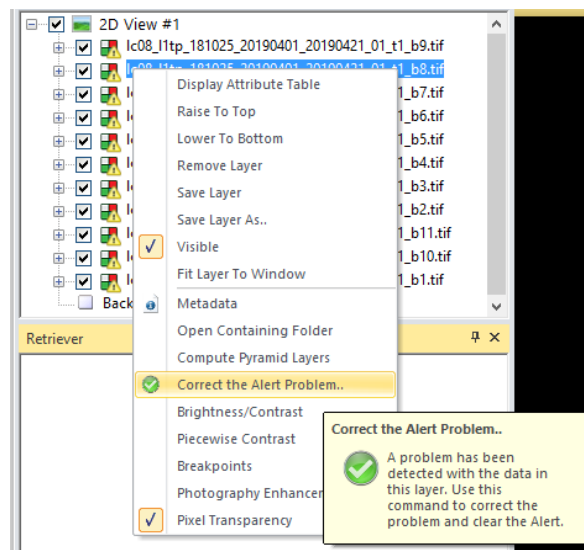


Рис. 4.4. Виправлення помилок відкриття даних

2. Дослідіть кожний знімок візуально та за допомогою інструменту *Home/Metadata* (*Метадані*). Це панхроматичні одноканальні знімки. Кожний із цих чорно-білих знімків містить інформацію, відзняту у відповідному спектральному діапазоні.

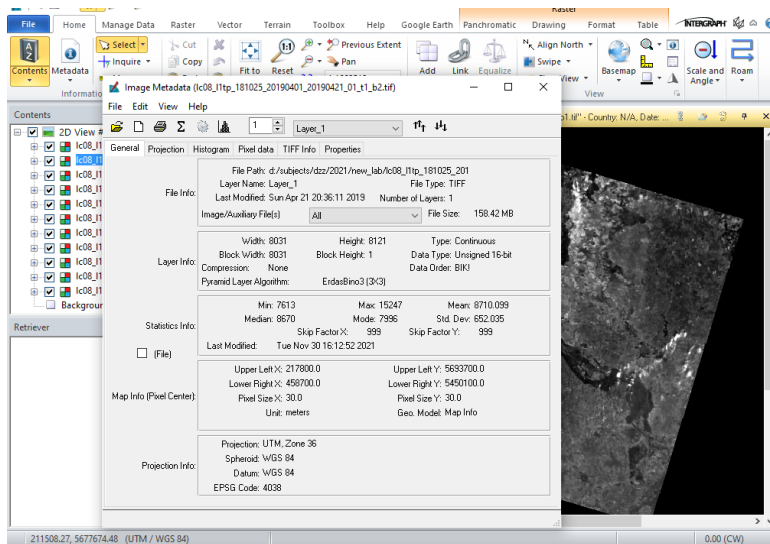


Рис. 4.5. Метадані про знімок

3. Тепер об'єднайте всі канали у одне растрове зображення. Для цього запусить інструмент **Raster /Spectral /Layer Stack (Растр/ Спектральний/ Складання шарів)**.

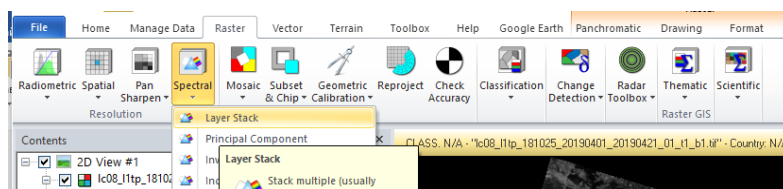



Рис. 4.6. Вибір коменди для синтезу знімка

У новому діалоговому вікні натисніть  біля випадаючого списку **Input File (Вхідний файл)**. Перейдіть до робочої директорії та виберіть по черзі всі знімки **Landsat**, крім 8-го каналу та технічного. Після вибору кожного каналу натискайте **Add (Додати)**. Повторіть цю процедуру 10 разів для всіх каналів.

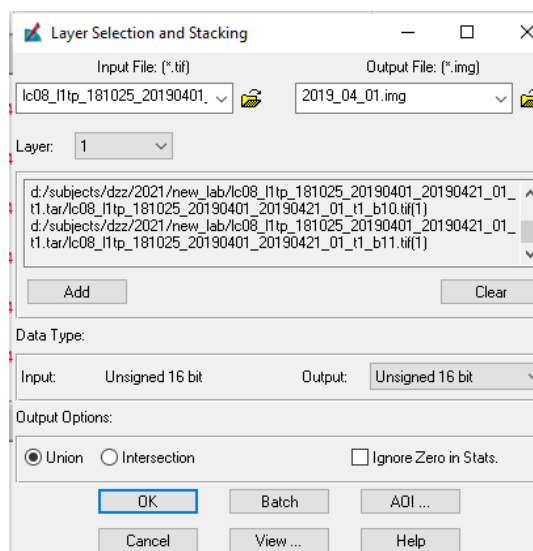



Рис. 4.7. Додавання каналів для синтезу знімку

Введіть ім'я вихідного файлу та збережіть його у свою робочу папку через іконку .

Інші параметри залиште без змін, натисніть **ОК**. Після закінчення процесу закрийте *Process List* (Список процесів) та відкрийте утворений вами знімок у новий в'ювер. Впишіть зображення у в'ювер за допомогою

команди *Fit to Frame* (Вписати у вікно)  у вкладці *Home*.

4. Перейдіть у закладку *Multispectral* та у блоці *Bands* (Канали), задайте для видимих діапазонів RGB відповідність каналів *Layer 4*, *Layer 3*, *Layer 2*. Активуйте функцію *Discrete DRA*.

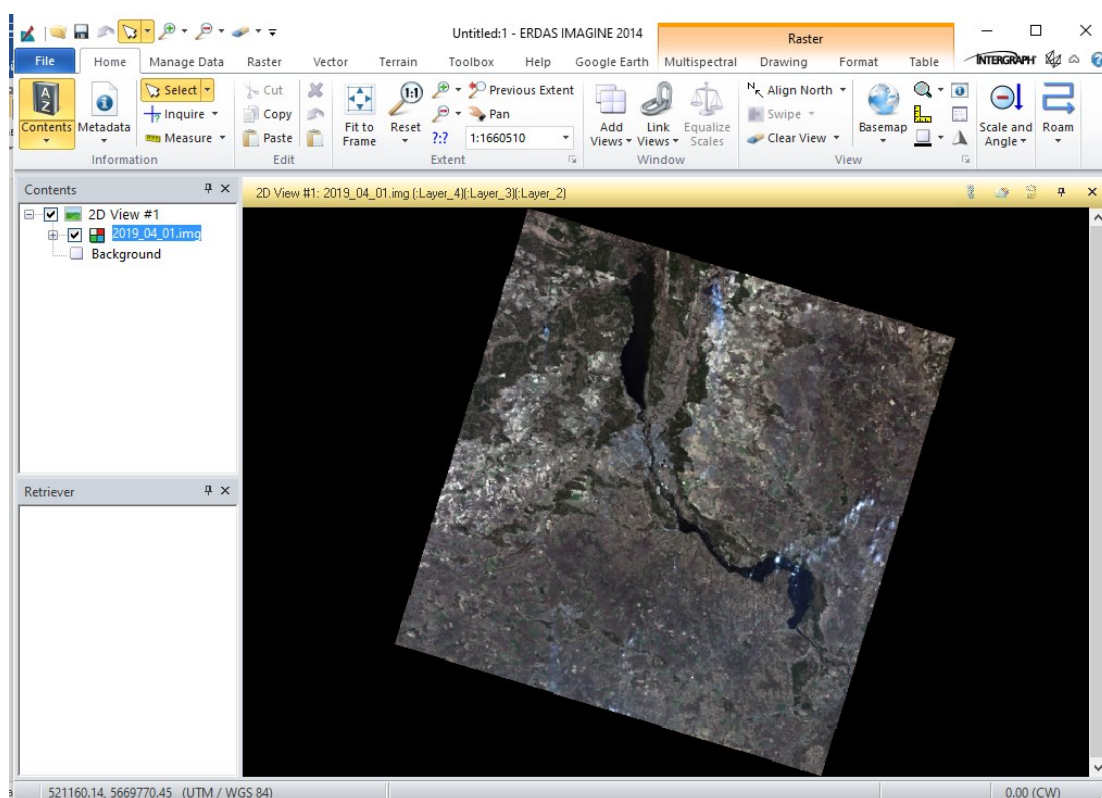


Рис. 4.8. Синтезований знімок

Тепер ви отримали мультиспектральний знімок, що складається з каналів видимого, інфрачервоного та теплового діапазонів.

Спробуйте різну комбінацію каналів для візуалізації та дослідіть результат.

4.2. Вирізання фрагменту знімку у програмі Erdas Imagine

Обрізка знімка – виокремлення зі сцени супутникового знімка потрібної території дослідження. Це важливо як для кращого візуального представлення області інтересу, так і для того, щоб прискорити процеси опрацювання даних комп'ютером. Супутникові знімки великого розміру

можуть займати багато ресурсів процесора, тому варто працювати лише з областю дослідження, а не з усією сценою супутника.

Область вирізання знімка задається:

- контурами заданого прямокутника за допомогою мінімальних і максимальних координат x і y (тобто координат лівого верхнього і правого нижнього кутів прямокутника, який окреслює територію інтересу);
- областю робочого вікна (областю карти);
- контурами іншого растрового або векторного шару.

Хід роботи:

5. Перейдіть до вкладки **Raster**, виберіть **Subset&Chip/Create Subset Image** (Створити вирізане зображення).

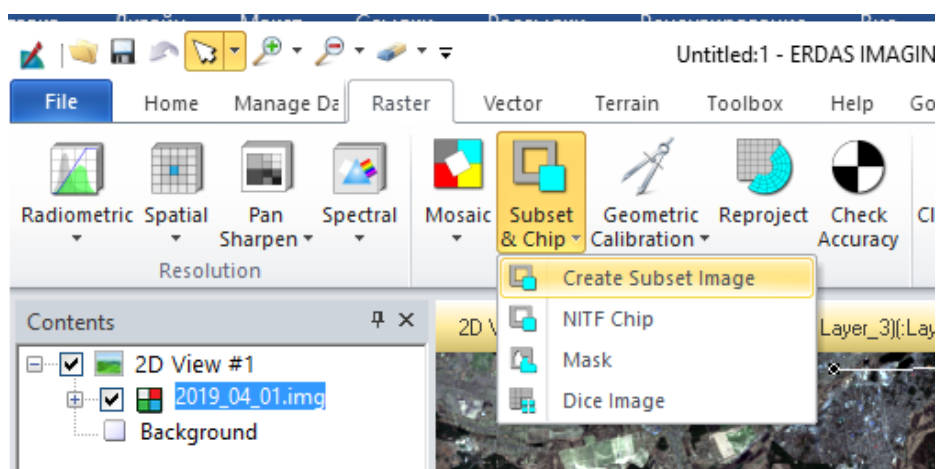


Рис. 4.9. Вибір інструменту вирізки

У новому вікні вкажіть ваш синтезований знімок як вхідний. Через значок папки вкажіть шлях збереження та назву вирізаному фрагменту. У відповідні рядки задайте ваші координати та натисніть **OK**.

Інший спосіб вирізати потрібний фрагмент знімка, це окреслити його межі за допомогою інструменту **Rectangle** (Прямокутник) у розділі **Drawing** (Малювання). Коли на знімку є окреслена територія, у розділі **Contents** з'явиться шар **Aoi** (Area of interest/ Область інтересу). У вікні **Subset** (Вирізування) ви можете задати цей шар для вирізання фрагменту натиснувши внизу на кнопку **AOI** та обрати джерелом даних **Viewer**.

Почекайте завершення процесу вирізання й відкрийте створений вами фрагмент у в'ювер.

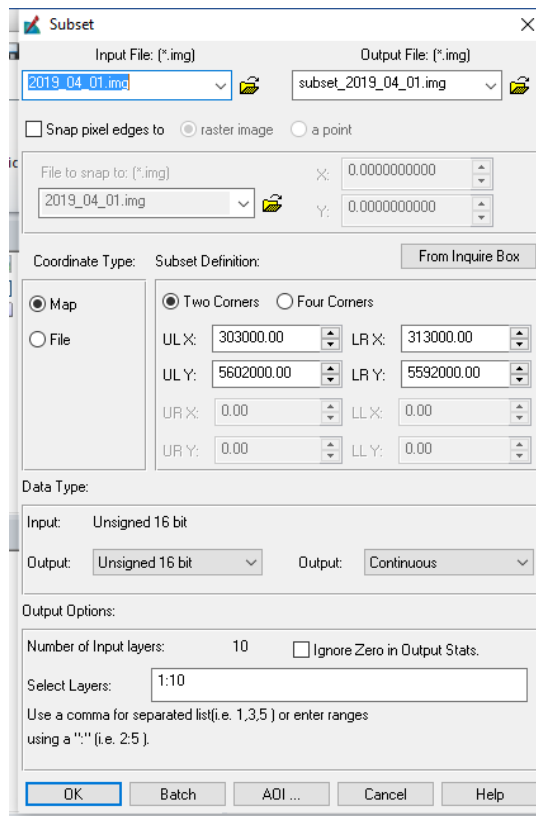


Рис. 4.10. Вибір параметрів вирізання фрагменту знімку

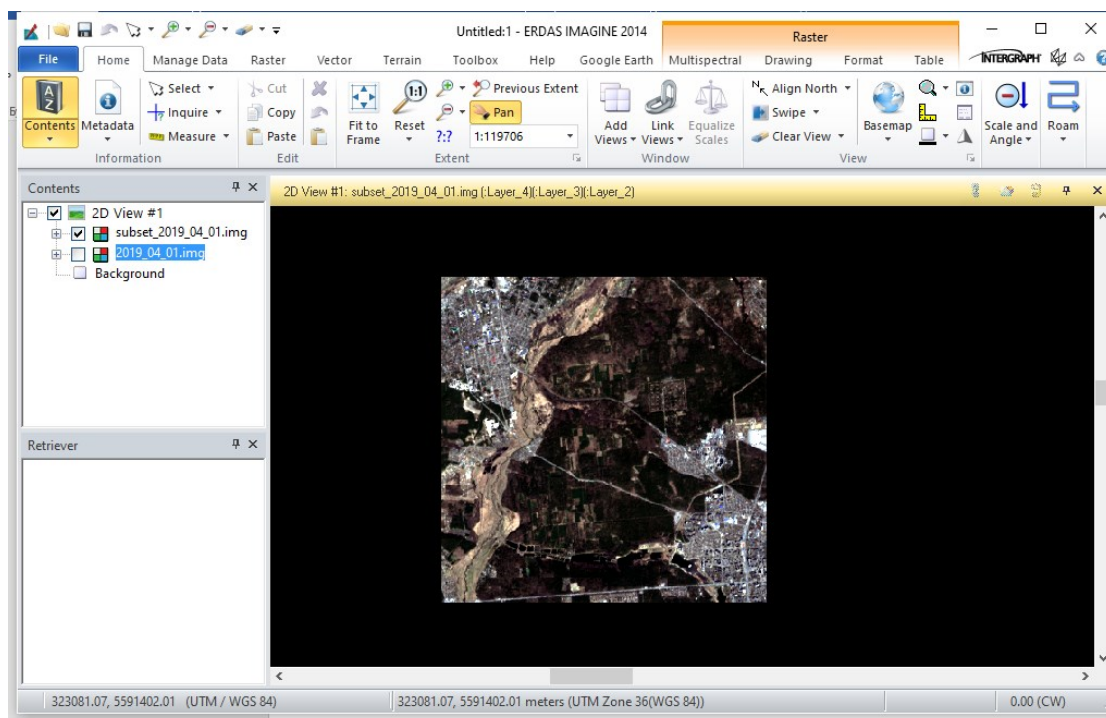


Рис. 4.11 Фрагмент знімку

Виконайте вирізання фрагменту знімку за вашими координатами (прямокутником) тільки для восьмого каналу. Повторіть описаний вище процес, лише замість багатоспектрального знімка вкажіть шлях до файлу **B8.TIF** з папки вихідних даних.

4.3. Вирізання фрагменту знімку Sentinel-2 у програмі SNAP

Програмний пакет SNAP (Sentinel Application Platform) ESA (Європейське космічне агентство ESA) призначений для обробки даних дистанційного зондування, отриманих зі супутникових місій ESA з супутників Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, SMOS, PROBA V.

Знімок із супутника Sentinel-2 – це zip-архів розміром у кілька сотень мегабайт. У нашому випадку архів називається *L1C_T35UQR_A023199_20210815T085845.zip*. У назві закодована інформація:

- рівень обробки (*L1C*);
- код, що позначає територію (*T35UQR*);
- номер орбіти (*A023199*);
- дата та час зйомки.

Розпакуйте завантажений раніше супутниковий знімок в своїй папці.

Усередині цього архіву є папка з довгою назвою, яка закінчується на *.SAFE*. У папці **.SAFE* є папка *GRANULE*, в ній ще одна папка з довгою назвою, всередині якої знаходиться папка *IMG_DATA*, а в ній – 14 зображень у форматі *jp2*. Серед них є 13 пронумерованих – їх назви закінчуються на *B01-B12* (плюс ще одна з номером *B8A*). Це тайли – знімки земної поверхні, зроблені на певних довжинах хвиль. Назва 14-го зображення закінчується на *TCI*, що означає *True Color Image* – це повнокольоровий знімок, тобто приблизно такий, який би вийшов на звичайний фотоапарат.

Таблиця 2

Канали супутника Sentinel-2

Канали Sentinel-2	Довжина хвилі [мікрометри]	Роздільна здатність [метри]
Канал 1 - Узбережний аерозоль	0.443	60
Канал 2 - Синій	0.490	10
Канал 3 - Зелений	0.560	10
Канал 4 - Червоний	0.665	10
Канал 5 - Червоний край рослинності	0.705	20
Канал 6 - Червоний край рослинності	0.740	20
Канал 7 - Червоний край рослинності	0.783	20
Канал 8 - NIR	0.842	10
Канал 8A - Червоний край рослинності	0.865	20
Канал 9 - Водяна пара	0.945	60
Канал 10 - SWIR - Пір'їсті хмари	1.375	60
Канал 11 - SWIR	1.610	20
Канал 12 - SWIR	2.190	20

Завантажте інсталяцію платформи SNAP з сайту <https://step.esa.int/main/download/snap-download/> (має розмір близько 1,00 ГБ). Оберіть *All Toolboxes* (Усі набори інструментів) та тип завантаження *Main Download* (Основне завантаження).

Оберіть актуальну версію SNAP, якщо ви раніше використовували SNAP, рекомендується видалити стару версію перед встановленням актуальної версії.

Запустіть інсталяцію програми, не змінюючи параметрів, натискайте *Next* (Наступний) на всіх етапах інсталяції.

Хід роботи:

1. Запустіть програму SNAP. Щоб відкрити знімок необхідно вказати шлях на вашому комп'ютері до файлу метаданих з назвою *MTD_MSIL1C.xml* або *MTD_MSIL2A.xml*, в залежності від рівня обробки даних, що міститься у корені папки зі знімком, що має закінчення *.SAFE.

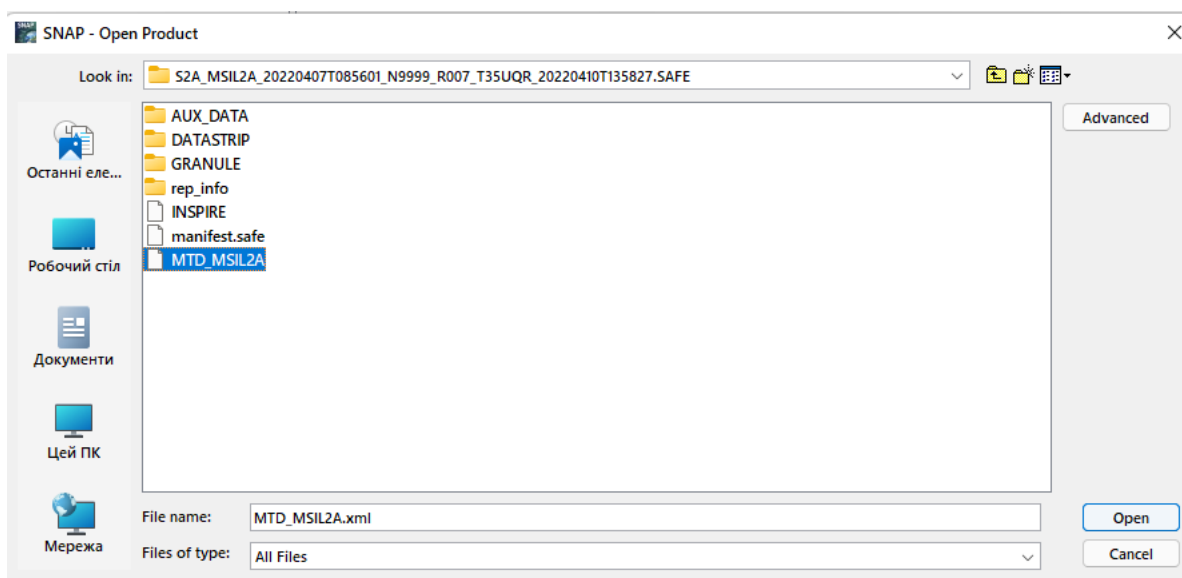


Рис. 4.12. Вікно вибору файлу для відкриття знімку

Після відкриття знімку він з'явиться на панелі ліворуч *Product Explorer* (Огляд продукту). Розгорніть інформацію до рівня каналів, виберіть, наприклад, другий канал **B2** та двічі клацніть на ньому мишкою. Відкриється вікно з зображенням одного каналу знімку (B2).

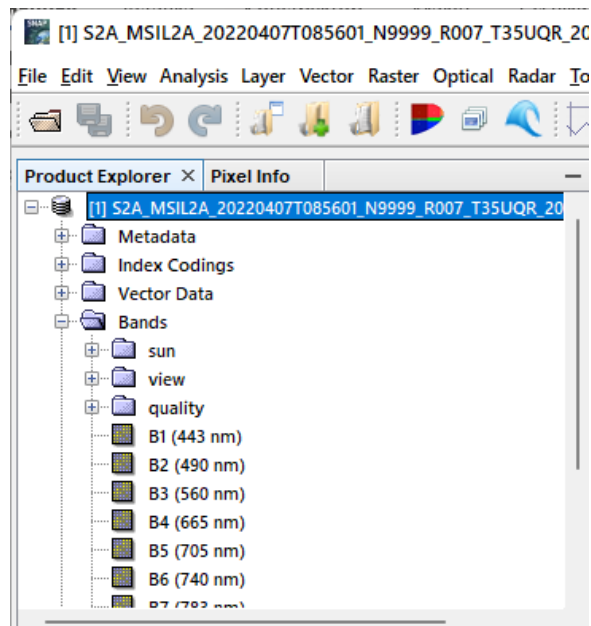


Рис. 4.13. Дерево папок та каналів, з яких складається інформація про знімок

2. Щоб вирізати необхідний фрагмент знімку є кілька варіантів. Меню **Raster/Subset (Растр/Вирізати)**, відкриється вікно, де ви можете вибрати параметри, за якими потрібно вирізати фрагмент:

1. ввести координати фрагменту у пікселях (а);
2. використати географічні координати необхідної ділянки (б);
3. власноруч у вікні навігації виділити рамкою фрагмент для вирізання;

4. До відкриття вікна *Subset* приблизити необхідну вам частину зображення у в'ювері та натиснути праву кнопку миші, вибрати меню **Spatial Subset from View (Просторове вирізання з в'ювера)** (в).

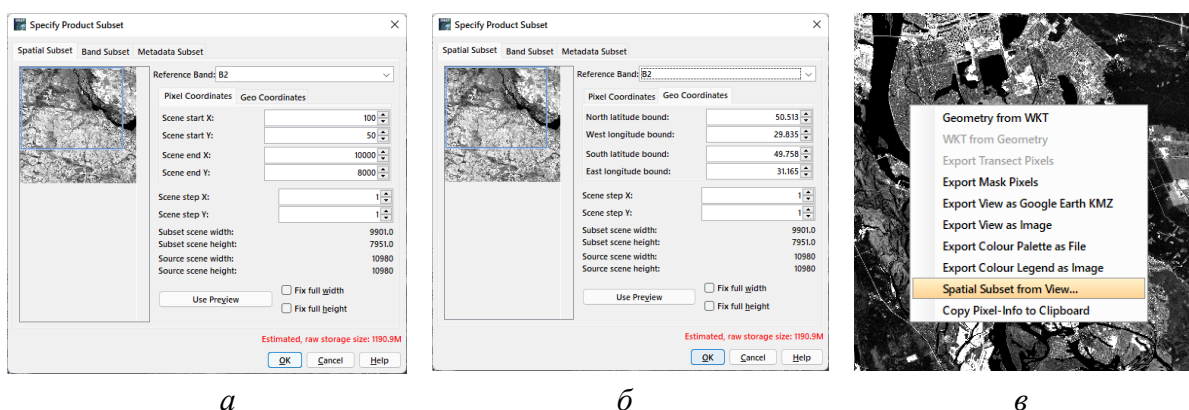


Рис. 4.14. Варіанти функцій вирізання фрагменту знімку

Після вибору способу вирізання фрагменту можна задати канали, які вам необхідні в подальшому аналізі. Можна вибрати всі або кілька (на екрані довільно вибрані канали для прикладу).

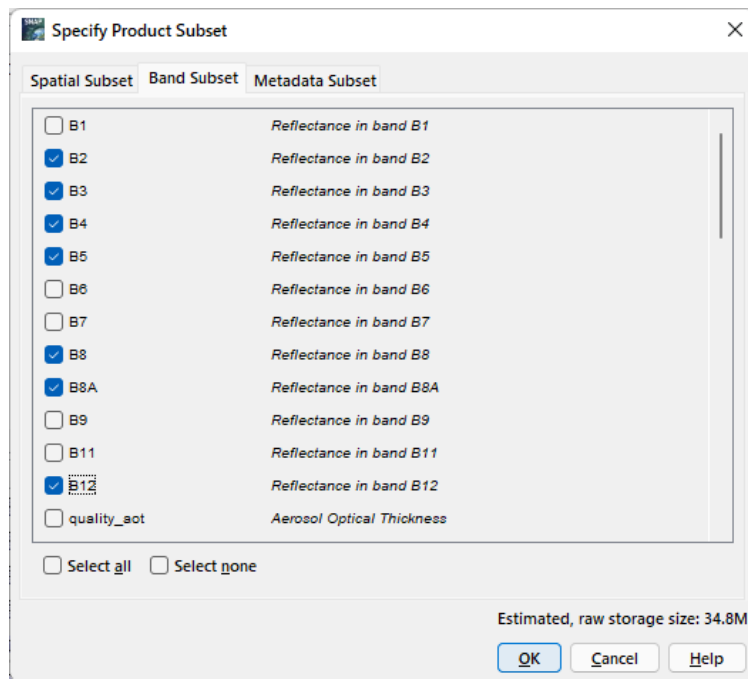


Рис. 4.15. Вікно вибору каналів знімку для вирізання

Коли ви вибрали всі необхідні параметри, натисніть **OK**. На панелі **Product Explorer** (*Провідник продукту*) з'явиться нове зображення, назва якого буде така ж сама, як у вихідного, тільки з приставкою **subset**.

3. Щоб відкрити вирізаний вами фрагмент натисніть правою кнопкою миші на його назві та виберіть **Open RGB Image Window** (*Відкрити зображення в RGB вікні*). У наступному діалоговому вікні можна вибрати у яких кольорах чи комбінацію яких каналів знімка необхідно відкрити у новому вікні.

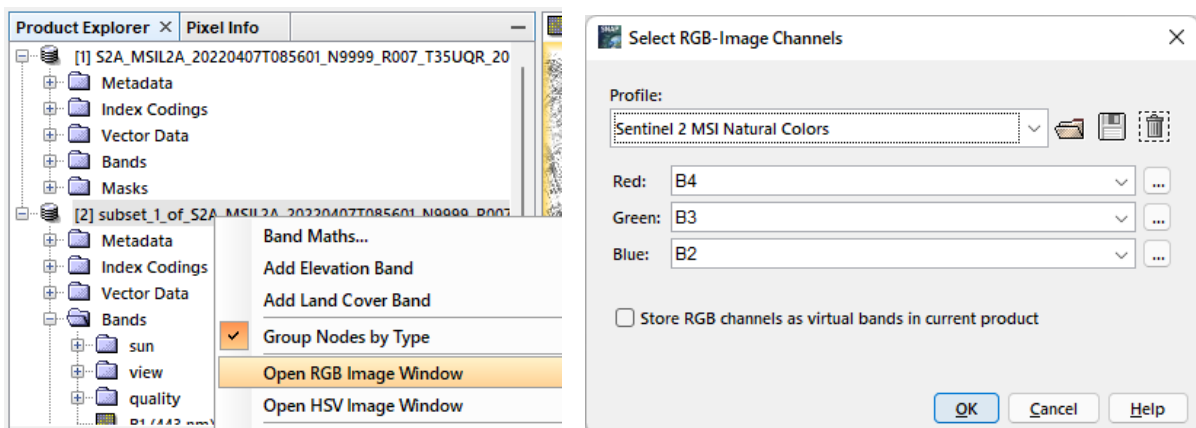


Рис. 4.16. Вибір каналів для відображення знімку

Якщо вас влаштовують вибрані межі вирізаного фрагменту знімку, збережіть його щоб уникнути втрати, оскільки він зберігається у пам'яті. Щоб зберегти вирізаний фрагмент натисніть правою кнопкою миші на назві знімку та виберіть **Save Product As...** (*Зберегти продукт як...*)

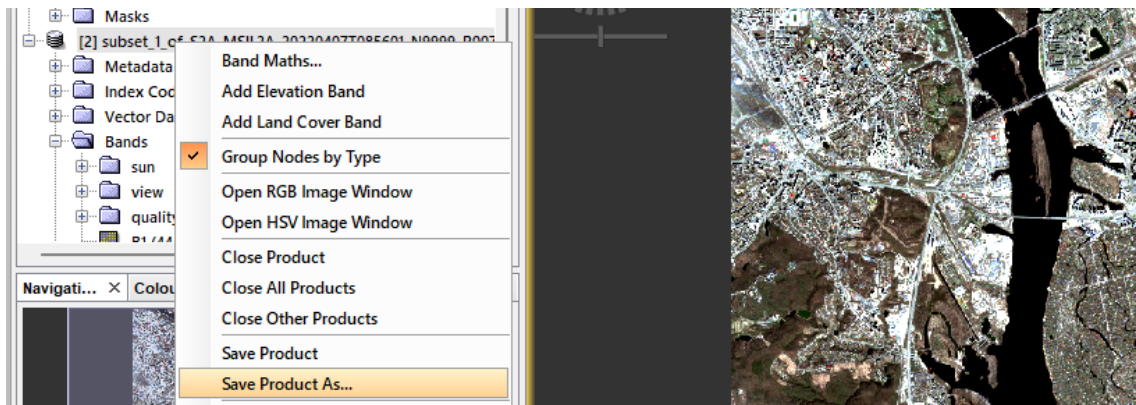


Рис. 4.17. Збереження вибраного продукту

У новому вікні натисніть **Yes** та вкажіть шлях на комп'ютері, куди зберегти зображення.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно підготувати:

1. Синтезований знімок Landsat;
2. Вирізаний фрагмент знімків на територію вашого населеного пункту Landsat та Sentinel-2;
3. Дати відповіді на такі питання:
 - а) поняття спектральних каналів космічного знімка, спектральна роздільна здатність. Їх застосування;
 - б) з якою метою виконують вирізання фрагменту знімка та варіанти виконання цього процесу?

Лабораторна робота № 5. Координатна прив'язка та геометричне трансформування знімків

Мета: навчитися створювати набори опорних точок, оцінювати їх якість та використовувати їх для координатної прив'язки одного знімка до іншого.



Вихідні дані: папка Lab5.

- Неприв'язаний знімок **Unreferenced.jpg**.
- Космічний ортотрансформований знімок **Reference.tif**.

Іноді перед початком роботи зі знімком необхідно провести його геометричне трансформування в задану систему координат картографічної проекції, що виконується через прив'язування знімку до території чи карти. *Геометричне трансформування зображення* – це процес перетворення зображення з метою приведення його до заданого масштабу та проекції з усуненням зміщень через рельєфу місцевості та кривизни поверхні Землі, а також з виключенням геометричних викривлень.

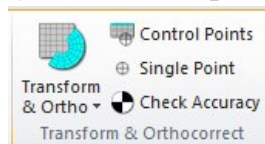
У результаті просторового прив'язування космознімка встановлюється однозначна відповідність між системою координат космознімка та географічною чи іншими подібними системами координат. Для прив'язки знімка використовують *наземні опорні точки* – це точки місцевості з відомими координатами, які можна ототожнити з їх образом на космознімку. У якості опорних точок на місцевості обирають природні та штучні об'єкти земної поверхні (перехрестя доріг, дамби, аеродроми, окремі будівлі тощо), які легко виявляються на знімках і картах та координати яких відомі. Після ідентифікації опорних точок відбувається точне прив'язування зображення за цими точками, підвищується точність розташування елементів кадру та виконується трансформування зображення в задану картографічну проекцію.

Хід роботи:

1. Запустіть Erdas Imagine. У в'ювер, завантажте растровий шар **Unreferenced.jpg** – це знімок без будь-якої прив'язки, завантажений із сайту GoogleMaps. Якщо з'явиться діалог запиту на побудову пірамід, натисніть **Yes**. Старайтеся завжди будувати піраміди, це значно пришвидшить роботу.

Запустіть **Multipoint Geometric Correction** (Багатоточкова геометрична корекція) із закладки **Multispectral/ Transform&Orthocorrect/ Control Points** (Мультиспектральний/ Трансформація&Ортокорекція/

Контрольні точки)



2. У списку моделей трансформування виберіть **Polynomial** (Поліноміальна) та натисніть **ОК**.

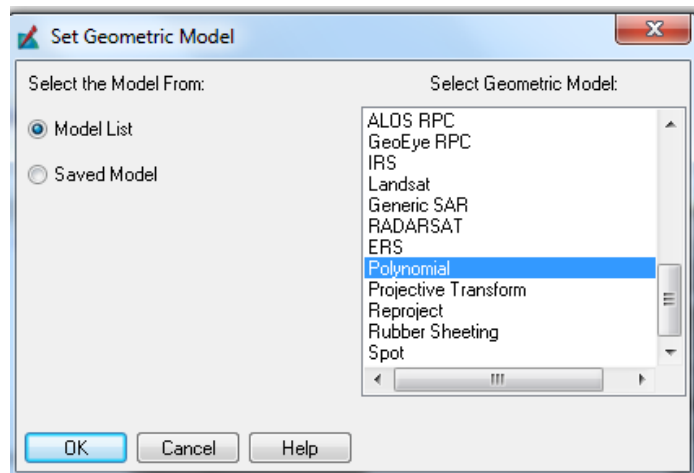


Рис. 5.1. Вибір геометричної моделі.

3. У верхній частині екрану з'явиться панель з інструментами геометричної корекції (*Multipoint Geometric Correction*), а в центрі – діалог для вибору джерела координат, по якому буде здійснюватись збір опорних точок (*GCP Tool Reference Setup*).

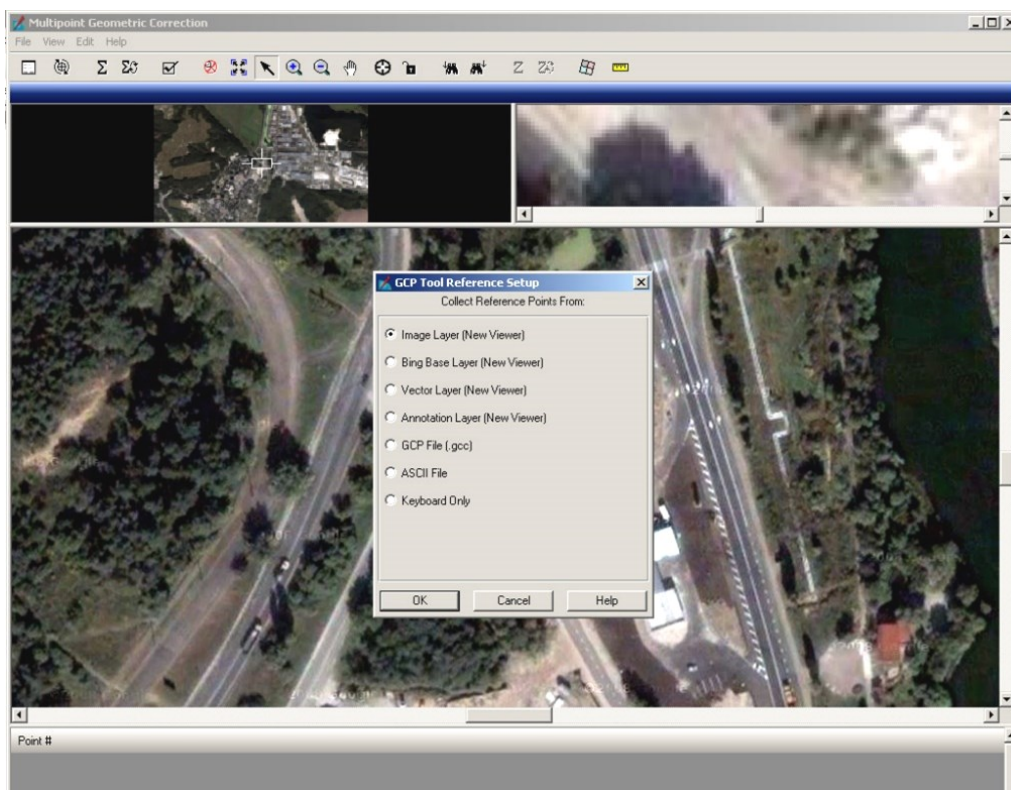


Рис. 5.2. Вибір джерела координат

У новому діалозі *GSP Tool Reference Setup*, необхідно вибрати джерело координат. У даній роботі виконується прив'язка знімка до знімку, тому в якості джерела опорних точок виберіть *Image Layer (New Viewer)* (Зображення у новому в'ювері) й натисніть **ОК**.

Виберіть знімок *Reference.tif* як опорне зображення (*reference image*). Натисніть **ОК**. З'явиться вікно (*Reference Map Information*), воно інформує Вас про системи координат опорного зображення (*Reference.tif*). Натисніть **ОК**.

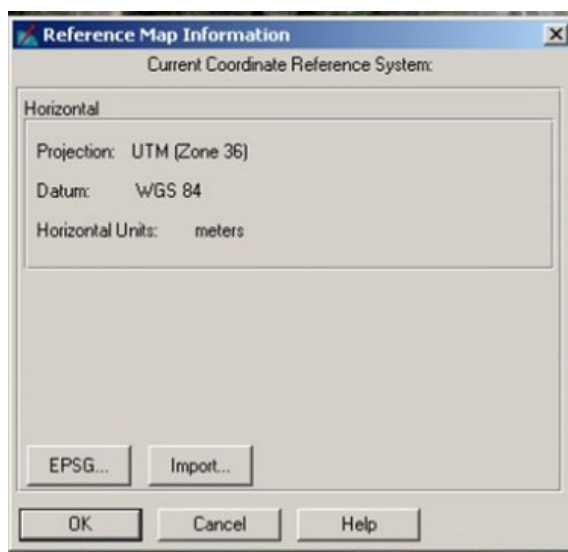


Рис. 5.3. Вікно опису системи координат опорного зображення

З'явиться вікно властивостей Поліноміальної моделі трансформування. Встановіть поліном *1-го ступеню*. Натисніть *Close* (*Закрити*).



Рис. 5.4. Вибір поліному трансформування

Erdas IMAGINE відкриє та організує на екрані в'ювер з опорним зображенням і додаткові в'ювери з збільшеними зображеннями основних в'юверів, а також *GCP Tool* (*Інструмент роботи з опорними точками*).

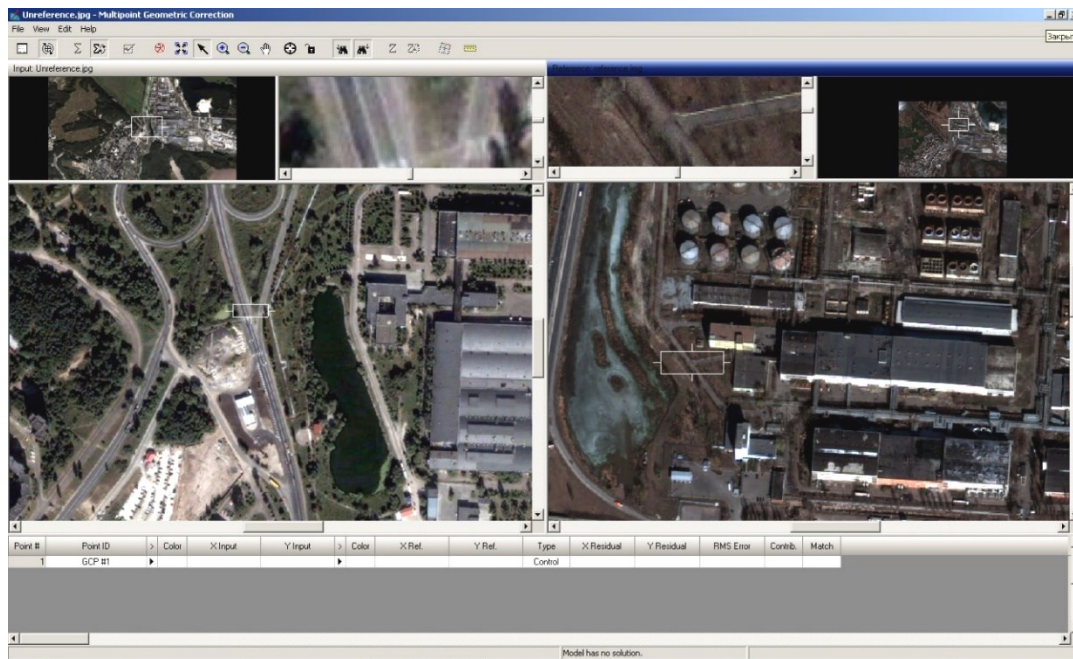



Рис. 5.5. Вікно роботи з опорними точками

4. Під час відкриття редактора опорних точок *Multipoint geometric Correction* по замовчанню буде вибрана кнопка  *Toggle Fully Automatic GCP Editing Mode* (Режим автоматичного редагування). Цей режим зручно використовувати для попередньої оцінки (прогнозу) місцеположення опорних точок і для уточнення відповідності опорних точок на вхідному (*Source*) та опорному (*Referenced*) знімку.

5. Перемістіть зв'язуючі рамки в обох в'юверах таким чином, щоб вони покрили один і той же об'єкт на обох знімках (наприклад, добре видимий кут загорожі).

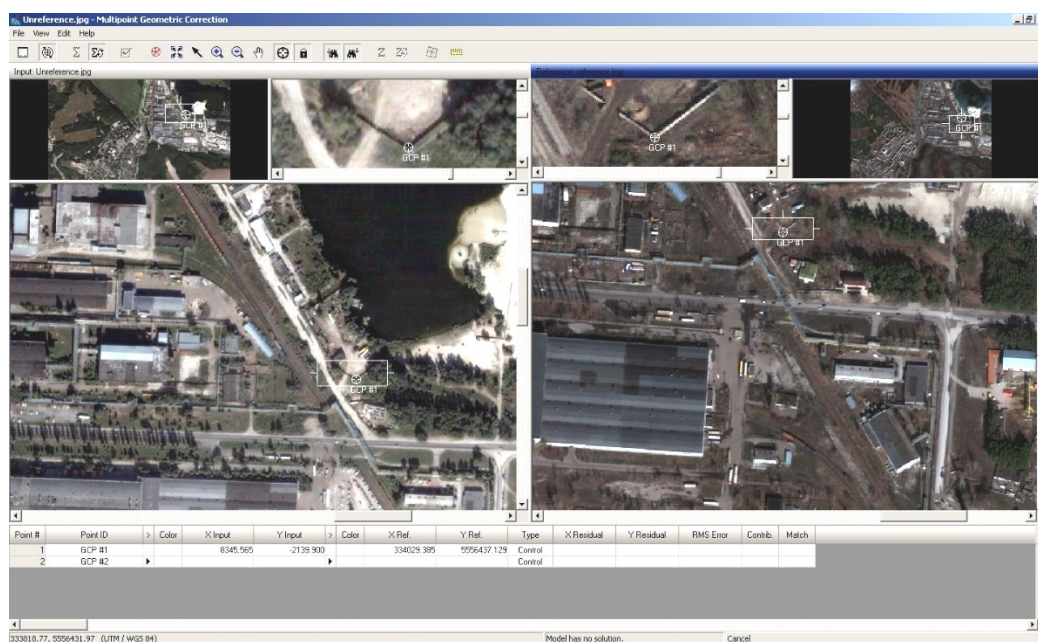


Рис. 5.6. Вибір точок

Натисніть кнопку **Create GCP**  (Створити опорну точку). Тепер натисканням миші розмістіть відповідні точки в обох збільшуваних вікнах в'юверів.

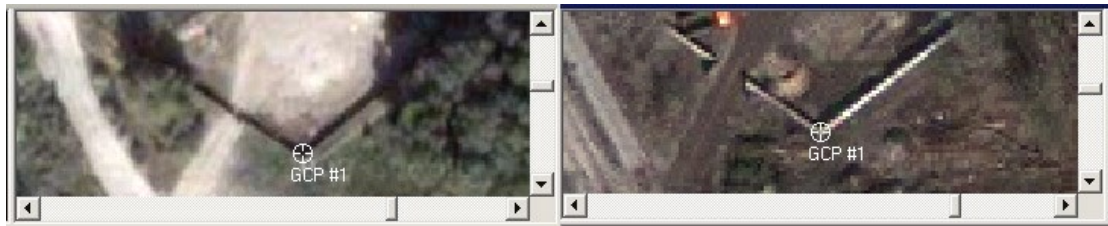



Рис. 5.7. Приклад вибраної точки

Як тільки це зроблено, можна перейти до розпізнавання наступного об'єкту на знімках. Після вводу трьох опорних точок, при натиснутій кнопці  **Toggle Fully Automatic GCP Editing Mode**, Erdas IMAGINE при введенні опорної точки в одному вікні в'ювера автоматично визначить приблизне (ймовірне) місцеположення цієї точки у другому в'ювері.

6. Змініть колір маркерів опорних точок з білого на будь-який інший. Для цього клацніть прямокутник кольору (**Color**) в таблиці опорних точок та виберіть новий колір для окремої опорної точки або виберіть декілька рядків (тобто точок) й встановіть колір для всіх вибраних.

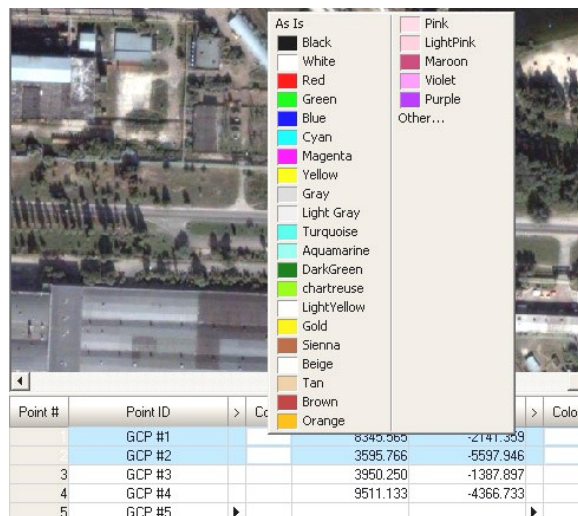


Рис. 5.8. Вибір кольору для точок

7. По аналогії з першою, наберіть ще 8 опорних точок. Постарайтесь розмістити їх рівномірно по всьому знімку. У редакторі опорних точок можливо видаляти і редагувати опорні точки. Для видалення точки виберіть відповідний рядок в таблиці, а потім використайте функцію контекстного меню рядків **Delete Selection** (Видалити вибране), натиснувши праву кнопку миші на першому стовбці **Point#**.

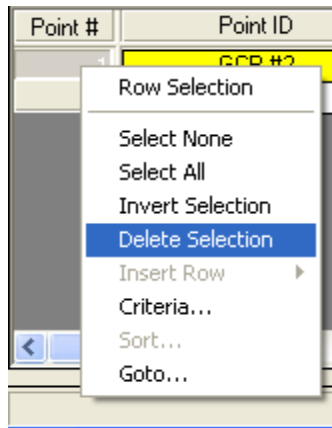


Рис. 5.9. Видалення точки

8 Оцініть матрицю трансформування. Для цього перетворіть деякі опорні (**GCP**) точки із опорних (**Control**) в контрольні (**Check**). Їх різниця в тому, що контрольні точки не використовуються при обрахунку матриці трансформування, що дозволяє використовувати контрольні точки для незалежної оцінки точності трансформування по величині помилки контрольних точок (**RMS error**) та середньоквадратичної помилки по всім ним (**Total**).

Виберіть будь-які чотири опорні точки в таблиці (вибрані точки підсвітяться бірюзовим). У меню редактора опорних точок виберіть **Edit/Set Point Type/Check** (Редагувати/Встановити точки/Контрольна). Вміст стовпця **Type** (Тип точки) зміниться.

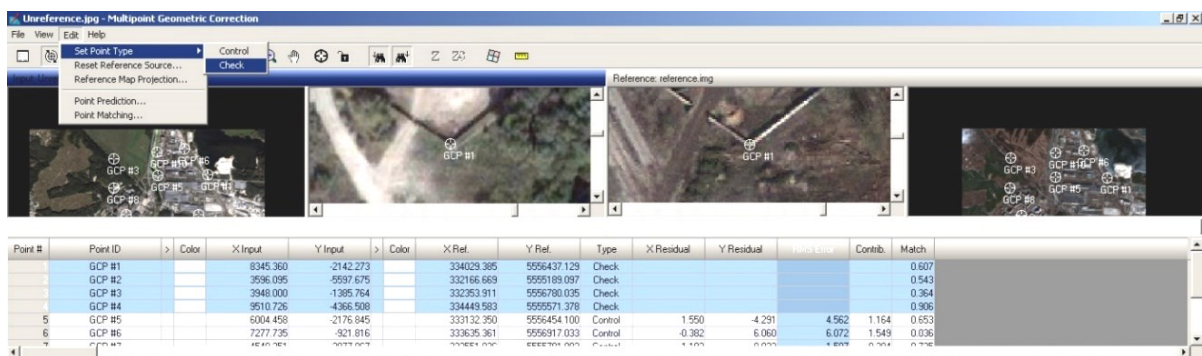



Рис. 5.10. Зміна типу точки

9. Натисніть кнопку  **Compute Error Check Points** (Обрахувати помилки для контрольних точок). Помилки опорних точок (**Control Point Error**) будуть замінені на помилки контрольних точок (**Check Point Error**). Для того, щоб знову переглянути помилки опорних точок, натисніть кнопку

Σ Solve Geometric Model with Control Points (Розрахувати модель за контрольними точками) – значення **Total RMS** зміниться.


Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	Color	X Ref	Y Ref	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib	Match
	GCP #1		8345.360	-2142.273		334029.385	5556437.129	Check					
	GCP #2		3596.095	-5957.675		332166.669	5555189.097	Check	-2.994	10.216	10.646	0.772	0.607
	GCP #3		3948.000	-1385.764		332353.911	5556780.035	Check	0.050	1.417	1.418	0.103	0.543
	GCP #4		9510.726	-4366.508		334449.583	5556571.378	Check	5.005	-22.574	23.122	1.676	0.364
5	GCP #5		6004.458	-2176.845		333132.350	5556454.100	Control					
6	GCP #6		7277.735	-921.816		333635.361	5556917.033	Control					
7	GCP #7		4548.351	-2877.367		332551.026	5555791.803	Control	-1.183	0.933	1.507	0.394	0.725

Рис. 5.11. Обрахунок точності

10. Якщо середньоквадратична помилка дуже велика, Ви можете видалити опорну точку з найбільшою помилкою. Для цього вибирають точку (рядок у таблиці) та використовують функцію **Delete Selection (Видалити виділене)** із контекстного меню. Ви можете видалити та створювати нові точки, доки середньоквадратична помилка не стане допустимою. Трансформування поліномом першого ступеню потребує використання, як мінімум, 3-х опорних точок.

Під час редагування опорних точок слід пам'ятати, що більша помилка точки (RMS Error) вказує лише на те, що задане перетворення не може точно сумістити точку з опорною, що частіше вказує на помилку введення. Якщо Ви абсолютно впевнені, що положення в обох в'юверах правильне, то таке положення точок повинне залишатися незмінним, не дивлячись на велику величину помилки в цій точці.

11. Коли Ви досягнете бажаної точності опорних точок, збережіть їх. Для цього виберіть **File/Save Input As (Файл/Зберегти вхідні точки у новий файл)**, потім **File/Save Reference As (Файл/Зберегти опорні точки у новий файл)**.

12. На панелі інструментів геокорекції (**Multipoin Geometric Correction**) натисніть кнопку **Display Resample Image Dialog** . У новому вікні **Resample (Передискретизація)** задайте ім'я вихідного файлу **xrectify.img**. Вкажіть метод білінійної інтерполяції (**Bilinear Interpolation**) у рядку **Resample Method (Метод Передискретизації)**. Включіть прапорець **Ignore Zeros (Ігнорувати нулі при розрахунку статистики)**. Переконайтесь, що інформація про проекції є у лівій частині діалогу.

Встановіть галочку навпроти *Force Square Pixels on reprojection* (Примусово робити пікселі квадратними при передискретизації) Натисніть **ОК**, щоб почати трансформування.

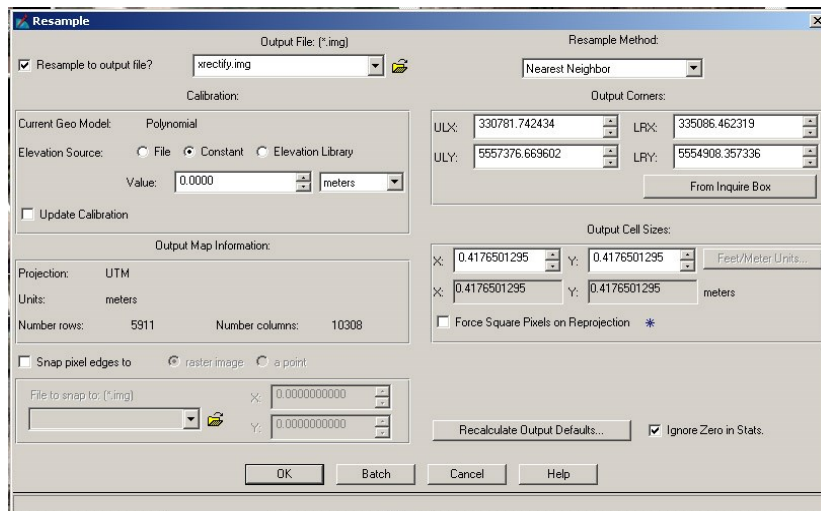


Рис. 5.12. Вікно передискретизації

13. Після завершення процесу, натисніть *Close* у вікні з рядком стану процесу. Закрийте вікна інструменту геокорекції (*Multipoint Geometric Correction*) кнопкою *File/Exit* (*Vuxid*). Якщо ви вносили якісь зміни до редактора опорних точок після останнього збереження, вам буде запропоновано їх зберегти. Натисніть *Yes* (*Так*) для збереження поточної моделі та назвіть її **xrectify.gms**.

Далі будуть запити на збереження вхідних та опорних точок безпосередньо в структуру файлів відповідно вхідного та опорного, обидва

рази натисніть *Yes*. За допомогою інструмента *Clear View* (Очистити в'ювер) на закладці *Home*, видаліть із в'ювера всі шари. Відкрийте у в'ювер **Reference.tif** та трансформований Вами знімок **xrectify.img**.

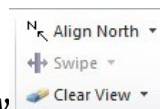




Рис. 5.13. Порівняння знімків.

14. Застосовуючи інструмент *Swipe* (*Шторка*), оцініть результати трансформування.

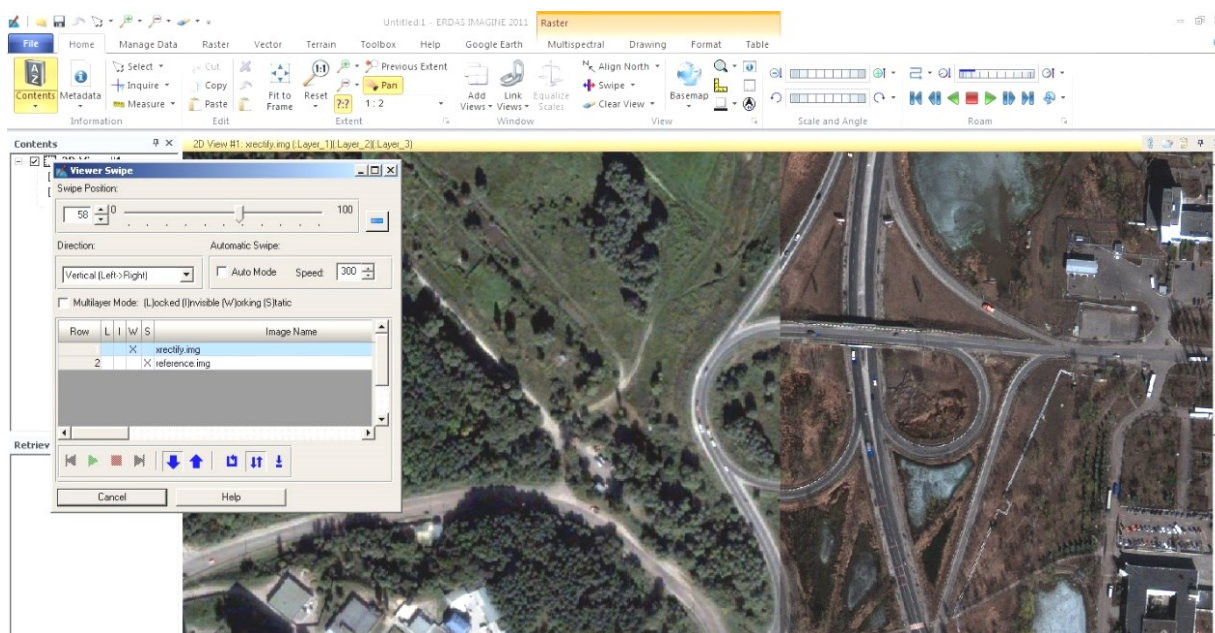


Рис. 5.14. Використання інструменту шторка.

Самостійно. Завантажте модель виконаної вами геокорекції *xrectify.gms*. У вікні властивості моделі трансформування виберіть поліном 3-го ступеню. Запустіть *Resample* (*Передискретизація*). Порівняйте результати з попередньою трансформацією (поліном 1-го ступеня).



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно:

1. Надайте результати точності прив'язки знімка у вигляді скріню таблиці помилок опорних точок;

2. За допомогою інструмента шторка покажіть результат прив'язки знімка;

3. Порівняйте результати трансформацій знімків поліномом 1-го та 3-го ступеня;

4. Дайте відповіді на такі питання:

а) геометрична корекція зображення, необхідні дані для виконання цього процесу;

б) моделі трансформування космічних знімків. Опорні та контрольні точки, їх роль у процесі трансформування;

в) трансформування зображення методом полінома першого ступеня.

Лабораторна робота № 6. Ортотрансформування знімків з використанням опорних точок, RPC-коефіцієнтів та цифрової моделі рельєфу

Мета: навчитися створювати геометрично коректне зображення з врахуванням поправок за рельєф, планових координат та математичної моделі камери супутника.



Вихідні дані: папка **Lab6**.

- Набір супутникових даних – папка **052233229010_01_P001_PSH** (оригінальні дані від постачальника, знімок зі супутника *Quickbird* м.Алушта від 23.04.2009, продукт *PSM Ortho-Ready*, тобто готовий до орторектифікації), файл самого знімку - **09APR23085146-S2AS-052233229010_01_P001.TIF** (розмір 792 Мб).

- Дані рельєфу **SRTM relief_utm.img**.
 - Набір опорних точок **GCP_from_field.txt**.
 - Абрис опорних точок **abris1-4.jpg**.
 - Схема розміщення опорних точок **abris_all.jpg**.
-

Ортотрансформування – це геометричне перетворення космознімка, в ортогональну проекція. У процесі такого геометричного перетворення виправляються спотворення зображення, зумовлені нахилом площини знімка та рельєфом місцевості.

Rational Polynomial Coefficients (RPC) є простішими емпіричними математичними моделями, які зв'язують координати зображення (положення рядка та стовпця) з широтою та довготою з використанням висоти поверхні місцевості. Ці коефіцієнти обчислюються супутниковою компанією на основі орбітального положення та орієнтації супутника і точної фізичної моделі датчика. Таким чином вони забезпечують компактне представлення геометрії від землі до зображення.

Модель RPC, якими забезпечене супутникове зображення може бути вдосконалена за допомогою опорних точок.

Хід роботи:

1. Запустіть Erdas Imagine. Завантажте у в'ювер вхідний знімок **09APR23085146-S2AS-052233229010_01_P001.TIF**. Із тематичного меню **Raster/Multispectral (Растр/ Мультиспектральний)** запустіть інструмент **Control Points (Контрольні точки)**.

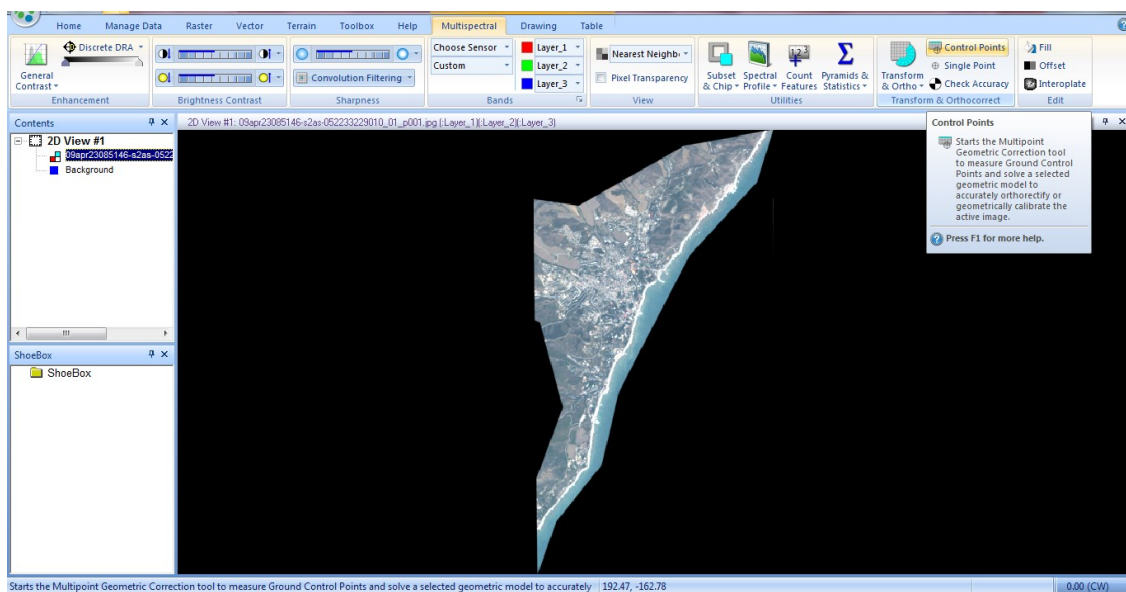


Рис. 6.1. Вибір інструменту створення контрольних точок.

З'явиться діалогове вікно вибору геометричної моделі трансформування. Із списку виберіть геометричну модель **Quickbird RPC**. Натисніть **OK**.

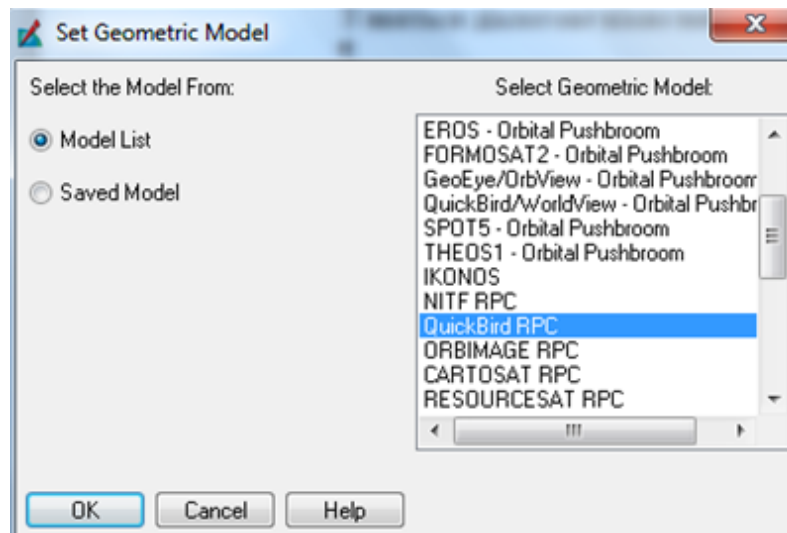


Рис. 6.2. Вибір геометричної моделі трансформування

Наступне діалогове вікно запропонує вам вибрати метод набору опорних точок. Виберіть **Keyboard Only** (Лише клавіатура). Натисніть **OK**.

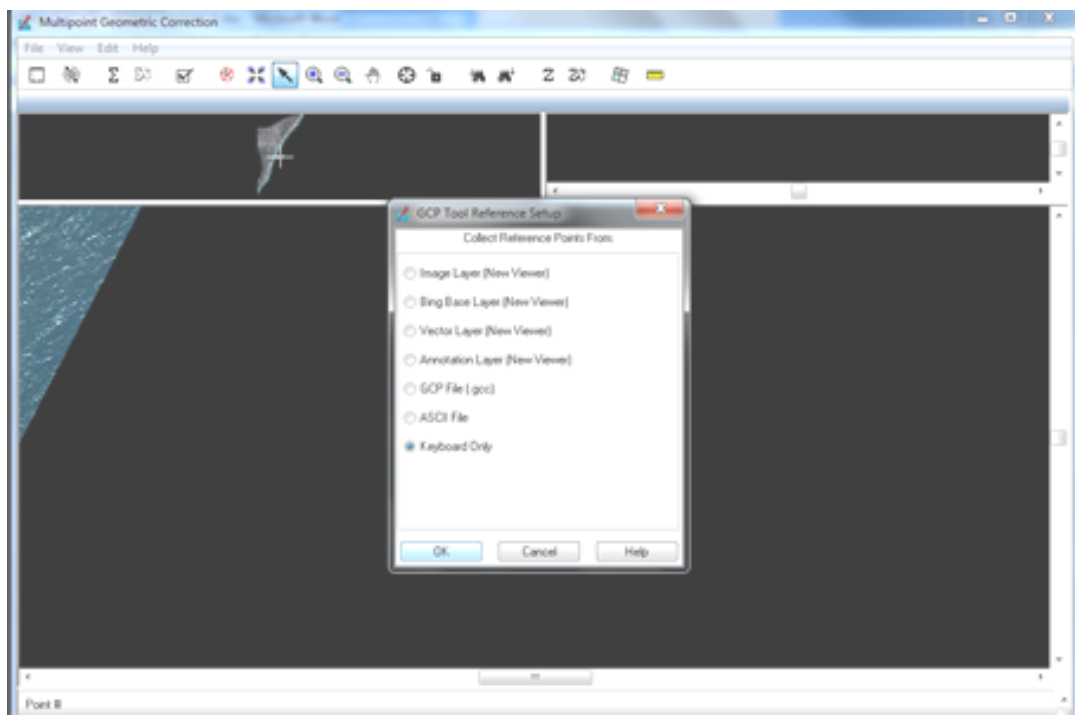


Рис. 6.3. Вибір способу створення контрольних точок

У наступному діалоговому вікні **Reference Map Information** (Інформація про прив'язку) встановіть систему координат **UTM WGS84 Zone 36 N**. Натисніть **OK**.

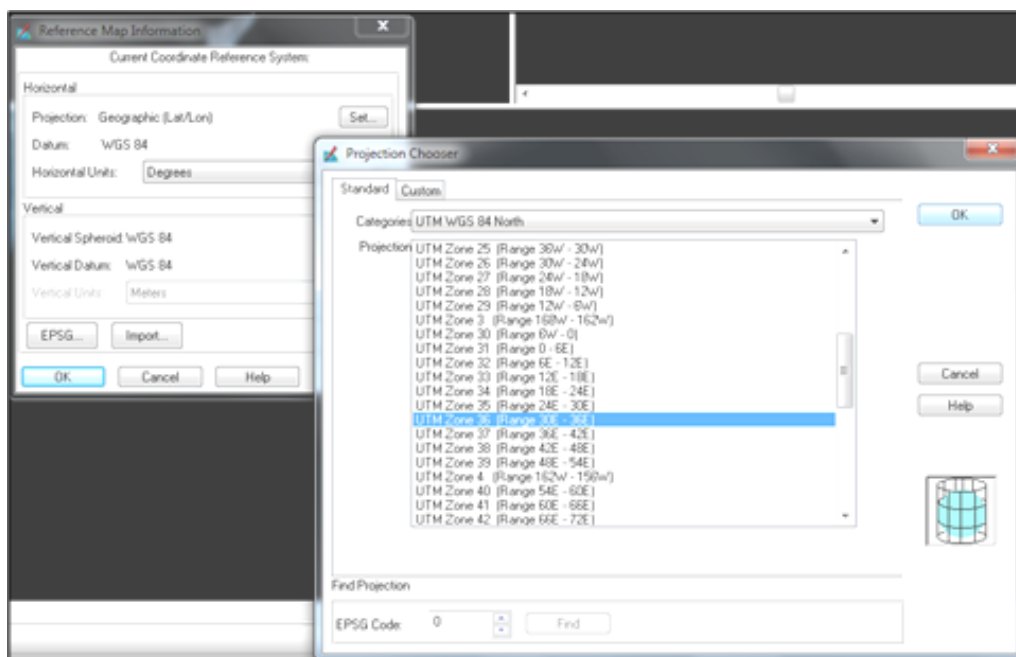


Рис. 6.4. Вибір проєкції

2. У вас на екрані з'явиться діалогове вікно **Quickbird RPC Model Properties** (Властивості моделі супутника Quickbird). Переконайтесь, що файл RPC- коефіцієнтів автоматично завантажився в поле **RPC file**.

Встановіть ступінь поліноміальної трансформації «1». Підключіть в якості джерела рельєфу для даної території файл **relief_utm.img**.

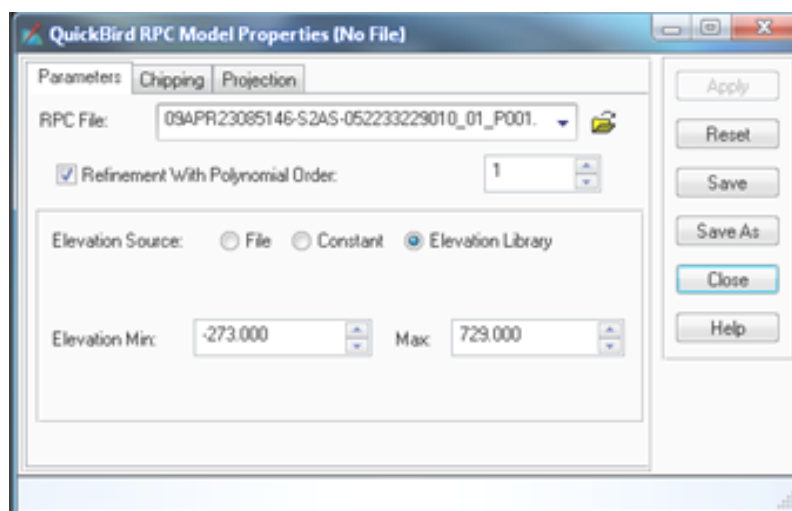


Рис. 6.5. Вікно властивостей RPC моделі супутника Quickbird

Переконайтесь, що в закладці **Projection** (Проекція) встановлена система координат **UTM WGS84 Zone 36N**. Потім натисніть **Apply** (Застосувати) і **Close** (Закрити).

3. Розверніть вікно набору опорних точок на весь екран.

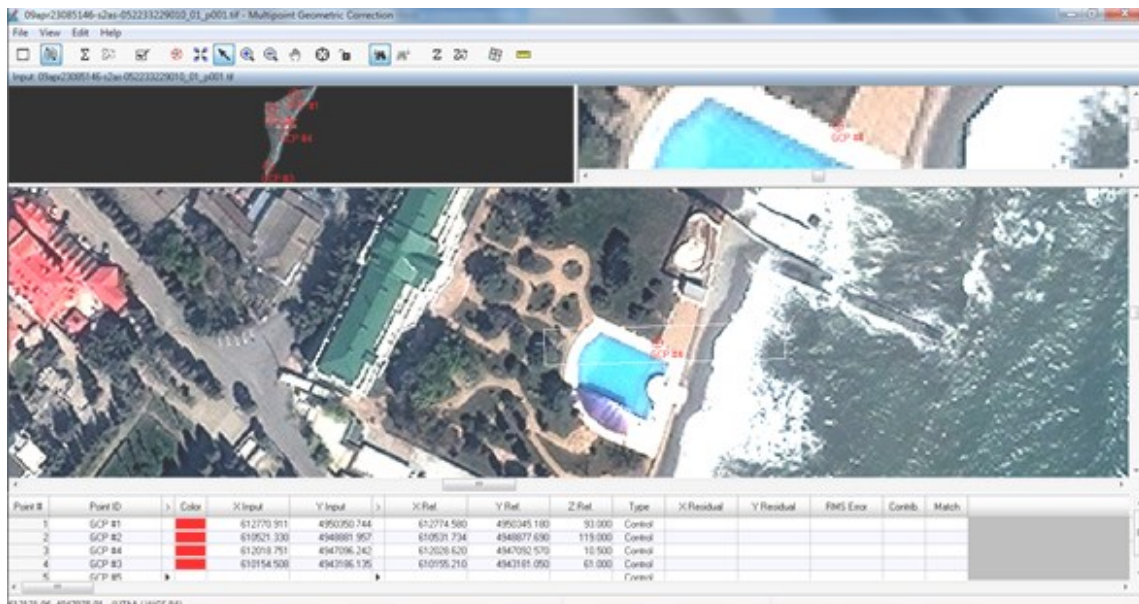




Рис. 6.6. Створення контрольних точок на знімку

Використовуючи абрис опорних точок, а також текстовий файл **GCP_from_field.txt**, складений за матеріалами польових робіт, наберіть п'ять опорних точок. Для цього використовуйте інструмент **Create GCP** (Створити GCP). Введіть планові координати (X, Y) та координату висоти (Z).

4. За допомогою інструменту **Solve Geometric Model with Control Points** (Розв'язок геометричної моделі з контрольними точками)  оцініть точність введених даних.

На панелі інструментів геокорекції (**Multipoint Geometric Correction**) натисніть кнопку **Display Resample Image Dialog**  (Відобразити діалогове вікно ресемплінгу зображення).

5. У новому вікні **Resample** (Передискретизація) задайте ім'я вихідного файлу **ortho_final.img**, вкажіть метод найближчого сусіда (**Nearest Neighbour**) у рядку **Resample Method** (Метод Передискретизації). Включіть прапорець **Ignore Zeros** (Ігнорувати нулі при розрахунку статистики). Переконайтесь, що інформація про проєкції є у лівій частині діалогу.

Встановіть розмір пікселя 50 см, поставте галочку навпроти **Force Square Pixels on reprojection** (Примусово робити пікселі квадратними при передискретизації) Натисніть **OK**, щоб почати ортотрансформування.

6. Після завершення процесу, натисніть **Close** (Закрити) в вікні з рядком стану процесу. Закрийте вікна інструменту геокорекції (**Multipoint**

Geometric Correction) кнопкою **File/Exit (Exit)**. Якщо ви вносили якісь зміни до редактору опорних точок після останнього збереження, вам буде запропоновано їх зберегти. Натисніть **Yes (Так)** для збереження поточної моделі та назвіть її **model.gms**.

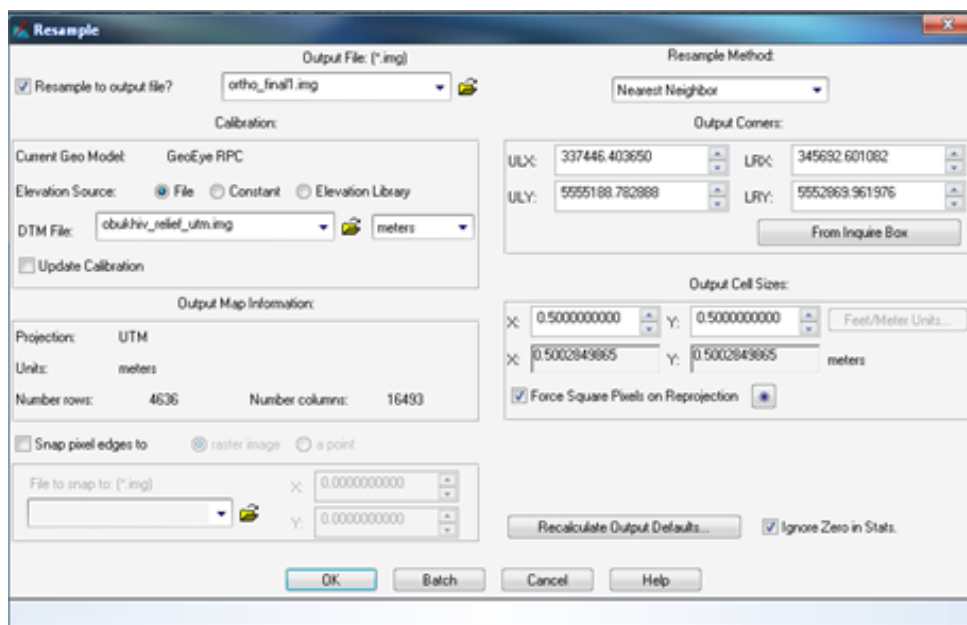
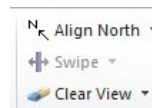


Рис. 6.7. Вікно параметрів перетворення зображення

Далі будуть запити на збереження вхідних й опорних точок безпосередньо у структуру файлів відповідно вхідного та опорного, обидва

рази натисніть **Yes**. За допомогою інструменту **Clear View** (Очистити в'ювер) у закладці **Home**, видаліть із в'ювера всі шари.



7. Підключіть у в'ювер **09APR23085146-S2AS-052233229010_01_P001.TIF** та трансформований Вами знімок **ortho_final.img**. Відчуйте різницю.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно:

1. Зробити трансформування зображення з другим ступенем полінома за описаним порядком робіт;
2. Дати відповіді на контрольні питання:
 - а) структура файлу RPC поліномів, їх призначення;
 - б) рівні оброблення даних дистанційного зондування;
 - в) дані рельєфу SRTM, джерела отримання.

Лабораторна робота № 7. Злиття зображень з різним розрізненням, pan sharpening

Мета: навчитися підвищувати якість мультиспектрального зображення за рахунок панхроматичного знімку високої роздільної здатності.

! **Вихідні дані:** вирізані фрагменти знімку Landsat мультиспектральний та панхроматичний.

Паншарпенінг (від англ. «Panchromatic sharpening» або «pan sharpening») – процес, що дозволяє отримати з панхроматичного та мультиспектрального каналів двох продуктів одне зображення. Панхроматичний канал, як правило, має більш високе просторове розрізнення, мультиспектральний – нижче. В результаті злиття каналів виходить кольорове зображення з високою роздільною здатністю.

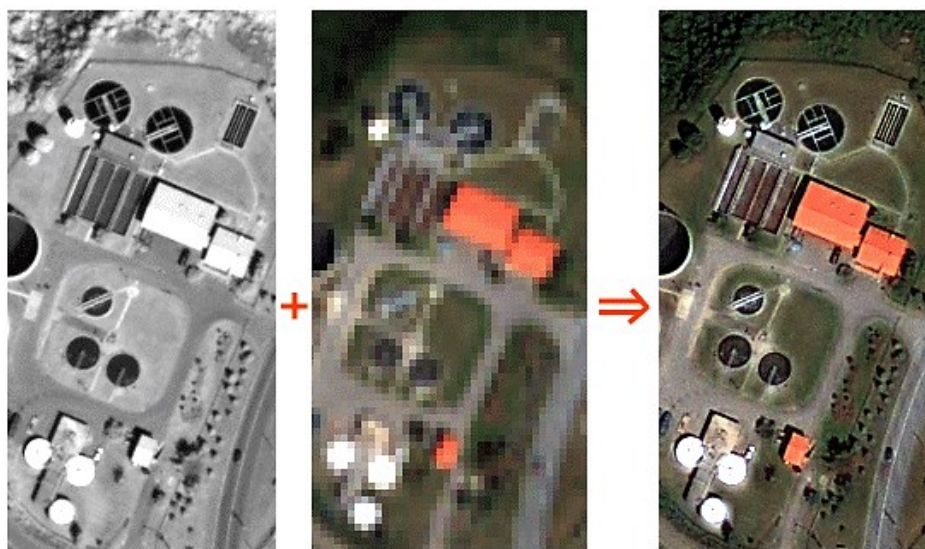


Image source: QuickBird. (C) DigitalGlobe

Рис. 7.1. Приклад паншарпенінгу зображення

Хід роботи:

1. У В'ювер завантажте обидва створених вами фрагменти знімка. У закладці **Raster** виберіть **Pan Sharpen/Resolution Merge** (Пан Шарпенінг/Злиття розрізень).

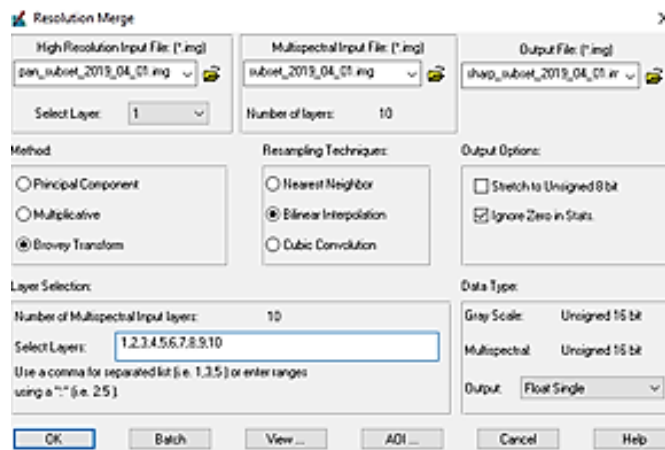


Рис. 7.2. Параметри злиття зображень

2. У якості вхідного файлу з високим розрізненням (*High Resolution Input File*) виберіть фрагмент, вирізаний з восьмого каналу, в якості багатоспектрального вхідного файлу (*Multispectral Input File*) – фрагмент, вирізаний з синтезованого знімку. Введіть ім'я вихідного файлу.

3. У блоці опцій *Method* (Метод злиття) виберіть *Brovey Transform*. У секції *Resampling Technique* (Алгоритм передискретизації) виберіть *Bilinear Interpolation* (Білінійна Інтерполяція). У секції *Output Options* включите прапорець *Ignore Zero in Stats*. (Ігнорувати нульові значення при розрахунку статистики). У полі *Select Layers* проставте всі мультиспектральні канали через кому (у вас їх десять), а в полі *Output* блоку *Data Type* вкажіть *Unsigned 16 bit*. Натисніть *OK*, почнеться процес злиття.

4. Порівняйте знімки за допомогою інструменту *Swipe* (шторка), що знаходиться у вкладці *Home*.

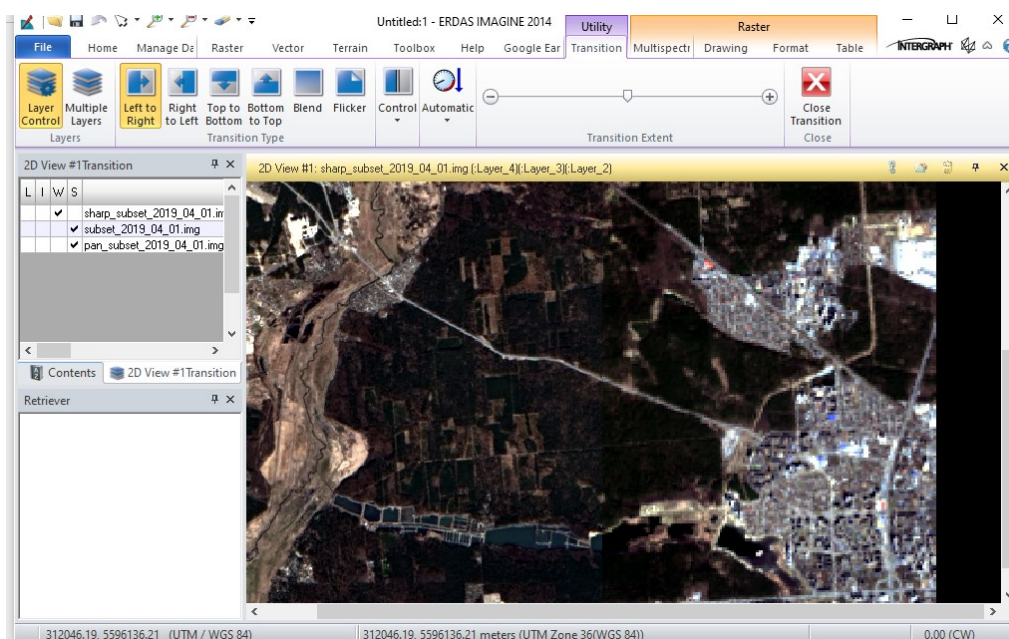


Рис. 7.3. Порівняння знімків через інструмент шторка

5. Дослідіть параметри нового зображення за допомогою інструменту *Metadata* у вкладці *Home*.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно:

1. порівняти знімки за допомогою інструменту шторка;
 2. дати відповіді на такі питання:
 - а) переваги та недоліки методу паншарпенінг;
 - б) методи злиття зображень.
-

Лабораторна робота № 8. Некерована класифікація знімків (Unsupervised Classification)

Мета: навчитися виконувати некеровану класифікацію знімків.

Класифікацією знімків називають процес розбиття пікселів неперервного растрового зображення на категорії на основі їх спектральних значень, в результаті чого кожному пікселю присвоюється нове значення.

Алгоритми некерованої класифікації (їх часто називають алгоритмами кластеризації) застосовують за відсутності апріорної інформації про об'єкт зйомки. Кластерний аналіз дозволяє виділяти контури з неконтрастною по спектральній яскравості структурою, наприклад рослинність, відкриті ґрунти, воду, хмари та інші об'єкти. З використанням алгоритмів кластеризації виконується автоматичне розділення зображення на групи пікселів, подібних за спектральним характеристикам (кластери). Ці алгоритми потребують мінімум початкової інформації (число класів, кількість ітерацій).

Для формування кластерів можна застосовувати, наприклад, критерій мінімальної спектральної відстані до центрів кластерів. Ітераційний процес кластеризації починається з довільно вибраних центрів для наперед заданої кількості кластерів (класів). Після визначення належності всіх пікселів до одного з класів центри кластерів переобчислюють, і процес класифікації повторюють відповідно до нових координат центрів кластерів та відстані пікселів до них в просторі ознак.[3]

Вам пропонується два види некерованої класифікації K-means та ISODATA. Використайте будь-який з них для своєї роботи. Для прикладу розглянемо K-means.

8.1. Некерована класифікація знімків у програмі Erdas Imagine

1. На головній панелі Erdas Imagine виберіть **Classifier/Unsupervised Classification** (Класифікація/Некерована класифікація).

2. У діалоговому вікні **Unsupervised Classification** виберіть вхідний файл (**Input Raster File**) фрагмент вашого знімку після виконання процедури паншарпенінгу. Ім'я вихідного тематичного зображення та шлях збереження вкажіть у полі **Output Cluster Layer**.

3. Введіть кількість класів (**Number of classes**) 10. Натисніть кнопку **Initializing Options** (Початкові параметри).

4. Натисніть кнопку **Color Scheme Options** (Вибір схеми передачі кольорів). Включіть прапорець **GrayScale** (Відтінки сірого). Ця опція дозволить створити напівтонове зображення. Закрийте діалог.

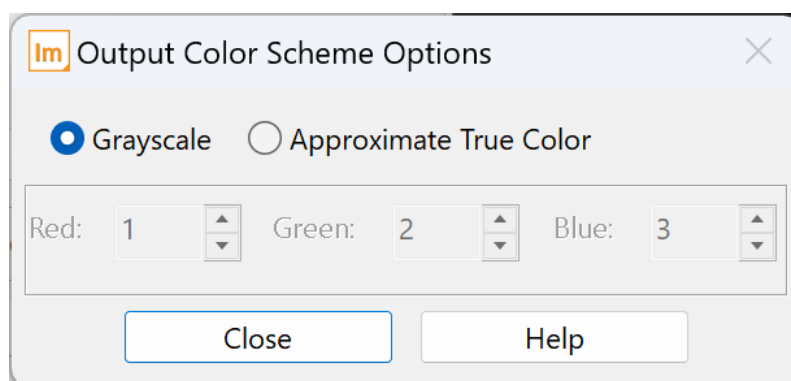


Рис. 8.1. Вибір каналів для відображення

5. У діалозі **Processing Options** (Параметри процесу) встановіть максимальне число ітерацій (**Maximum Iterations**) рівне 25. Можливо, це дещо збільшить час виконання завдання, зате кількість ітерацій не стане обмеженою та дозволить класифікувати зображення з точністю, що відповідає заданому вами порогу сходимості.

Поріг сходимості (**Convergence Threshold**) це процент пікселів, які не змінили своєї належності до певного класу при виконанні останньої ітерації. Цей поріг є показником достатнього ступеню стійкості отриманого результату. При встановленні значення 0.95-0.98, чи 95%, 98% пікселі

зображення не змінили належності до класу при переході до наступної ітерації, процес можна завершити.

6. Залиште запропонований по замовчужанню поріг сходимості (*Convergence Threshold*) або збільште його.

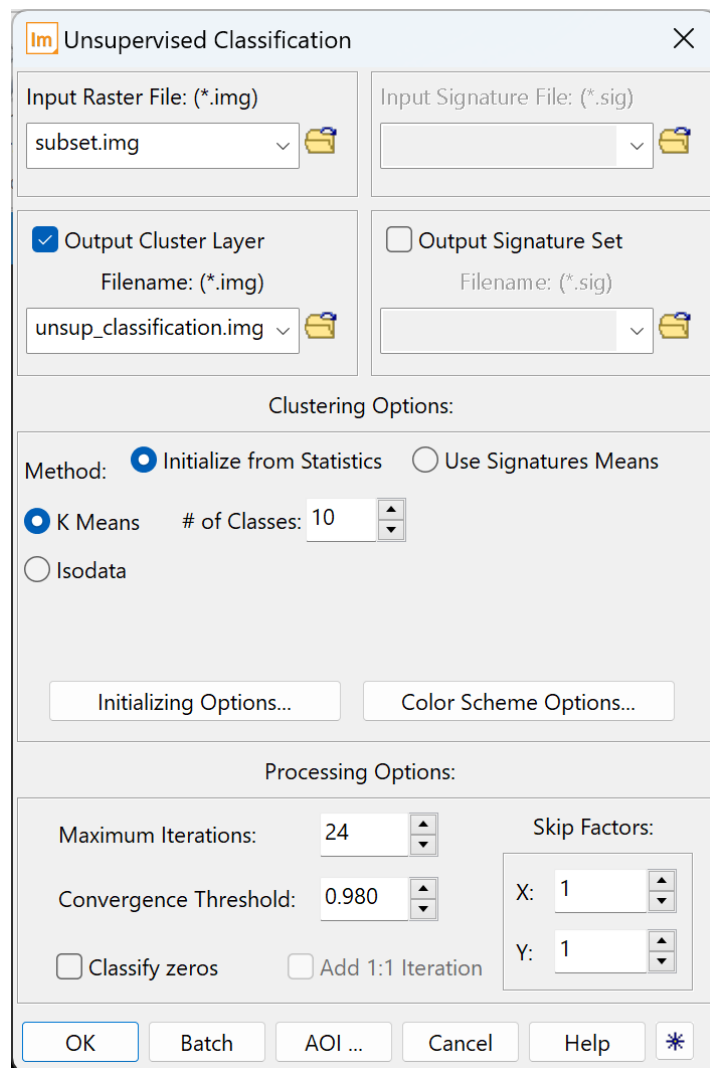


Рис. 8.2. Вибір параметрів класифікації

7. Натисніть **OK**. Перед вами з'явиться вікно стану процесу, в якому ви зможете відслідкувати номер поточної ітерації та величину сходимості.

8. Відкрийте у новому в'ювері створений вами класифікований файл. В меню відкрийте **Raster/Table/Show Attributes...** (*Растр / Таблиця/ Показати атрибути...*). Переконайтеся, що вам вдалося створити бажану кількість тематичних класів.

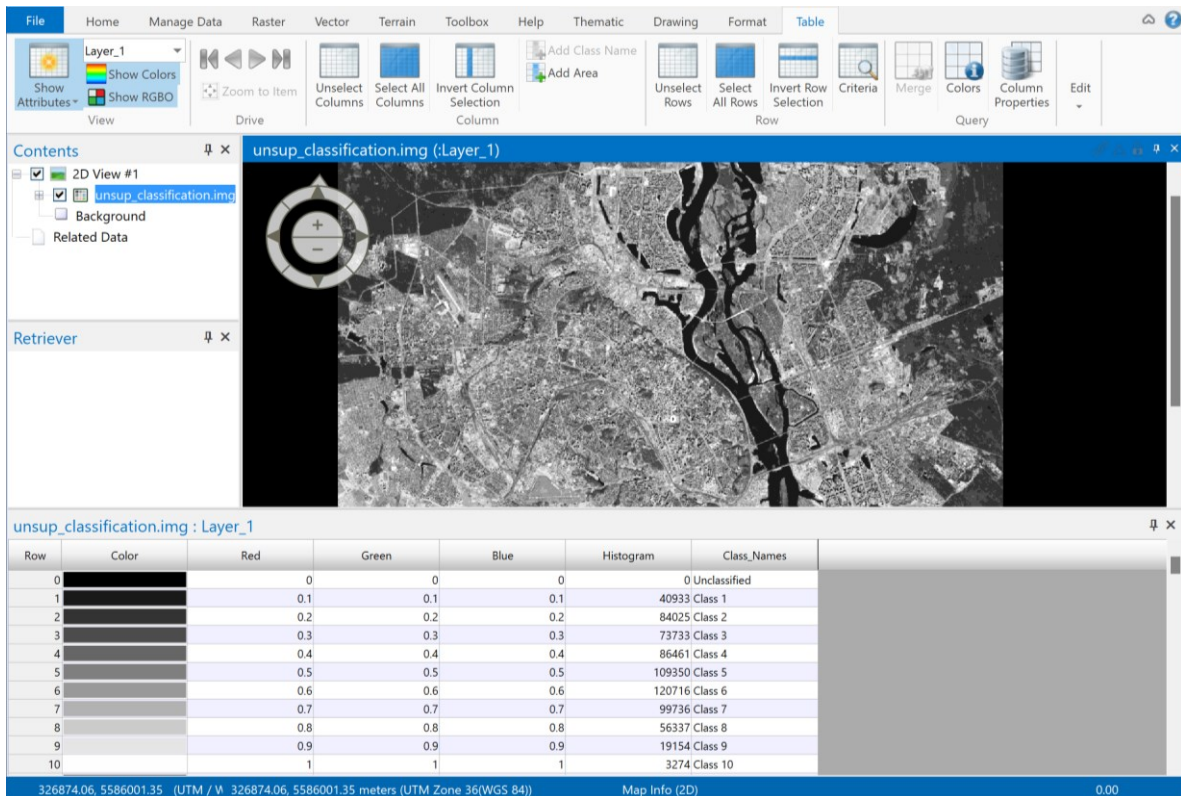


Рис. 8.3. Результат некерованої класифікації

9. Перш ніж аналізувати класи, у таблиці потрібно створити колонку **Opacity** (Непрозорість) та поставити для всіх класів значення нуль. У вкладці **Table** оберіть функцію **Column Properties** (Властивості стовпця) та через кнопку **New** додайте нову колонку та задайте назву **Opacity**. За допомогою цієї колонки ви зможете візуально дослідити якому класу об'єктів на місцевості належать пікселі класифікованих класів зображення.

У таблиці растрових атрибутів оберіть стовпець **Opacity** (Непрозорість), клацніть правою кнопкою миші та виберіть **Formula** (Формула). Відкриється нове діалогове вікно, введіть 0 у полі **Formula**, а потім натисніть **Apply** (Застосувати). Закрийте вікно формули.

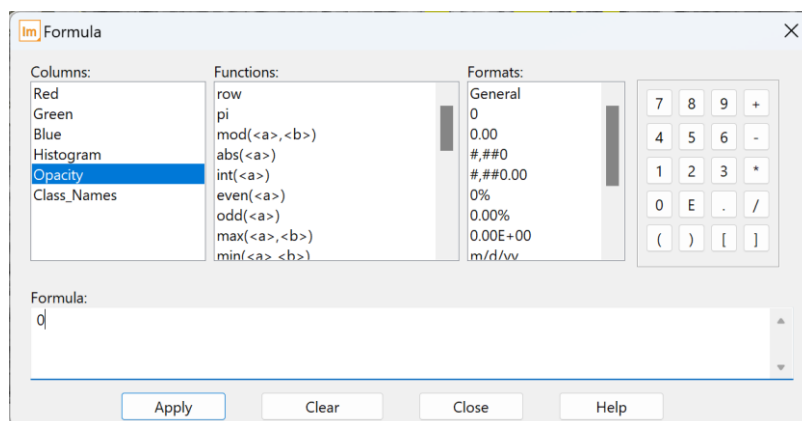


Рис. 8.4. Вікно формули

10. У таблиці атрибутів растру виберіть рядок, що відповідає 1 класу (*Class 1*), у колонці *Opacity* навпроти нього поставте значення 1 та змініть колір (*Color*) на жовтий (або будь-який інший яскравий колір). Пікселі, що належать цьому класу, одразу змінять колір на обраний вами і ви можете визначити якому класу земельного покриття він належить. Змініть назву класу на визначену вами у колонці *Class_Names*, значення у колонці *Opacity* змініть на 0. Виконайте цей процес до всіх інших класів.

The screenshot shows a GIS application window titled 'unsup_classification.img (:Layer_1)'. The main view displays a satellite-style map with several yellow-colored areas. Below the map is a table with the following data:

Row	Color	Red	Green	Blue	Histogram	Opacity	Class_Names
0	Black	0	0	0	0	0	0 Unclassified
1	Yellow	1	1	0	40933	1	1 Class 1
2	Dark Gray	0.2	0.2	0.2	84025	0	0 Class 2
3	Medium Gray	0.3	0.3	0.3	73733	0	0 Class 3
4	Light Gray	0.4	0.4	0.4	86461	0	0 Class 4
5	Very Light Gray	0.5	0.5	0.5	109350	0	0 Class 5
6	White	0.6	0.6	0.6	120716	0	0 Class 6
7	Lightest Gray	0.7	0.7	0.7	99736	0	0 Class 7
8	Very Lightest Gray	0.8	0.8	0.8	56337	0	0 Class 8
9	White	0.9	0.9	0.9	19154	0	0 Class 9
10	Black	1	1	1	3274	0	0 Class 10

Рис. 8.5. Визначення класів пікселів

Якщо у вас виникають труднощі з ідентифікацією класів пікселів, використайте інструмент шторка (*Home/ Swipe*). Рухаючи повзунок ви можете побачити яким типам об'єктів місцевості належать дані пікселі та правильно назвати клас.

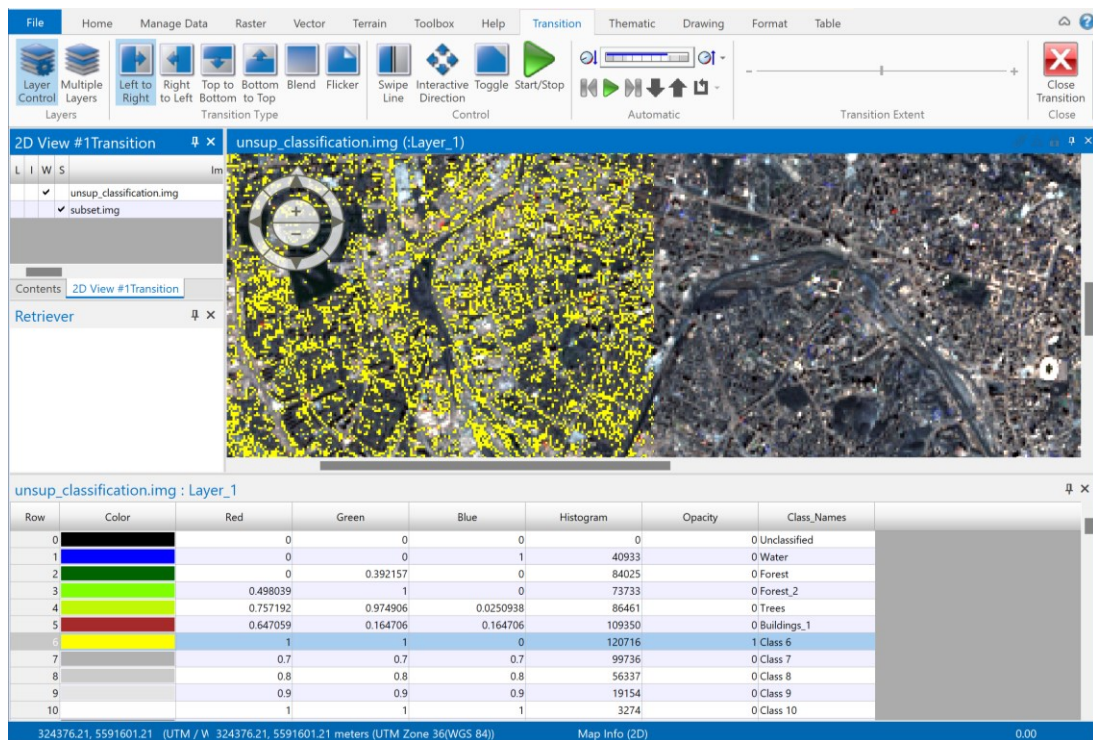


Рис. 8.6. Використання інструменту шторка

11. Визначте всі класи, виберіть колір та назвіть їх, заповніть всю таблицю.

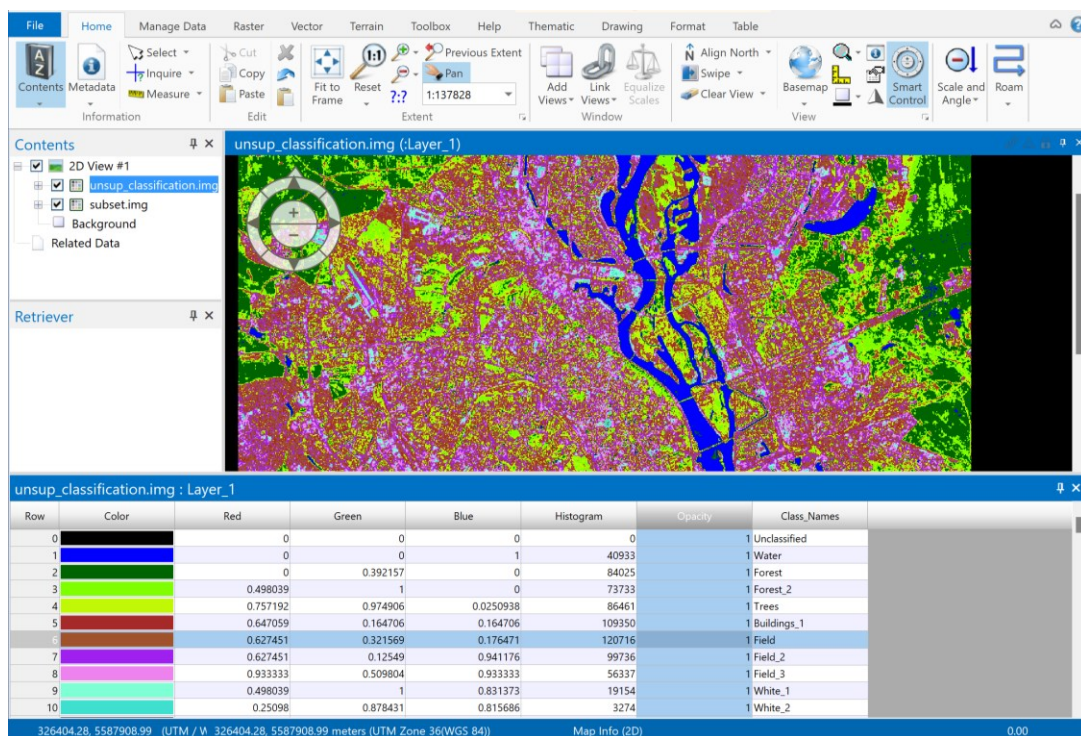


Рис. 8.7. визначені класи об'єктів місцевості

12. Наступним кроком є перекодування. Ця функція дозволяє призначити нове значення класу. Крім того, її можна використовувати для

об'єднання класів шляхом перекодування кількох класів на один той самий новий номер класу.

Натисніть вкладку **Raster/ Thematic/ Recode** (*Растр/ Тематичний/ Перекодувати*).

Відкриється діалогове вікно **Recode** (*Перекодування*), виберіть вхідний файл результат некерованої класифікації, а також задайте ім'я та шлях збереження для вихідного файлу.

13. Клацніть **Setup Recode** (*Налаштувати перекодування*), з'явиться вікно **Thematic Recode** (*Тематичне перекодування*), щоб вибрати рядки які потрібно об'єднати в один клас і задати номер класу. Кнопка **Change Selected Rows** (*Змінити вибрані рядки*) підтверджує зміну номеру класу.

Вихідні значення перекодування відображаються в стовпці **New Value** (*Нове значення*).

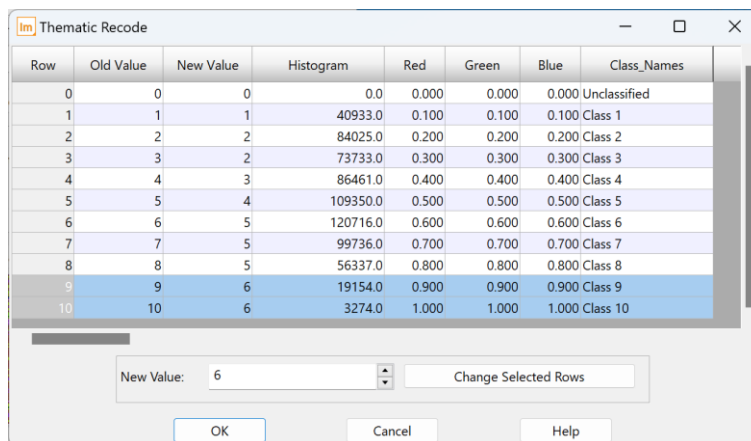


Рис. 8.8. Тематичне перекодування класів

14. Натисніть кнопку **OK** у вікні **Thematic Recode**, а потім натисніть кнопку **OK** у вікні **Recode**.

15. Відкрийте новий файл, а також відкрийте таблицю атрибутів. Налаштуйте колір на свій розсуд і напишіть назву класу або об'єкту.

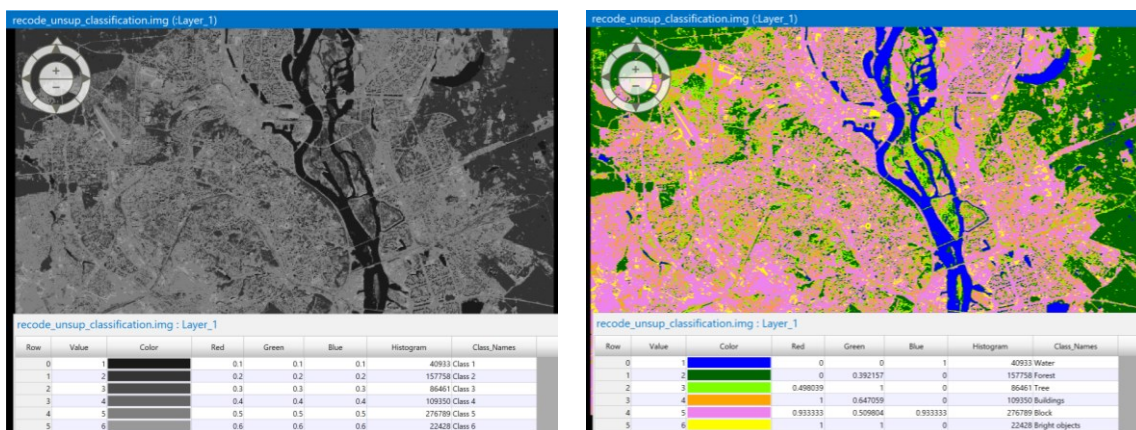


Рис. 8.9. Вихідне перекодоване зображення та налаштоване кольорове

8.2. Некерована класифікація знімків у програмі SNAP

1. У головному меню програми виберіть **Raster/ Classification/ Unsupervised Classification/ K-Mean Cluster Analysis** (Растр/ Класифікація/ Некерована класифікація/ К-середній кластерний аналіз). Відкриється вікно вибору параметрів для некерованої класифікації зображення, яке складається з двох вкладок.

2. **I/O Parameters** (вхідні/вихідні параметри) виберіть вхідний файл (**Source product**), який потрібно класифікувати (вирізаний фрагмент), формат збереження результату та шлях (**Directory**) на вашому комп'ютері до відповідної папки.

Processing Parameters (Параметри обробки) необхідно задати:

- кількість класів (**Number of clusters**), на яку програма розділить пікселі зображення (вказіть кількість від 5 до 15);

- максимальну кількість ітерацій (**Number of iterations**), які потрібно порахувати, виберіть у межах 25-30. Можливо, це дещо збільшить час виконання завдання, зате кількість ітерацій не стане обмеженою та дозволить класифікувати зображення з необхідною точністю.

3. Виберіть канали знімку (**Source band names**), що будуть брати участь у процесі класифікації зображення. На рис. 8. 10 показаний приклад, ви вибираєте номери каналів та їх кількість, яка потрібна вам.

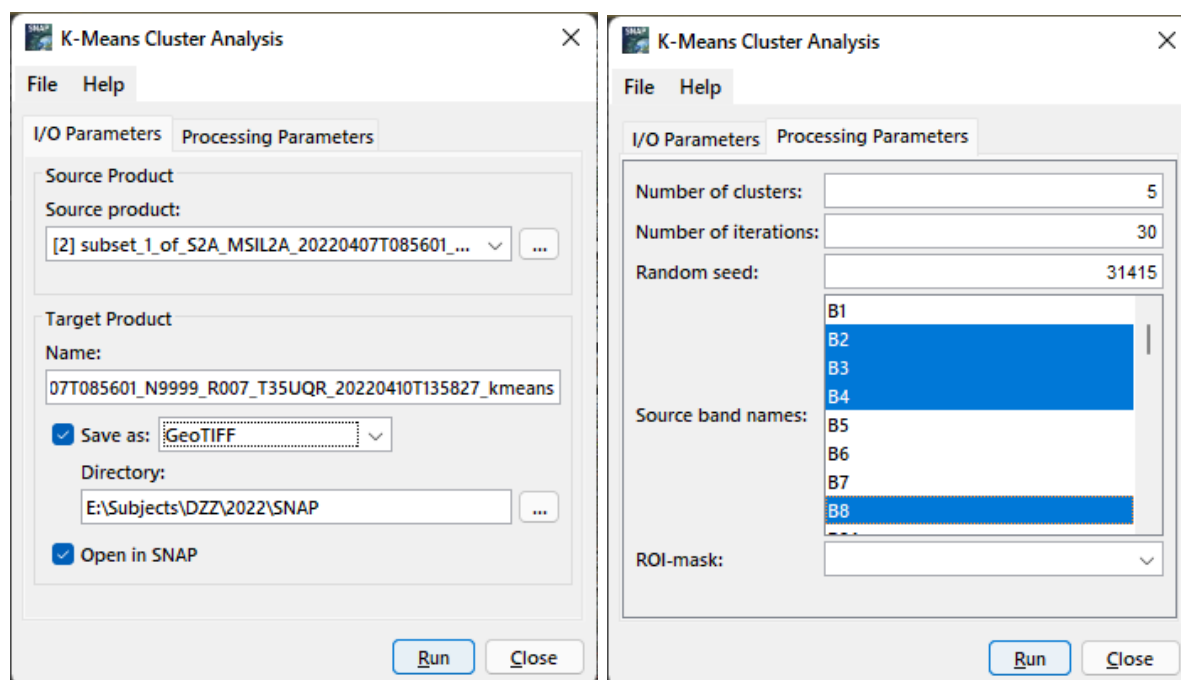


Рис. 8.10. Вікно вибору параметрів некерованої класифікації методом K-Means

4. В результаті процесу класифікації пікселів знімку за вибраними вами параметрами отримаєте розфарбоване тематичне зображення, розділене на певну кількість класів.

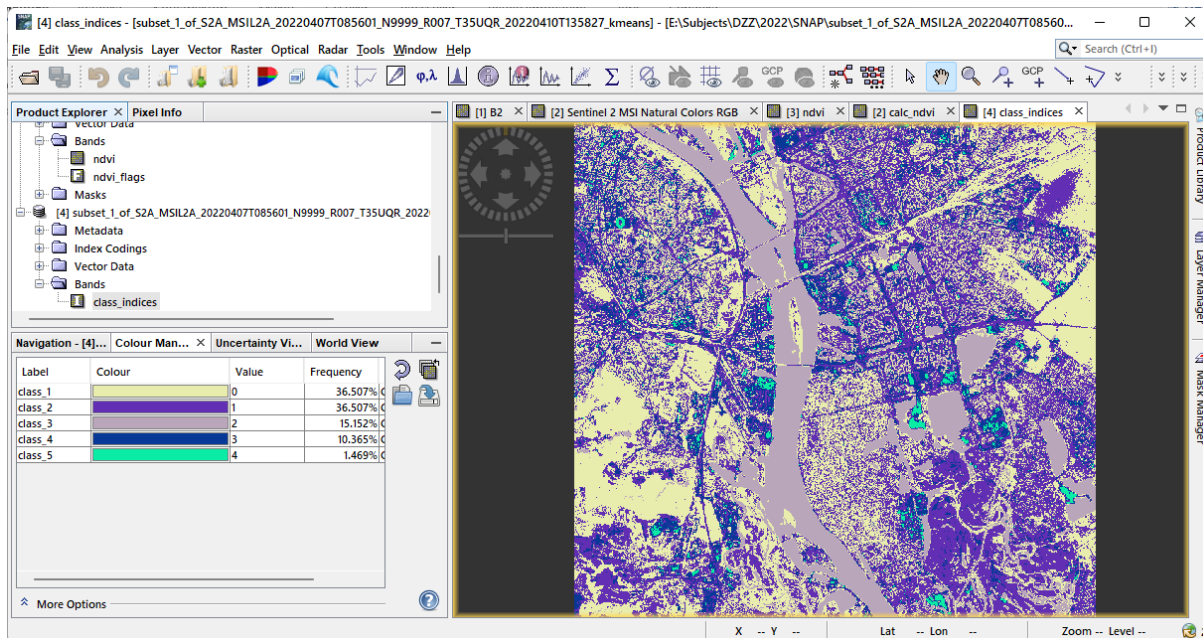


Рис. 8.11. Результат виконання некерованої класифікації зображення

Самостійно. У колонках **Label** (Позначка) та **Colour** (Колір), що знаходяться у таблиці значень класів некерованої класифікації (рис. 8.11.), змініть назви класів відповідно до типів землекористування та колір.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно:

1. Класифіковане зображення фрагменту знімка Landsat;
2. Класифіковане зображення фрагменту знімка Sentinel-2 з визначеними класами землекористування;
3. Дати відповіді на такі питання:
 - а) алгоритми некерованої класифікації;
 - б) параметри, які потрібно задати для виконання процесу класифікації та умови його завершення;
 - в) тематичні зображення, редагування атрибутів.

Лабораторна робота № 9. Керована класифікація (Supervised classification).

Мета: створити набір еталонів для класифікації зображень, виконати класифікацію багатоспектрального знімку на основі створених еталонів.

Класифікацію з навчанням (керовану класифікацію) застосовують, коли наперед відома кількість класів об'єктів та їх типологічні особливості. У процесі цієї класифікації розподіл пікселів на класи здійснюють на основі порівняння значень характеристик кожного пікселя з еталонами (навчальними вибірками), які формують для кожного класу шляхом відбору пікселів з певним діапазоном характеристик відповідно до реальних об'єктів місцевості на знімку.

Керована класифікація ґрунтується на попередньому статистичному аналізі заданих еталонів (ідентифікованих ділянок зображення або бібліотек навчальних вибірок) зі створенням для кожного з них відповідних сигнатур (спектральних характеристик об'єктів або класів об'єктів на поверхні Землі, що є певною комбінацією відбитого і поглиненого електромагнітного випромінювання на різних довжинах хвиль та можуть однозначно ідентифікувати класи об'єктів) і в подальшому використовуються для визначення центрів класів.

Алгоритми класифікації, як і самі сигнатури, можуть бути параметричними й непараметричними. В параметричних алгоритмах використовують певний вид статистичного розподілу (зазвичай це нормальний розподіл), а за навчальними вибірками оцінюють деякі параметри, пов'язані з цими функціями (математичне сподівання, дисперсія тощо). Якщо функція розподілу наперед не визначена, то її знаходять в процесі статистичного оброблення навчальних вибірок, а відповідні алгоритми називають непараметричними.

Параметричний алгоритмів класифікації зображень метод максимальної правдоподібності працює за наперед визначеними законами розподілу розраховують імовірність P_i , з якою певний піксель належить до певного класу. Кожен піксель належить до класу з максимальною ймовірністю P_i . У розрахунку P_i , беруть до уваги яскравість пікселя і яскравості пікселів навколо нього[3].

Хід роботи:

1. Завантажте у Erdas Imagine вирізаний фрагмент знімку Landsat після виконання Pansharpening, впишіть його в вікно в'ювера (*Fit to Frame*).

Перед виконанням керованої класифікації потрібно створити навчальні вибірки пікселів кожного типу об'єктів, щоб програма знала як класифікувати зображення, тобто навчити її.

2. Щоб почати роботу над створенням еталонів для процесу класифікації знімку, потрібно у вкладці *Raster* обрати *Classification/Supervised/Signature Editor* (*Класифікація/Керована/Редактор сигнатур*).

Відкриється нове вікно, що містить таблицю еталонів, які ви створите.

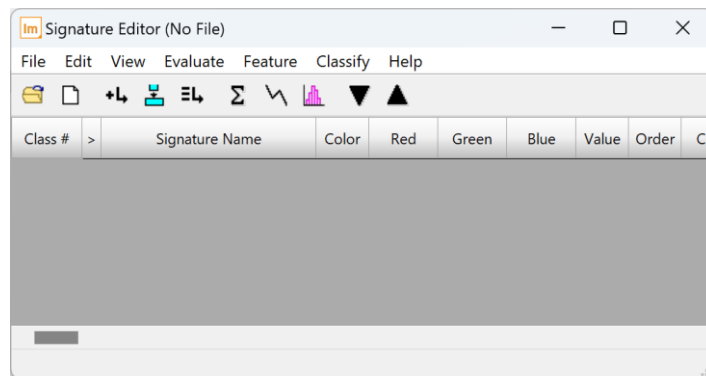



Рис. 9.1. Редактор сигнатур

3. Всередині в'ювера візуально виберіть водний або будь-який інший об'єкт, який можна вважати прикладом (еталоном) подібних йому об'єктів.

Виберіть вкладку *Drawing/Insert Geometry group/ Grow* (*Малювання/Вставити геометрію/ Вирощування*), а також виберіть *Lock* (*Заблокувати*).

Інструмент **Grow**  (*Вирощування «із затравки»*) працює за принципом «вирощування полігону із пікселя-зразка».

Щоб змінити параметри «вирощування» відкрийте *Growing Properties* (*Властивості вирощування*). Тут ви можете вручну змінити точність визначення пікселів.

Наприклад, якщо область, щойно вирощена із затравки, досить мала, оскільки значення *Spectral Euclidean Distance* (*Евклідова відстань в просторі спектральних характеристик*) в діалозі *Region Growing Properties* (*Властивості інструменту «вирощування із затравки»*) по замовчанню рівне 10. Змініть це значення на інше число та натисніть кнопку *Redo* (*Перебудувати з новими параметрами, використовуючи той же піксел в якості початкового*). Після введення нового значення евклідової відстані буде обрахований регіон. Зверніть увагу, як впливає ця величина на форму

та розміри регіону; змініть значення евклідової відстані та проаналізуйте зміни, що відбулись.

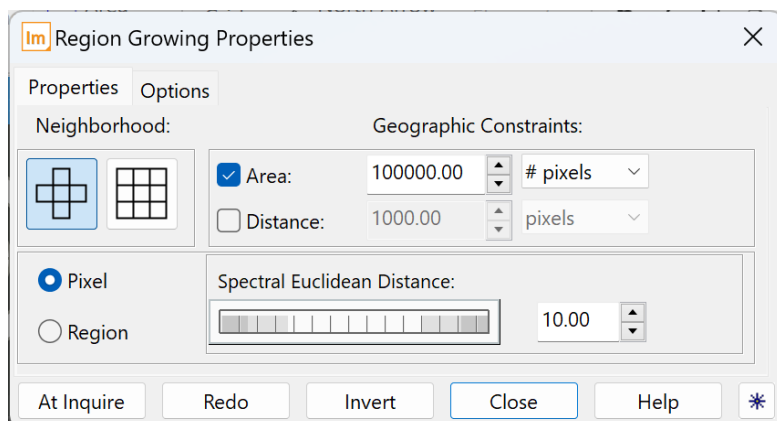


Рис. 9.2. Властивості регіону вирощування

Окресліть мишкою прямокутник, в межах якого знаходяться пікселі об'єкту інтересу. В середині нього з'явиться полігон з обраними пікселями, саме вони будуть еталонними для класифікації.

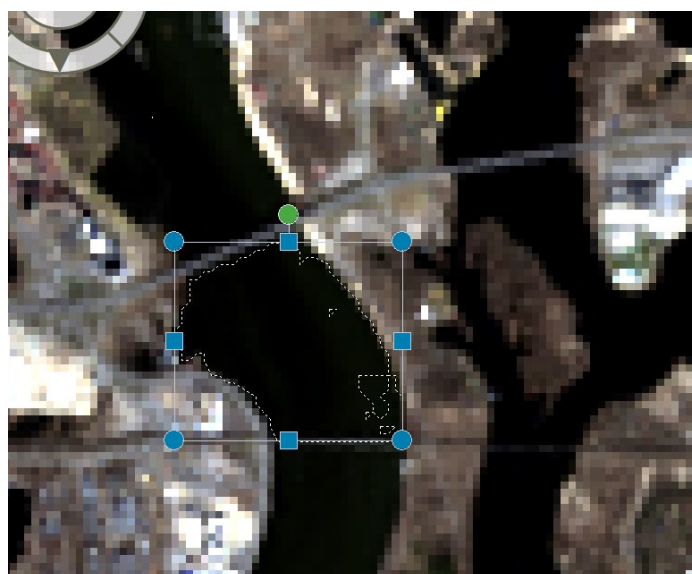


Рис. 9.3. Навчальна вибірка пікселів

Повторіть цей процес близько 10 разів для кожного типу об'єктів знімку, щоб було достатньо пікселів в якості зразків. Обов'язково потрібно збирати навчальні вибірки по всьому зображенню.

4. На вкладці **Drawing** (Малювання) розгорніть **Select** (Вибір) і виберіть **Select by Box** (Виділити за рамкою). Окресліть весь фрагмент знімку щоб виділити всі створені вами зразки пікселів.

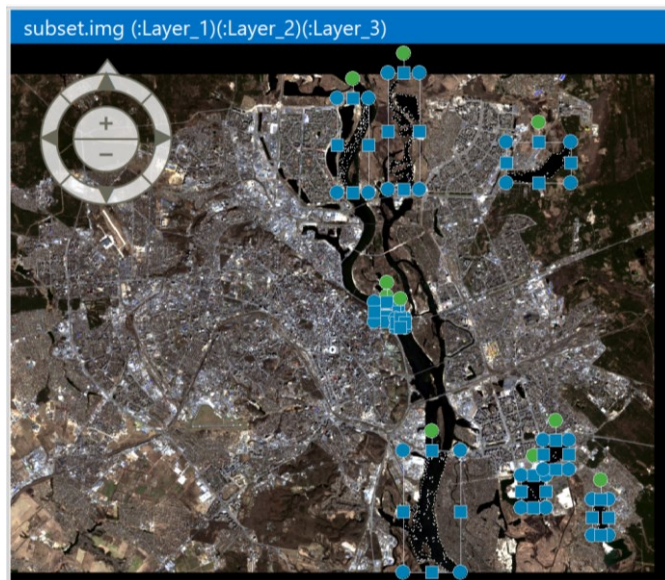



Рис. 9.4. Виділені зразки пікселів

5. У редакторі еталонів (*Signature Editor*) виберіть кнопку *Create New Signature(s) from AOI*  (Створити новий еталон із робочої області). Тепер всі значення вибраних пікселів, з'являться в редакторі сигнатур.

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1	Class 1		0.168	0.154	0.106	1	1	2	1.000	✓	✓	✓	✓	
2	Class 2		0.174	0.157	0.108	2	2	302	1.000	✓	✓	✓	✓	
3	Class 3		0.185	0.166	0.114	3	3	116	1.000	✓	✓	✓	✓	
4	Class 4		0.140	0.110	0.076	4	4	1804	1.000	✓	✓	✓	✓	
5	Class 5		0.160	0.114	0.087	5	5	2855	1.000	✓	✓	✓	✓	
6	Class 6		0.158	0.106	0.078	6	6	1168	1.000	✓	✓	✓	✓	
7	Class 7		0.184	0.134	0.101	7	7	1309	1.000	✓	✓	✓	✓	
8	Class 8		0.206	0.165	0.125	8	8	5335	1.000	✓	✓	✓	✓	
9	Class 9		0.211	0.165	0.129	9	9	736	1.000	✓	✓	✓	✓	
10	Class 10		0.165	0.113	0.080	10	10	1048	1.000	✓	✓	✓	✓	

Рис. 9.5. Обрані зразки пікселів у редакторі сигнатур

6. Виділіть усі класи і натисніть *Merge Selected Signatures* (Об'єднати вибрані сигнатури).

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1	Class 1		0.168	0.154	0.106	1	1	2	1.000	✓	✓	✓	✓	
2	Class 2		0.174	0.157	0.108	2	2	302	1.000	✓	✓	✓	✓	
3	Class 3		0.185	0.166	0.114	3	3	116	1.000	✓	✓	✓	✓	
4	Class 4		0.140	0.110	0.076	4	4	1804	1.000	✓	✓	✓	✓	
5	Class 5		0.160	0.114	0.087	5	5	2855	1.000	✓	✓	✓	✓	
6	Class 6		0.158	0.106	0.078	6	6	1168	1.000	✓	✓	✓	✓	
7	Class 7		0.184	0.134	0.101	7	7	1309	1.000	✓	✓	✓	✓	
8	Class 8		0.206	0.165	0.125	8	8	5335	1.000	✓	✓	✓	✓	
9	Class 9		0.211	0.165	0.129	9	9	736	1.000	✓	✓	✓	✓	
10	Class 10		0.165	0.113	0.080	10	10	1048	1.000	✓	✓	✓	✓	

Рис. 9.6. Об'єднання сигнатур

7. В результаті об'єднання всіх вибраних сигнатур утвориться один клас, який потрібно назвати відповідно за назвою об'єктів, які він містить, та можна задати бажаний колір. Решту класів виділіть та видаліть, використавши команду **Delete Selection** (Видалити виділення).

Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1		water body		0.000	0.000	1.000	11	11	14675	1.000	✓	✓	✓	✓	

Рис. 9.7. Створений клас сигнатури

8. Повторіть описаний процес для інших класів об'єктів землекористування та додайте необхідну кількість сигнатур, щоб якісно виконати процес класифікації об'єктів на зображенні.

9. В меню Редактору Еталонів виберіть **File/Save** (Файл/ Зберегти). Вкажіть папку збереження файлу та назвіть його. Натисніть ОК

10. Змініть послідовність стовпців **Value** (Значення) та **Order** (Порядок).

11. Тепер виконайте керовану класифікацію. Оберіть **Classify** (Класифікувати) у редакторі сигнатур і виберіть **Supervised** (Керована).

Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1		water body		0.000	0.000	1.000	1	1	14675	1.000	✓	✓	✓	✓	
2		Forest		0.000	0.392	0.000	2	2	9468	1.000	✓	✓	✓	✓	
3		Park		0.498	1.000	0.000	3	3	12660	1.000	✓	✓	✓	✓	
4		City		0.000	1.000	1.000	4	4	123988	1.000	✓	✓	✓	✓	
5		Ground		0.824	0.706	0.549	5	5	5153	1.000	✓	✓	✓	✓	

Рис. 9.8. Створені сигнатури

З'явиться вікно керованої класифікації, вкажіть шлях збереження та ім'я вихідного файлу. Крім того, ви можете встановити прапорець у полі **Output Distance file** (Вихідний файл відстані), щоб створити дані про помилки. Ці дані про помилки допомагають нам визначити рівень точності класифікованого зображення.

У розділі **Decision Rules** (Правила прийняття рішень) виберіть такі параметри:

Non-parametric Rule (Непараметричне правило) – **Parallelepiped** (Паралелепіпед);

Overlap Rule (Правило перекриття) – **Parametric Rule** (Параметричне правило);

Unclassified Rule (Некласифіковане правило) – **Parametric Rule** (Параметричне правило);

Parametric Rule (Параметричне правило) – **Maximum Likelihood** (Максимальна правдоподібність).

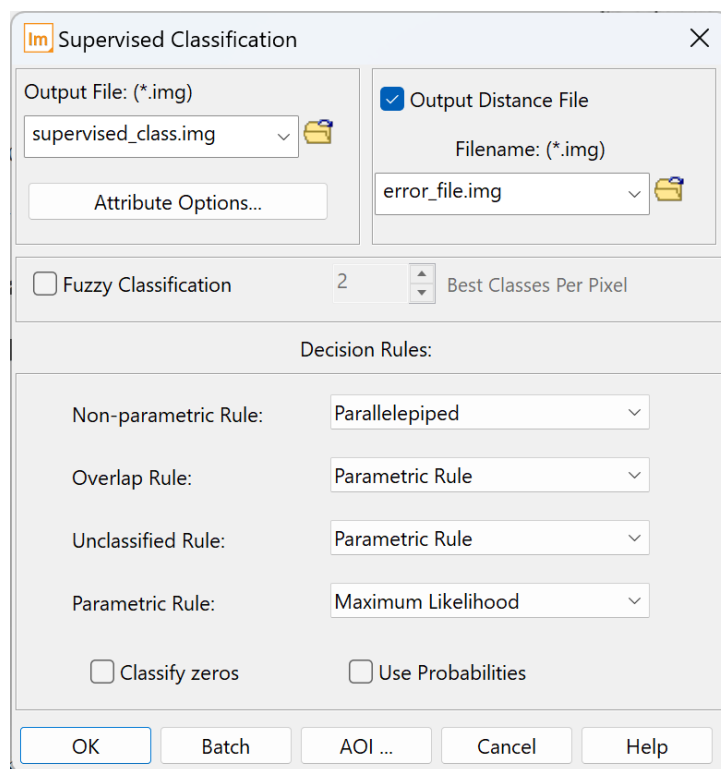


Рис. 9. 9. Вікно параметрів керованої класифікації

Встановивши всі параметри, натисніть кнопку ОК, щоб завершити процес.

12. У Erdas Imagine відкрийте 2 вікна в'ювера **File/ New/ 2D View** (Файл/ Новий/ 2D В'ювер). В одному вікні відкрийте растрове зображення (супутниковий знімок), в іншому зображення керованої класифікації. Тепер ви можете візуально оцінити результат.

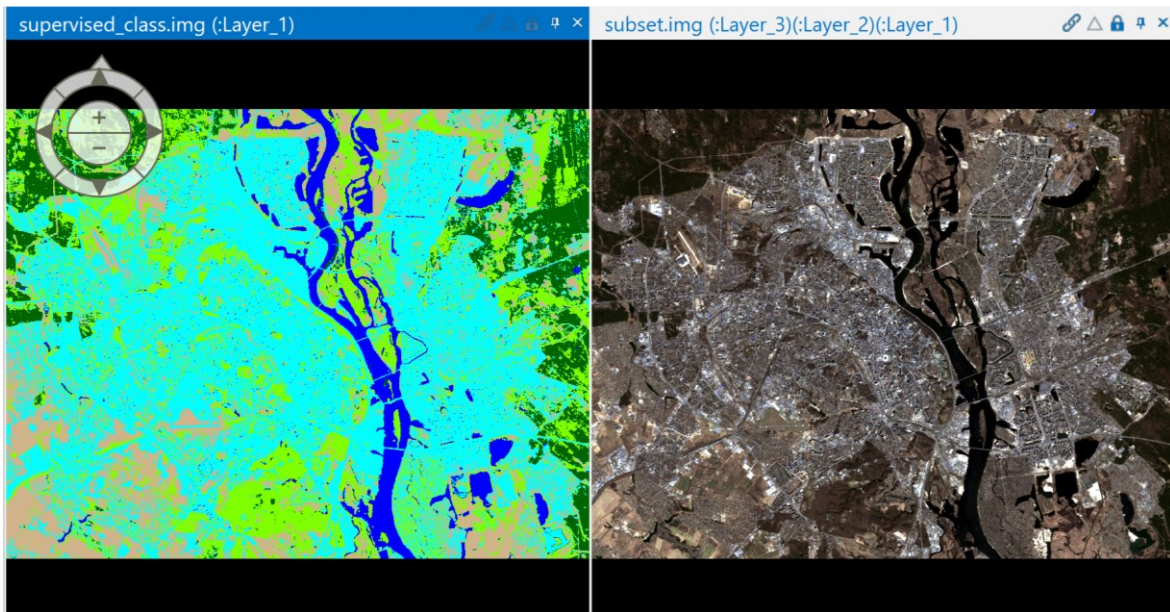



Рис. 9.10. Вихідне та класифіковане зображення

13. Перевірте якість отриманого тематичного растру, використовуючи файл відстаней.

Файл відстаней являє собою копію класифікованого зображення, але пікселі у нього мають значення, що вказують відстань від значення пікселя, який класифікується, до середнього значення класу, до якого він віднесений. Чим більша ця відстань, тим більша ймовірність, що піксель був класифікований неправильно.

Якість класифікації у файлі відстаней на зображенні відображається яскравістю пікселя. Продивитися значення яскравості можна натиснувши кнопку  **Inquire Cursor**. На рис. 9.11.а перехрестя встановлено на піксель чорного кольору та його значення рівне нулю (LUT VALUE). На рис. 9.11.б перехрестя встановлено на піксель білого кольору і його значення максимальне для файлу відстаней – 255,0.

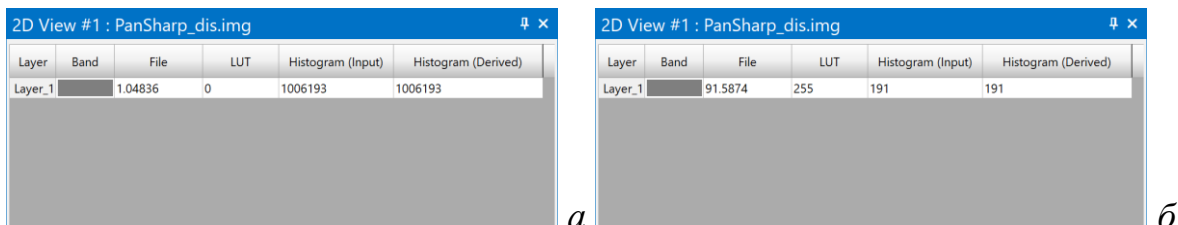


Рис. 9.11. Значення пікселів у файлі відстаней

Визначте еталони, що містять найбільшу кількість неправильно класифікованих пікселів. Використовуйте для цієї мети всі відомі вам інструменти.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно:

1. Приклад зібраних сигнатур;
 2. Класифіковане зображення фрагменту знімка *landsat*;
 3. Визначити в яких еталонах міститься найбільша кількість неправильно класифікованих пікселів;
 4. Дати відповіді на такі питання:
 - а) алгоритми керованої класифікації;
 - б) навчальні вибірки, оцінка якості сигнатур;
 - в) як працюють правило паралелепіеда та максимальної правдоподібності.
-

Лабораторна робота № 10. Розрахунок індексів

Мета: навчитися створювати тематичні карти на основі обрахунків індексів.

Обрахунок індексу NDVI

Вегетаційний індекс – показник, що розраховується в результаті операцій із різними спектральними діапазонами даних дистанційного зондування й має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімка. Ефективність вегетаційних індексів визначається особливостями відображення. Розрахунок більшості вегетаційних індексів базується на двох найбільш стабільних ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин.

Індекс *NDVI* (*Нормалізований диференційний вегетаційний індекс*) це один з найпопулярніших вегетаційних показників з того часу, коли його було введено у 70-х роках ХХ століття, і є простим показником біомаси, активної для фотосинтезу, тобто він вказує наскільки рослина здорова.

Використання *NDVI* допомагає відрізнити рослинність та інші типи земних покривів і визначити її загальний стан.

Нормалізований вегетаційний індекс вираховується за допомогою математичного виразу:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

де *NIR* – ближнє інфрачервоне світло; *Red* – видиме червоне світло.

10.1. Обрахунок індексу NDVI у програмі Erdas Imagine

1. На головному меню Erdas Imagine відкрийте **Raster/Unsupervised/NDVI** (*Растр/Некерована/NDVI*). Зверніть увагу, що у списку **NDVI** та **Indexes** (*Індекси*) стоять поряд.

2. Відкриється вікно для обрахунку NDVI. Для розрахунку цього індексу обов'язково має бути червоний та інфрачервоний канали. Програма автоматично визначить їх та проставить у відповідні блоки **Band Selection** (*Вибір каналів*), якщо визначено яким сенсором отримано знімок.

3. Якщо у бібліотеці програми немає вашого сенсору, то лишіть у полі **Sensor** (*Сенсор*) **Choose Sensor** (*Обрати сенсор*) та вручну проставте галочки біля відповідних каналів, що є червоним та інфрачервоним (дивись характеристики сенсора). У рядку **Index** оберіть **NDVI**.

4. У вкладці **I/O Options** перевірте щоб не стояла галочка біля **Stretch to Unsigned 8 bit** (*Розтягнути до 8 біт*). Вихідний файл має бути **Float Single**. Натисніть **OK** та запустіть процес обробки.

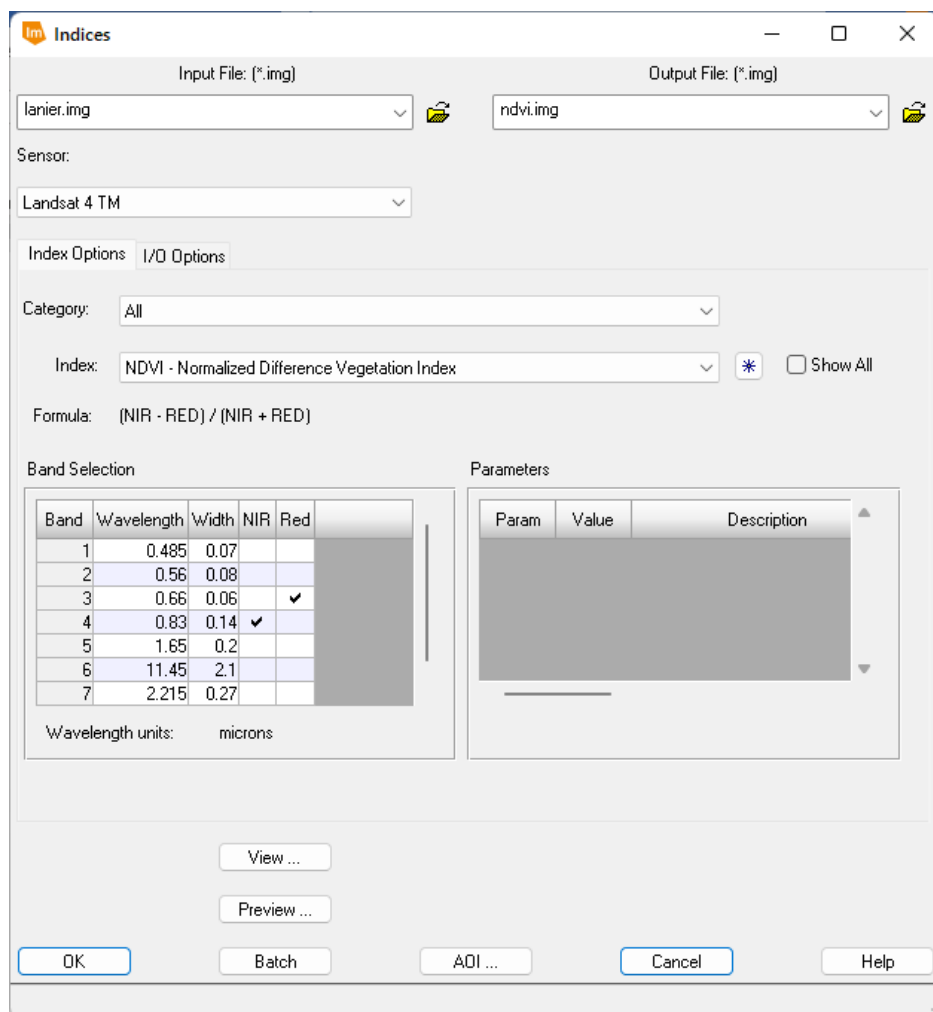


Рис. 10.1. Вибір індексу та параметрів

Перетворення NDVI – це єдиний набір даних усіх каналів, який показує більш яскраві області, де розміщено зелена рослинність. Відкрийте у в'ювер отримане зображення та порівняйте його з вхідним.

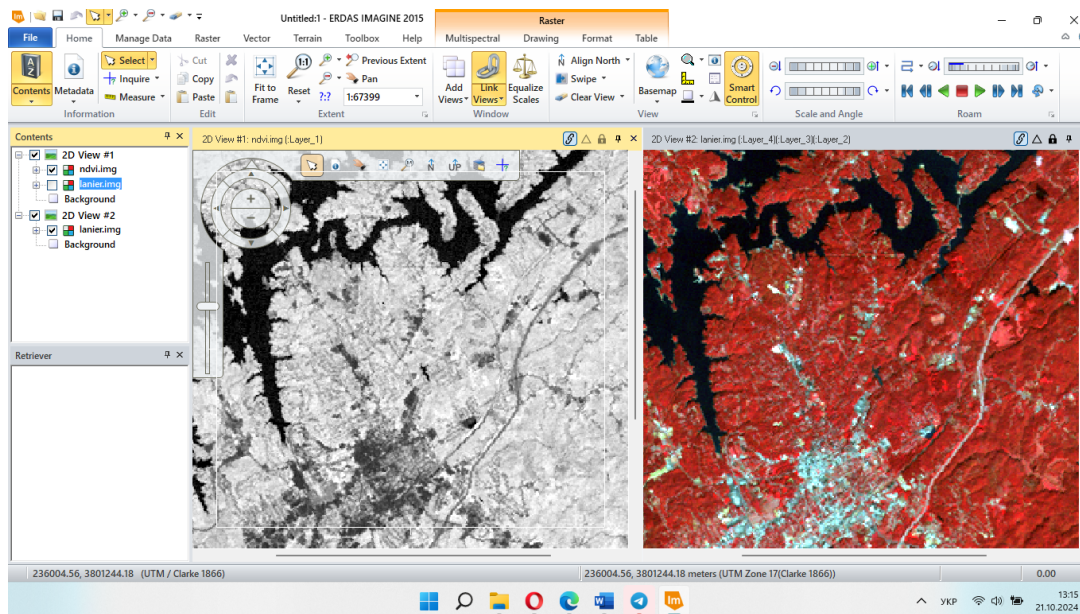


Рис. 10.2. Порівняння зображень

5. **Самостійно** порахуйте будь-який індекс зі списку доступних. Для цього відкрийте *Raster/Unsupervised/Indexes (Растр/Некерована/Індекси)* або *Raster/Unsupervised/NDVI (Растр/Некерована/NDVI)*.

Оберіть у полі *Category All (Всі категорії)*. Поставте прапорець біля *Show All (Показати всі)*. У полі *Index* з'явиться великий список доступних для обрахунку індексів.

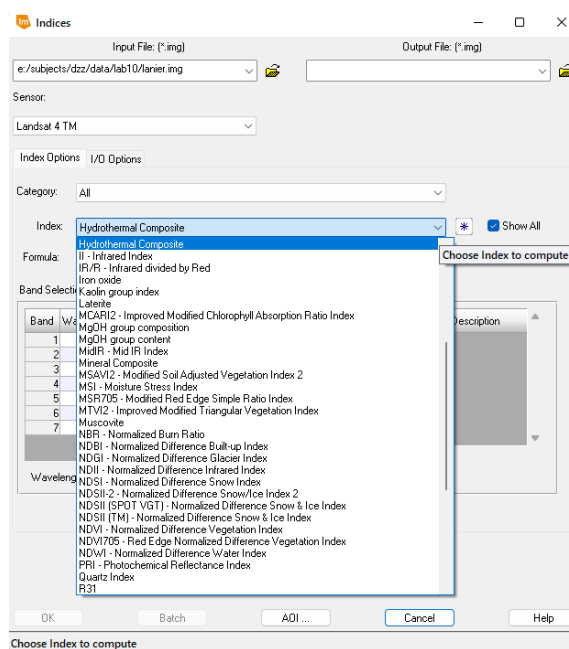


Рис. 10.3. Список доступних індексів

Оберіть індекс, який ви хочете порахувати. Після того як ви обрали індекс, у рядку **Formula** буде прописано формулу, за якою рахується індекс з назвою каналів або довжиною хвилі каналу, що потрібно використати для даної формули. Вам знову необхідно подивитися характеристики каналів сенсора, яким отримано знімок, та поставити галочки навпроти необхідних каналів у блоці **Band Selection** (*Вибір каналів*).

10.2. Обрахунок індексу NDVI у програмі SNAP

Програма SNAP пропонує великий вибір індексів для автоматичного обрахунку, що наведено на рисунку нижче. Ви можете вибрати з цього списку необхідний індекс та порахувати його для свого зображення. Детальніше розглянемо нормалізований вегетаційний індекс NDVI.

1. Щоб перейти до необхідного діалогового вікна натисніть **Optical/Thematic Land Processing/Vegetation Radiometric Indices/NDVI Processor** (*Оптичний/ Тематична обробка землі/ Радіометричні індекси рослинності/ Процесор NDVI*).

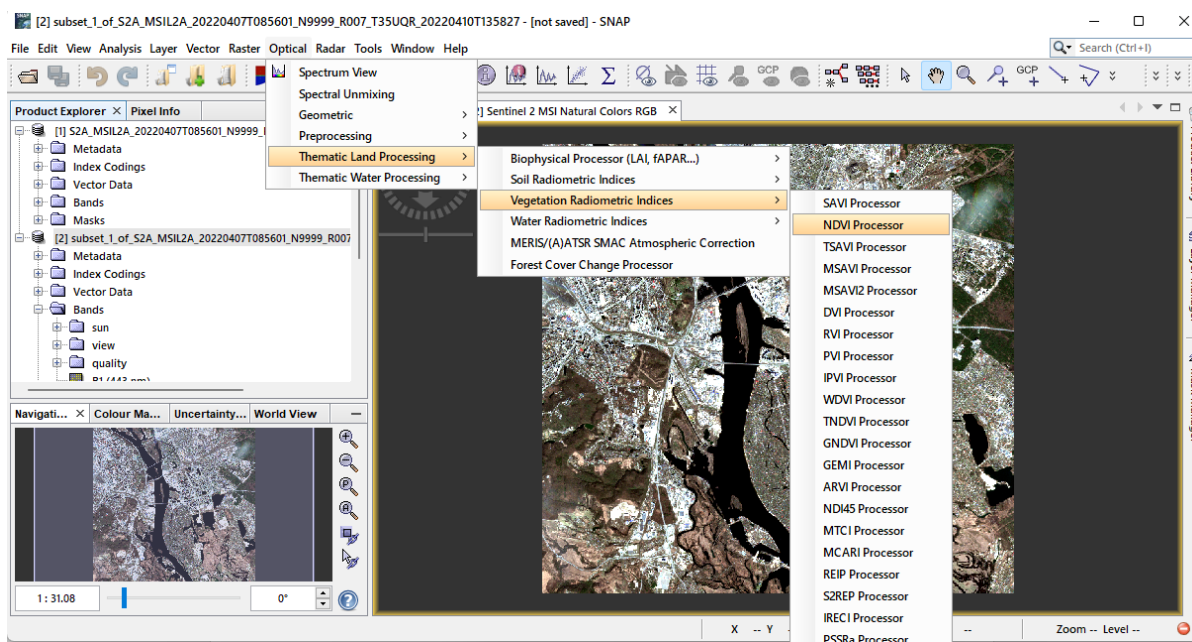


Рис. 10.4. Вибір вегетаційних індексів

2. У вікні NDVI є дві вкладки, де потрібно вказати правильні параметри. **I/O Parameters** (*вхідні/вихідні параметри*) виберіть як джерело для обрахунку індексу необхідний вхідний файл, виберіть папку куди зберігати вихідний файл, його тип та назву (за замовчанням до назви вхідного файлу у кінці додається приставка NDVI). В іншій вкладці **Processing Parameters** (*Параметри обробки*) необхідно задати номери

каналів знімку, які відповідають червоному та інфрачервоному, після чого натиснути **Run**.

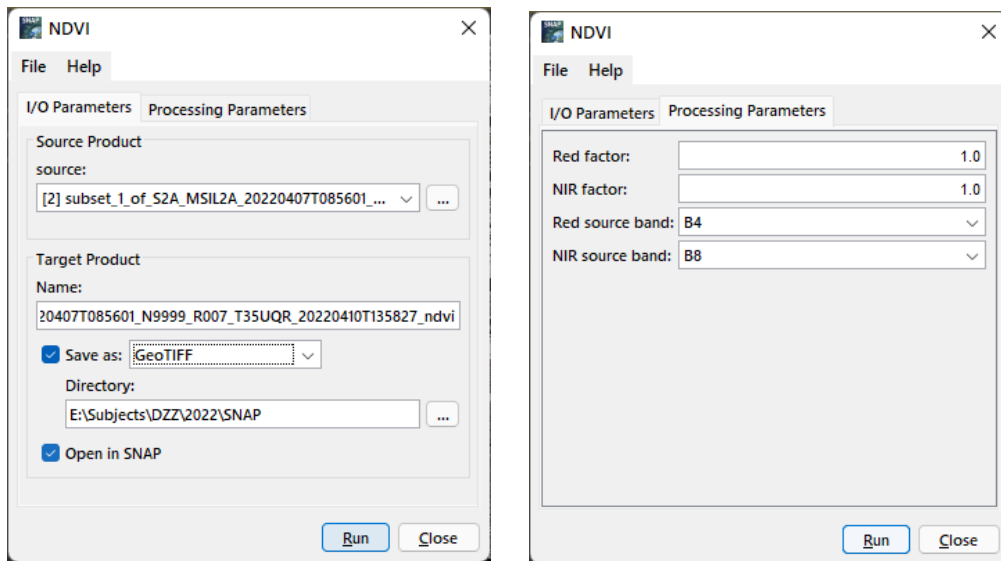


Рис. 10.5. Вікно задання параметрів для обробки індексу NDVI

3. На панелі **Product Explorer** з'явиться нове зображення, яке містить лише два канали. Натисніть двічі на канал **ndvi** і він відкриється у окремому в'ювері. Це тематичне чорно-біле зображення, яке можна «розфарбувати».

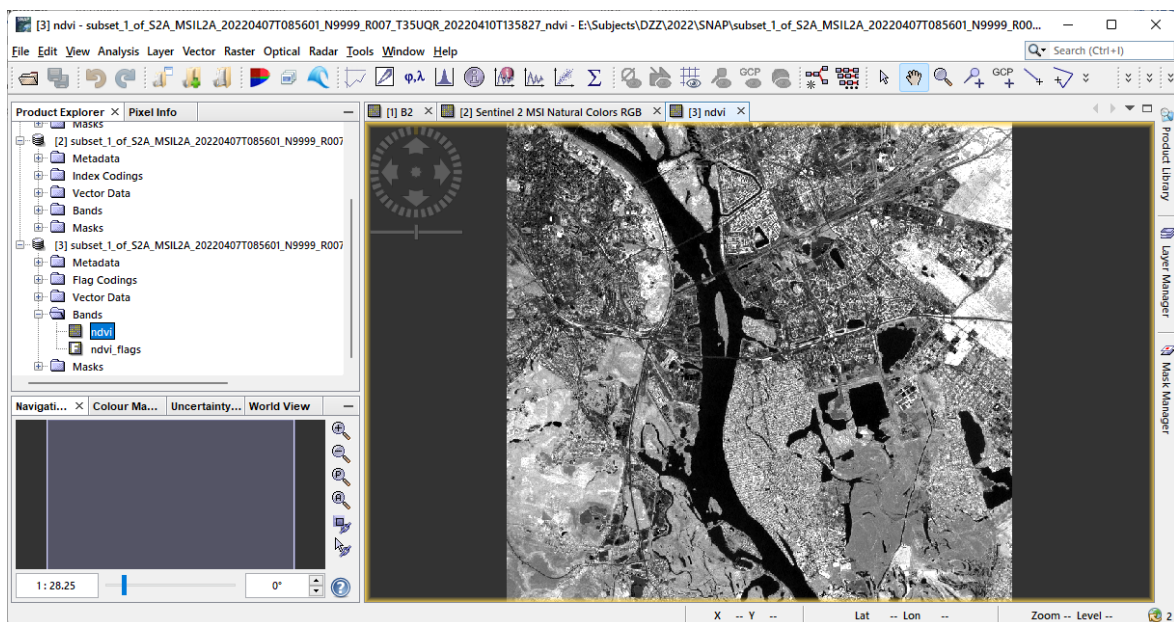


Рис. 10.6. Оброблене зображення NDVI

4. Перейдіть на вкладку **Color Manipulation** (Маніпуляція кольором) та у випадяючому списку **Color Ramp** (Кольорова гама) знайдіть кольорову шкалу **derived from meris_veg_index** (отримано з *meris_veg_index*). Під шкалою вибраної градації кольору є значення мінімум та максимум індексу для вибраного зображення та відповідно до значень індексу пікселі матимуть свій колір.

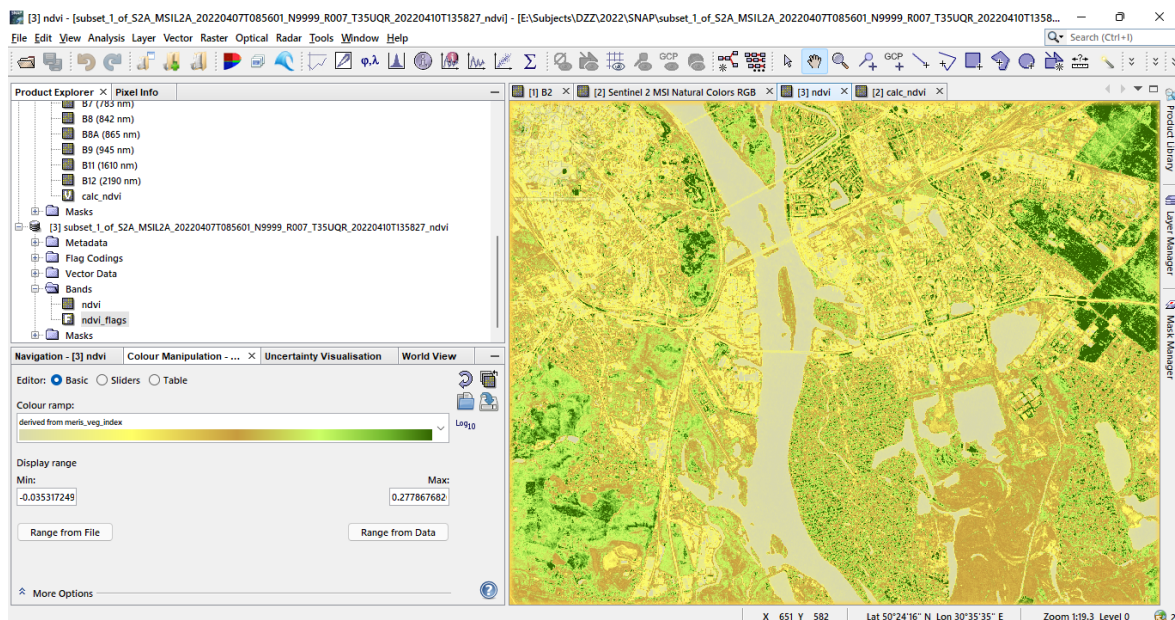


Рис. 10.7. Вибір кольорової шкали для зображення

10.3. Математика каналів у програмі SNAP

Для обрахунку індексу NDVI або будь-якого іншого індексу можна використати меню **Raster/Band Maths** (Растр/Математика каналів). У даному вікні виберіть продукт, що відповідає вашому фрагменту, вкажіть назву нового (у моєму випадку *calc_ndvi*) та у нижній частині вікна **Band maths expression** (Математичний рівняння каналів) напишіть формулу індексу, яку потрібно порахувати. Формула NDVI для Sentinel-2 має такий вигляд: $NDVI=(B8-B4)/(B8+B4)$.

Будьте уважні та правильно записуйте формули індексів, не забувайте про дужки й інші символи.

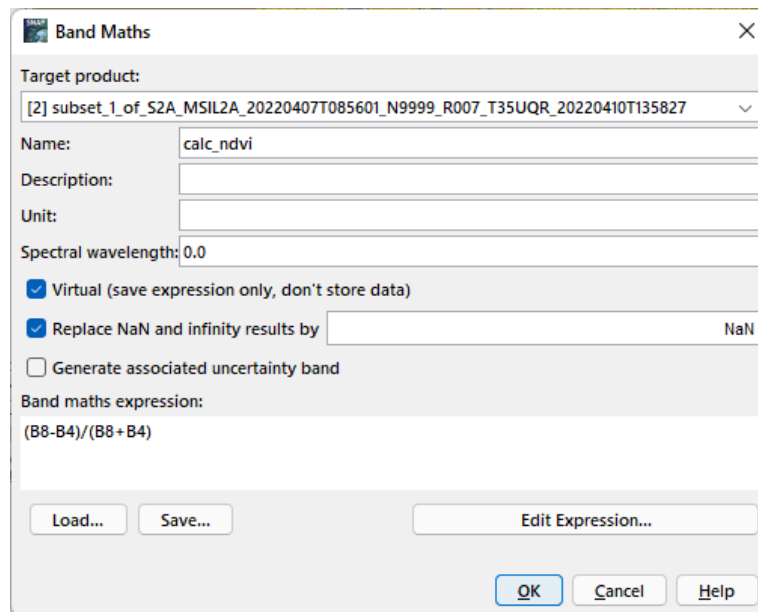


Рис. 10.8. Вікно запису формул для обрахунку

Програма порахувала індекс NDVI та додала його як окремий канал до списку каналів вибраного вхідного зображення, яке ви вибрали у попередньому пункті. Задайте йому відповідну кольорову шкалу, як у вище описаному розділі.

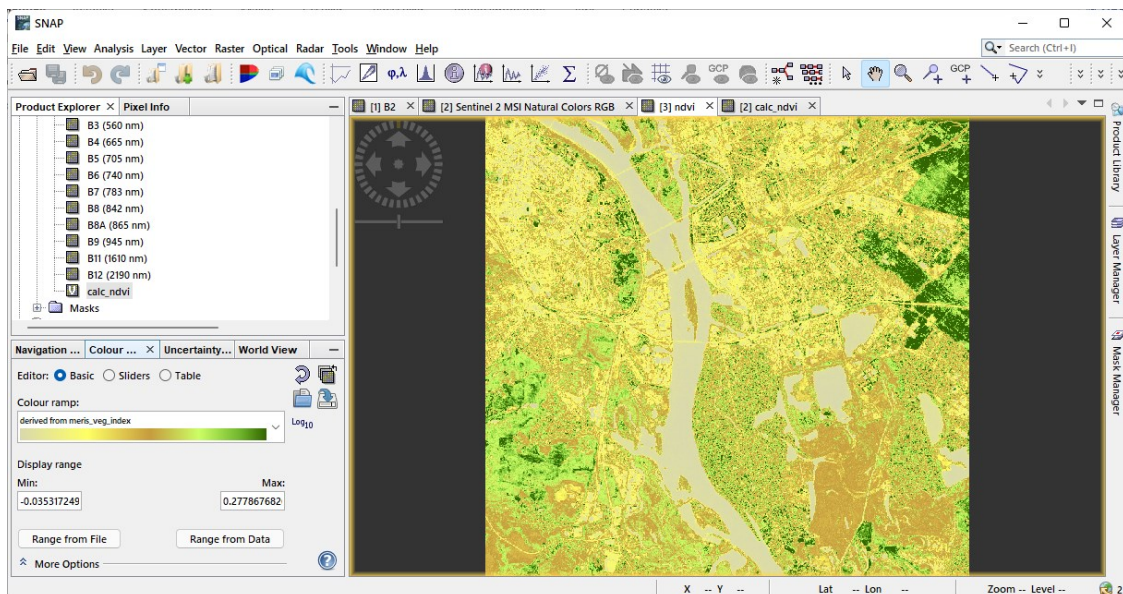


Рис. 10.9. Порахований NDVI за прописаною формулою



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно:

1. Порахуйте будь-який індекс зі списку доступних у програмі *Erdas Imagine Landsat*;
2. Порахуйте обраний вами індекс для фрагменту знімку *Sentinel* у програмі *SNAP*;

3. Порахуйте ще один індекс для знімку Sentinel через функцію математика каналів;

4. Дайте відповіді на такі питання:

а) що таке спектральні індекси та яких типів вони бувають?

б) які процеси обробки знімків є обов'язковими для правильних результатів обрахованих індексів, чому?

Лабораторна робота № 11. Робота з радарними знімками у програмі SNAP

Мета: навчитися роботі з радарними знімками, калібрувати, фільтрувати спекл-шум і робити корекцію рельєфу з поправкою на місцевості для даних



Вихідні дані: знімок супутника Sentinel-1 на територію вашого населеного пункту за найближчу дату, до дати виконання вами лабораторної роботи.

Sentinel-1 – це група супутників SAR (Synthetic aperture radar) Європейського космічного агентства (ESA) С-діапазону, що складалася з двох ідентичних супутників на полярних орбітах, Sentinel-1A та Sentinel-1B, які працювали вдень і вночі, отримуючи радіолокаційні зображення з синтетичною апертурою С-діапазону, що дозволяє їм отримувати зображення незалежно від погоди на центральній частоті 5,405 ГГц (довжина хвилі приблизно 5,547 см). 23 грудня 2021 року супутник Sentinel-1B припинив спостереження через серйозну аварію, а згодом був зведений з орбіти. У розпорядженні ESA залишається Sentinel-1A, який продовжує виконання моніторингової місії.

С-SAR має чотири режими спостереження, кожен з різною смугою та роздільною здатністю відповідно до мети: **Stripmap (SM)** (Режим смугового огляду), **Interferometric Wide swath (IW)** (Інтерферометричний широкосмуговий режим), **Extra Wide swath (EW)** (Надширокосмуговий режим) і режим **Wave (WV)** (Хвильовий режим).

Продукти рівня **Level-1 GRD** із визначенням наземної відстані (GRD) складаються з сфокусованих даних SAR, які були спроектовані на відстань

до землі за допомогою моделі еліпсоїда Землі. Проекція коригується з використанням висоти місцевості.

Хід роботи:

1. Дані, які використовуються для цієї роботи, надходять із супутникових зображень Copernicus Data Space (<https://dataspace.copernicus.eu/browser/>) програми Європейського Союзу Copernicus. Ви у попередніх роботах вже мали безкоштовно зареєструватися, то ж зайдіть під своїм логіном та паролем.

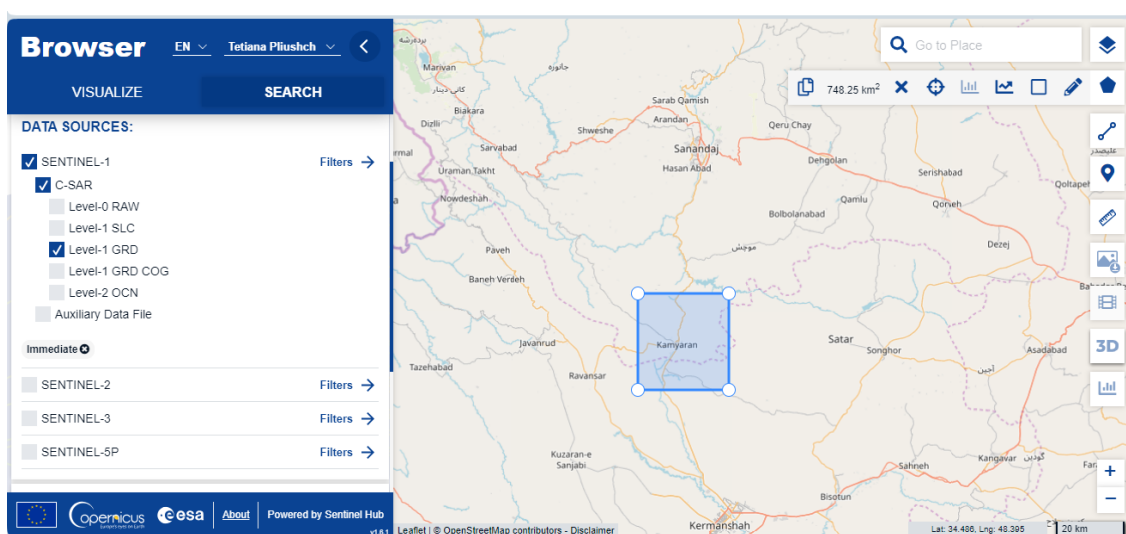


Рис. 11.1. Панель пошуку Copernicus Data Space

Виділіть область інтересу, утримуючи натиснутою праву кнопку миші та перетягнувши діагональну вершину для багатокутника пошуку. Виберіть дані *Sentinel-1* у розділі *Data Sources* (*Джерело даних*) оберіть рівень продукту *Level-1 GRD*.

Шукайте свої дані, вибравши діапазон дат *Time Range* (*Діапазон часу*) безпосередньо перед інцидентом. Виберіть діапазон дат щоб охопити часовий період у місяць.

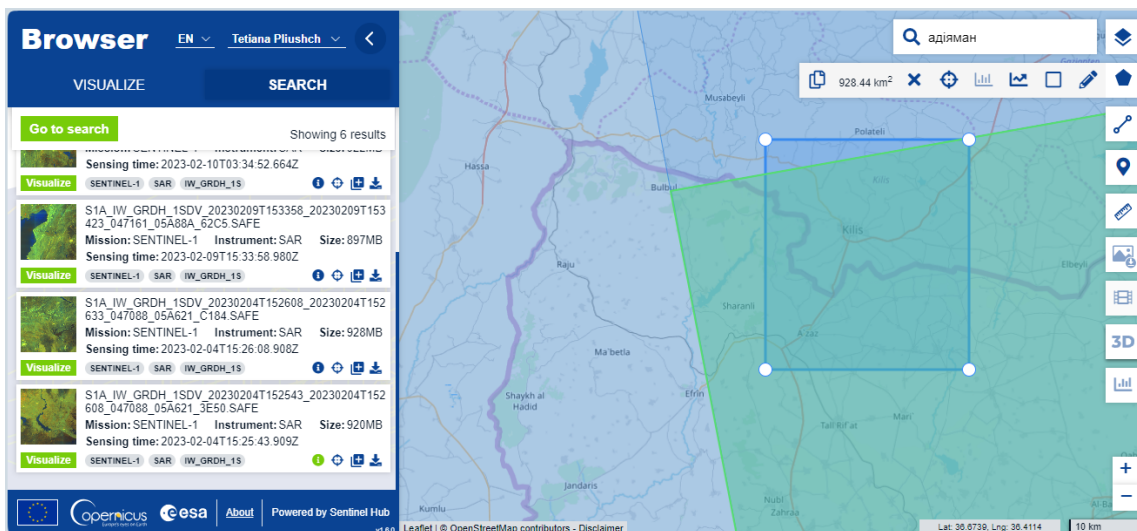


Рис. 11.2. Результати пошуку за заданими критеріями

2. У вікні програми SNAP знайдіть у меню **File (Файл) / Open Product (Відкрити продукт)** та вкажіть в провіднику шлях до архіву зі знімком.

Виберіть папку **Bands (Канали)** у вікні **Product Explorer (Провідник продукту)** і перегляньте окремо кожен канал, двічі клацнувши на його назві. Кожен канал відобразиться у головному вікні програми, але в різних вкладках.

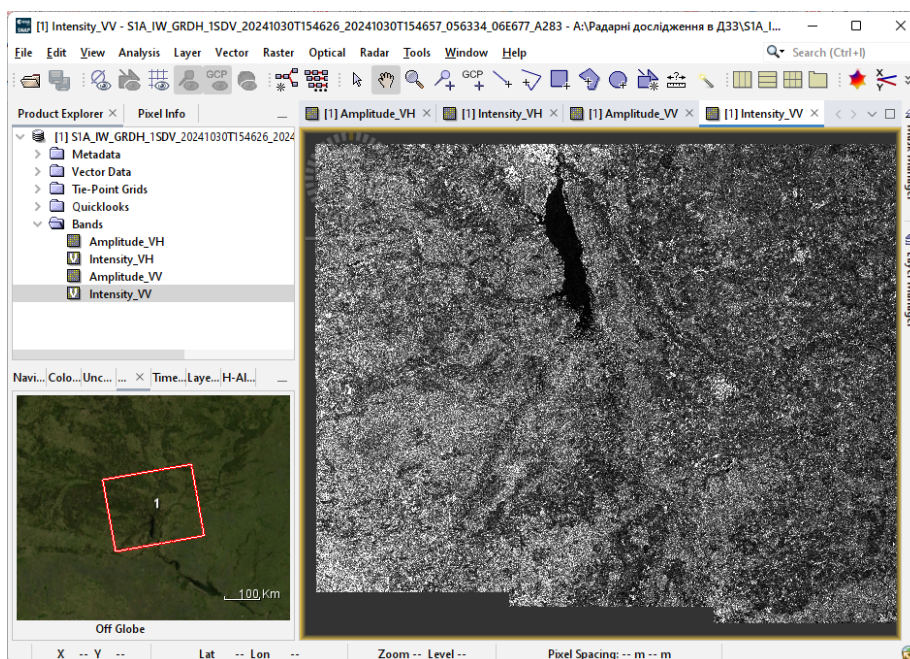


Рис. 11.3. Перегляд наявних каналів радарного супутникового знімку Sentinel-1

! Зверніть увагу, що знімок не має правильної орієнтації відносно сторін світу.

3. Для пришвидшення обробки радарного знімка, виріжіть з великого кадру частину території на ваш населений пункт. Для цього в головному вікні програми наблизьтесь до міста так, як ви хочете вирізати його зі знімку, тобто на весь екран буде сама та частина знімку, яка вам потрібна без зайвої інформації.

На панелі інструментів оберіть **Raster (Растр) / Subset (Вирізання)** або правою кнопкою миші **Spatial Subset from View**. В новому вікні ви побачите розмір ділянки яка буде вирізана. Для завершення натисніть ОК.

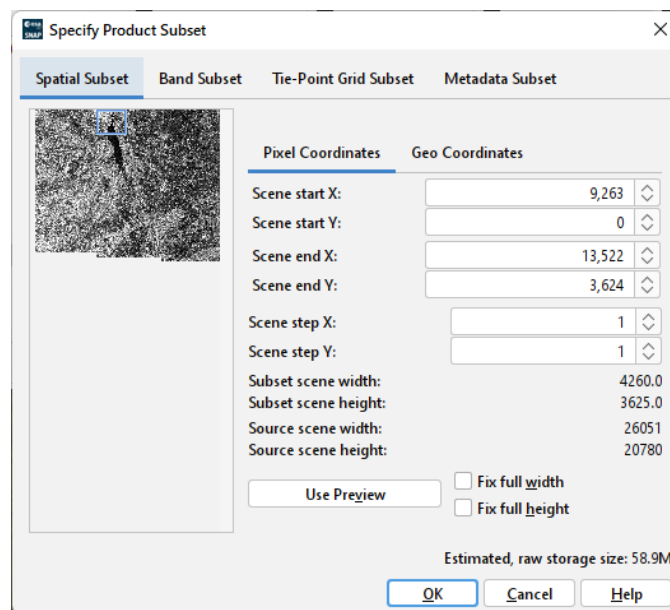


Рис. 11.4. Вирізання фрагменту знімку

4. Після того, як ви виріжете знімок, закрийте попередні повні зображення на головному екрані програми натиснувши на хрестик кожного вікна, і оберіть в **Product Explorer (Провідник продукту) / Bands (Канали)** новий набір вирізаних каналів з назвою "**[2]subset_0_.....**".

Відкрийте в обрізаному фрагменті знімка діапазони **Amplitude_VH (Амплітуда_VH)** та **Amplitude_VV (Амплітуда_VV)**, двічі клацнувши на назві діапазону.

Ви можете використовувати інструменти **Split Window (Розділеного вікна)**, щоб порівнювати різні зображення. Для цього на панелі інструментів виберіть **Window (Вікно) / Tile Evenly (Рівномірно розмістити тайли)**. В цьому ж наборі інструментів **Window (Вікно)** можете спробувати інші типи

відображення парних вікон, наприклад стиль *Tile Horizontally* (Розмістити тайли горизонтально).

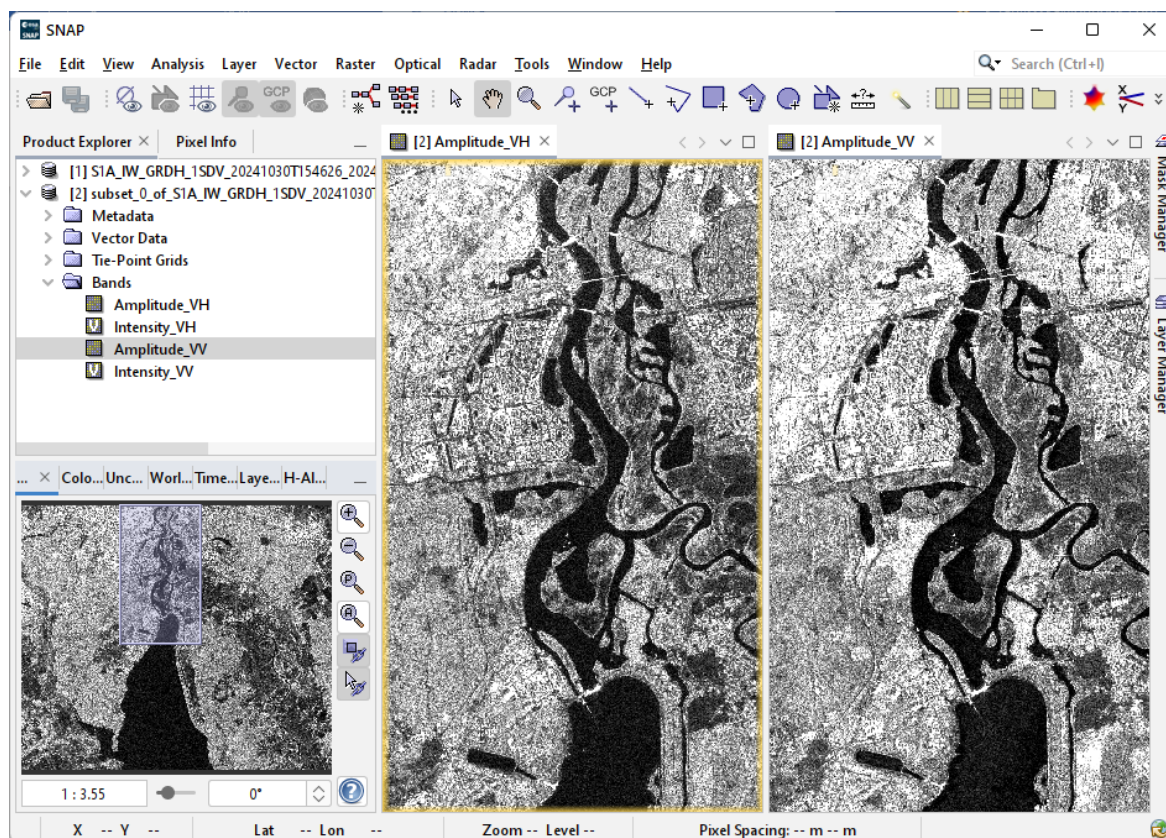




Рис. 11.5. Синхронізація двох зображень

Синхронізуйте два зображення, вибравши відповідні іконки  і  на вкладці *Navigation* (Навігація). Порівняйте вигляд знімку у цих двох поляризаціях.

Щоб правильно працювати з даними SAR, їх потрібно спочатку відкалібрувати.

Радіометричне калібрування перетворює інтенсивність зворотного розсіювання, отриману сенсором, в нормовану радарну площу розсіювання (σ_0) як калібровану міру, що враховує глобальний кут падіння зображення та інших специфічних характеристик сенсора. Це робить радіолокаційні зображення, отримані на різні дати, за допомогою різних сенсорів або геометрії зйомки співставними. Калібрування необхідне для кількісного використання SAR даних.

Ефективна площа розсіювання (англ. Radar Cross-Section, RCS) у радіолокації — характеристика відбивної здатності цілі, що визначається відношенням потужності електромагнітної енергії, що відбивається ціллю в напрямку приймача (радар), до поверхневої щільності потоку енергії

падаючої плоскої хвилі. σ_0 - коефіцієнт зворотного розсіювання, необхідний для аналізу інтенсивності зворотного розсіювання.

5. Для того щоб відкалібрувати дані у меню **Radar** (Радар) перейдіть до **Radiometric** (Радіометрія) і виберіть **Calibrate** (Відкалібрувати).

У вкладці **I/O Parameters** (Параметри вводу/виводу) виберіть вирізаний фрагмент знімку з назвою "subset_..." як **source** (джерело) і вкажіть **directory** (вихідну папку), де у вас є вільне місце для збереження матеріалів практичної, ім'я фінального файлу залиште без змін із закінченням "_Cal".

Перейдіть на вкладку **Processing Parameters** (Параметри обробки) перегляньте режими поляризації та залиште всі налаштування за замовчуванням і для завершення натисніть **Run** (Виконати).

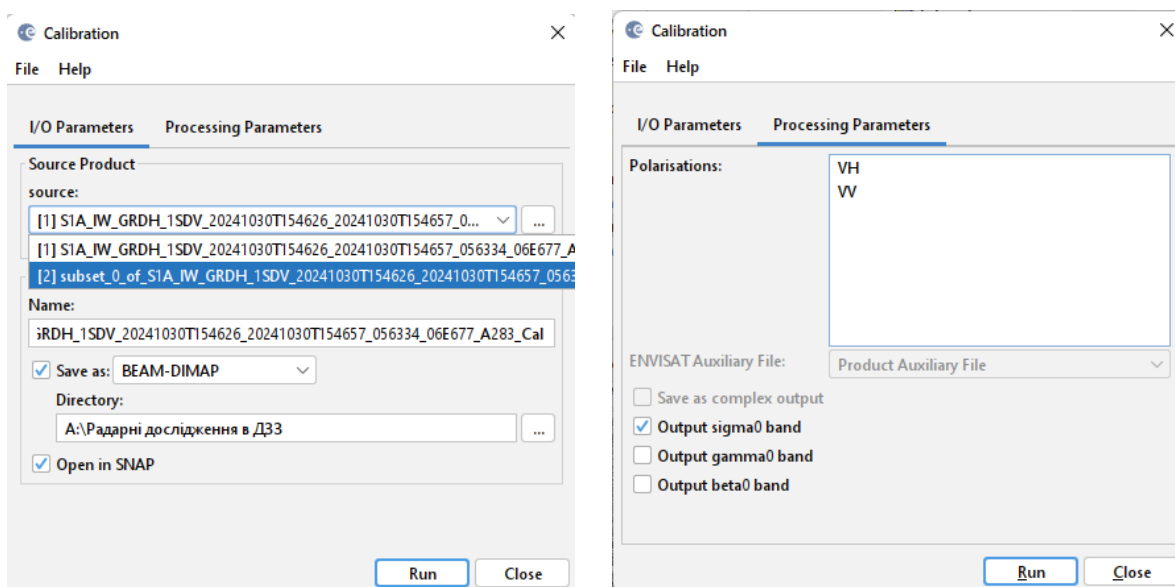


Рис.11.6. Налаштування параметрів калібрування

Про завершення операції свідчить напис червоним кольором, тепер можна натиснути **Close** (Закрити).

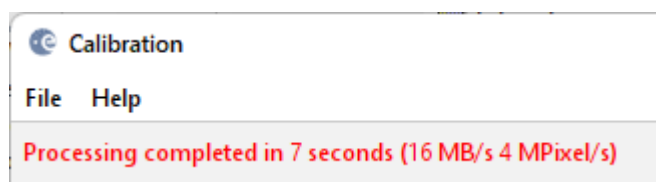


Рис.11.7. Повідомлення про закінчення процесу калібрування

Після завершення калібрування ви побачите у *Product Explorer* (Провідник продукту) новий файл з назвою “[3]subset_0_of_....._Cal”. Перегляньте у відкаліброваному зображенні *Bands* (Канали) з назвами "Sigma0_VH" і "Sigma0_VV". Розмістіть їх поряд і синхронізуйте, так само як це було зроблено у попередньому пункті.

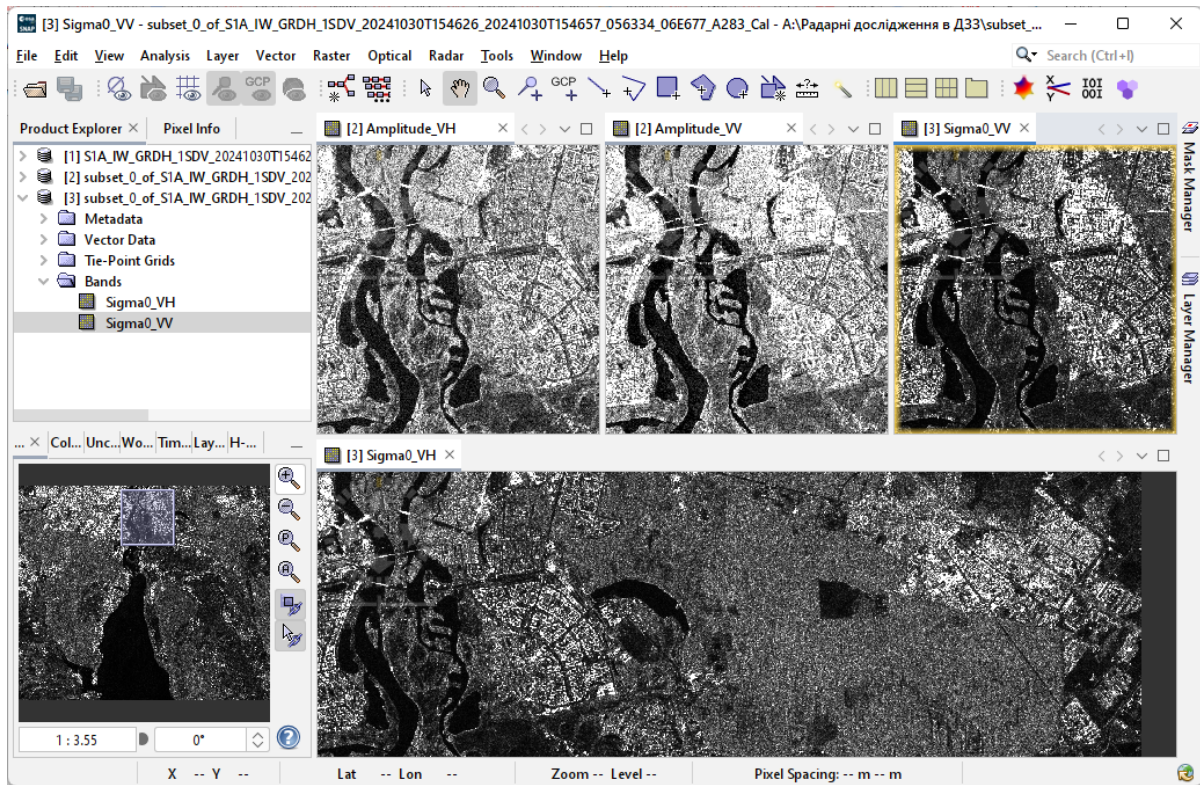


Рис.11.8. Порівняння вигляду відкаліброваних та вихідних даних

6. Виконайте обробку даних за допомогою спекл фільтру.

Спекл спричинений випадковими конструктивними та деструктивними перешкодами, що призводять до появи шуму “солі та перцю” по всьому зображенню. Спекл-фільтри можуть бути застосовані до даних, щоб зменшити кількість спеклів ціною розмиття об’єктів або зниження роздільної здатності.

На верхній панелі інструментів оберіть *Radar (Радар) / Speckle Filtering (Спекл-фільтрація) / Single Product Speckle Filter (Спекл-фільтр одного продукту)*.

У діалоговому вікні *Speckle Filtering* у полі *I/O Parameters (Параметри вводу/виводу)* виберіть відкалібрований файл з назвою “[3]subset_0_of_...._Cal”. Цільовий продукт буде автоматично перейменовано із закінченням “_Spk”.

У вкладці **Processing Parameters** (Параметри обробки) змініть налаштування наступним чином, у випадяючому списку **Filter** (Фільтр) виберіть фільтр **Lee**. У полях **Filter Size X** (Розмір фільтра X) і **Filter Size Y** (Розмір фільтра Y) введіть 3 і 3 відповідно. Як альтернативу також можна застосувати покращений спекл-фільтр **Refined Lee**, цей фільтр усереднює зображення, зберігаючи краї. Він не має параметрів для налаштування, тоді як інші вимагають визначення розміру ядра та інших параметрів.

Натисніть **Run** (Виконати) для обробки.

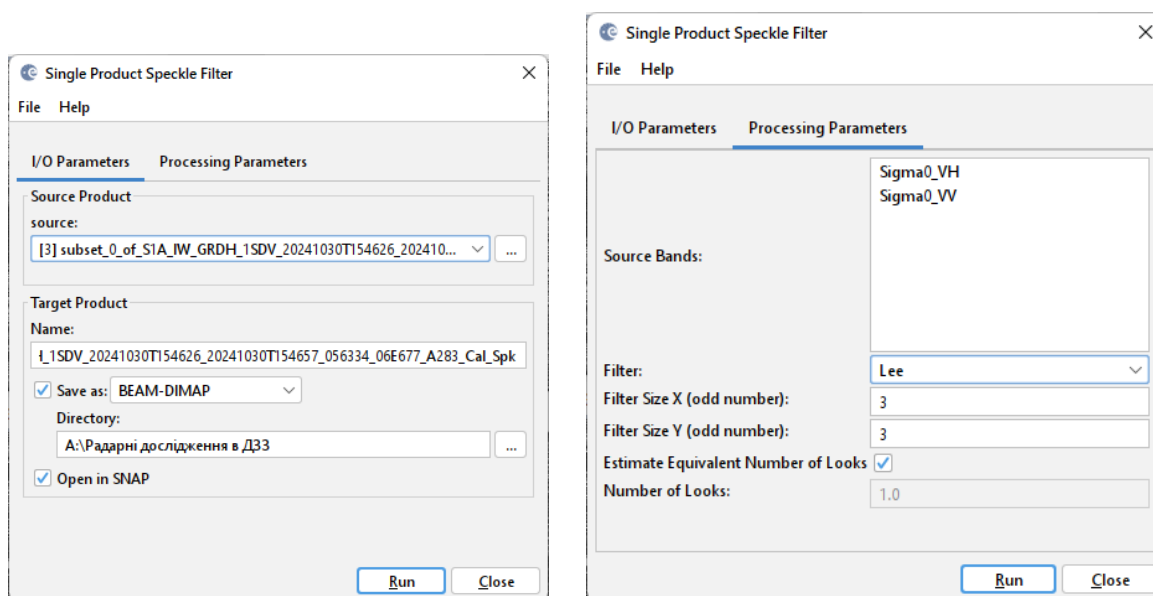



Рис.11.9. Налаштування параметрів спекл фільтрування

У результаті у вікні **Product Explorer** (Провідник продукту) з'явився новий продукт, щоб не заплутатися між ними дивіться як закінчується його назва, а цифра попереду свідчить про номер продукту, тобто операції яку ви з ним здійснили.

Порівняйте оригінальне та спекл-фільтроване зображення. Відкрийте поляризації "**Sigma0_VV**" та "**Sigma0_VV**" продуктів "[3]subset_0_of_....._Cal" та "[4]subset_0_of_....._Cal_Spk".

Порівняйте вигляд в парних вікнах, обравши **Window** (Вікно) / **Tile Evenly** (Рівномірно розмістити тайли).

Синхронізуйте зображення, натиснувши відповідні іконки  на вкладці **Navigation** (Навігація).

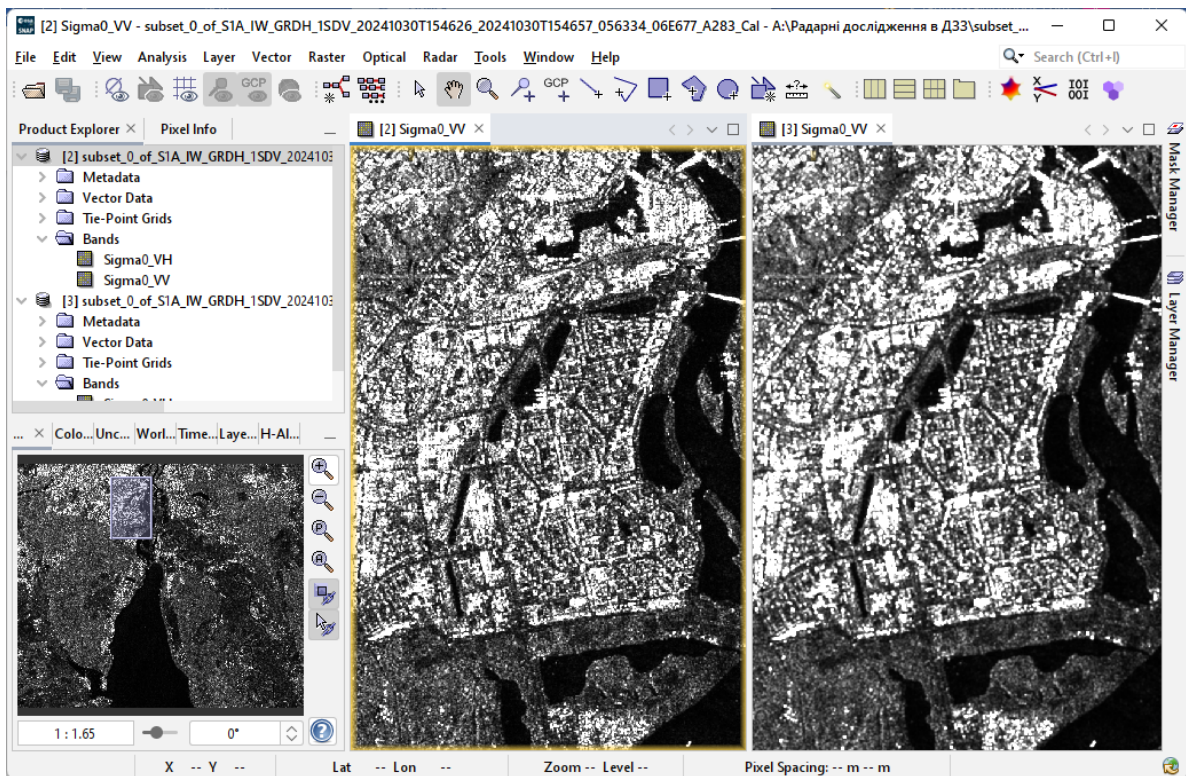


Рис.11.10. Порівняння вигляду каліброваного зображення та після спекл-фільтрування

7. Для нормалізації розподілу значень яскравості пікселів радарного зображення застосовується функція \log , щоб перевести значень в децибели. Вона переводить значення пікселів у логарифмічну шкалу, що підвищує контрастності, оскільки яскраві значення зміщуються до середнього значення, тоді як темні значення розтягуються на ширший діапазон кольору.

Логарифмічна функція дозволяє збільшити контрастність і розтягнутість зображення, роблячи його більш читабельним. Децибельні зображення мають більш динамічний діапазон, тоді як на лінійному зображенні значення яскравості пікселів обмежені діапазоном від 0 до 1.

Розгорніть список каналів каліброваного зображення, клацніть правою кнопкою миші на діапазоні "*Sigma0_VH*", виберіть ***Linear to/from dB*** (*Лінійний до/від dB*), а потім у спливаючому вікні виберіть ***Yes*** (*Так*).

Повторіть ці дії також для смуги "*Sigma0_VV*".

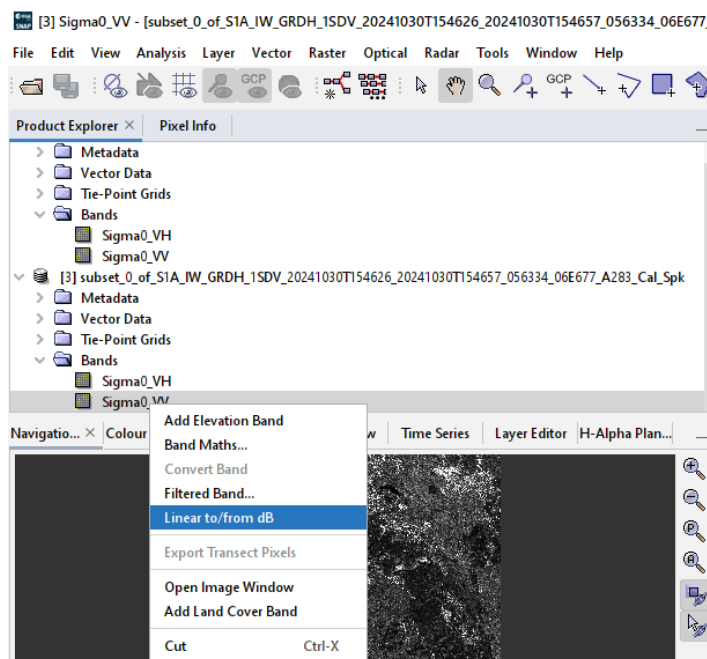


Рис. 11.11. Розташування інструменту Linear to/from dB (Лінійний до/від dB)

8. Корекція рельєфу змінює початкове зображення, виправляючи геометричні спотворення SAR за допомогою цифрової моделі рельєфу DEM (ЦМР) і створює картографічний продукт.

Ортофототрансформування перетворює зображення з геометрії похилої дальності або наземної дальності в систему координат карти. Корекція рельєфу передбачає використання цифрової моделі рельєфу DEM (ЦМР) для корекції притаманних їй геометричних спотворень, таких як ракурс, перекриття і тінь.

Для виконання корекції на панелі інструментів оберіть **Radar** (Радіолокація) / **Geometric** (Геометрична) / **Terrain Correction** (Корекція рельєфу) / **Range-Doppler Terrain Correction** (Корекція рельєфу за дальністю доплерівського випромінювання).

У полі **I/O Parameters** (Параметри вводу/виводу) виберіть "[4]subset_0_of_....._Cal_Spk". Цільовий продукт буде автоматично перейменовано із закінченням "_TC". Перейдіть на вкладку **Processing Parameters** (Параметри обробки) виділіть всі два канали з закінченням "_db" у полі **Source Bands** (Джерело каналів) та залиште всі налаштування за замовчуванням. Натисніть **Run** (Виконати) для обробки.

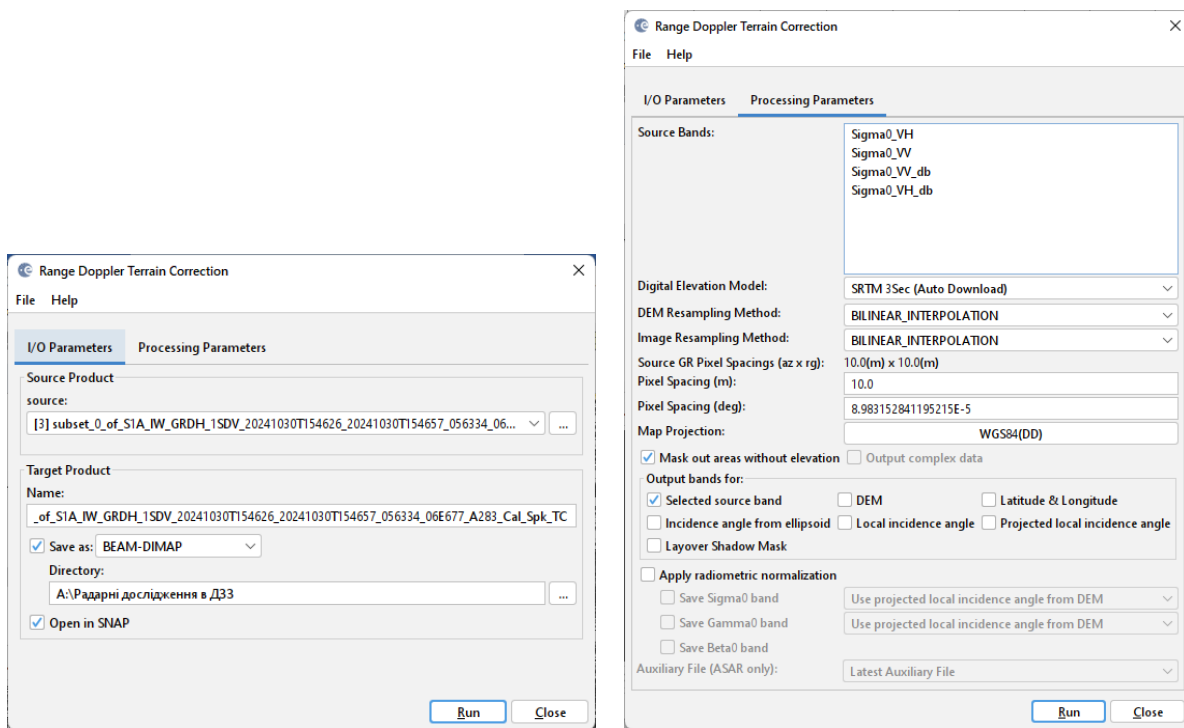


Рис.11.12. Налаштування параметрів інструменту корекції рельєфу

За замовчуванням для корекції рельєфу використовується матриця висот SRTM 3Sec (відстань між пікселями 90 м). Ви також можете вибрати матрицю висот з вищою роздільною здатністю (SRTM 1Sec HGT (AutoDownload) з кроком пікселів 30 м). Програма автоматично визначить необхідні тайли матриці висот і автоматично завантажить їх з інтернет-серверів.

За замовчуванням вихідною проєкцією карти є географічна (на основі широти/довготи), але ви також можете вибрати UTM-зону.

Якщо ви не хочете видаляти області океану (на основі значень матриці висот), вимкніть опцію **Mask areas without elevation** (*Маскувати області без висоти*).

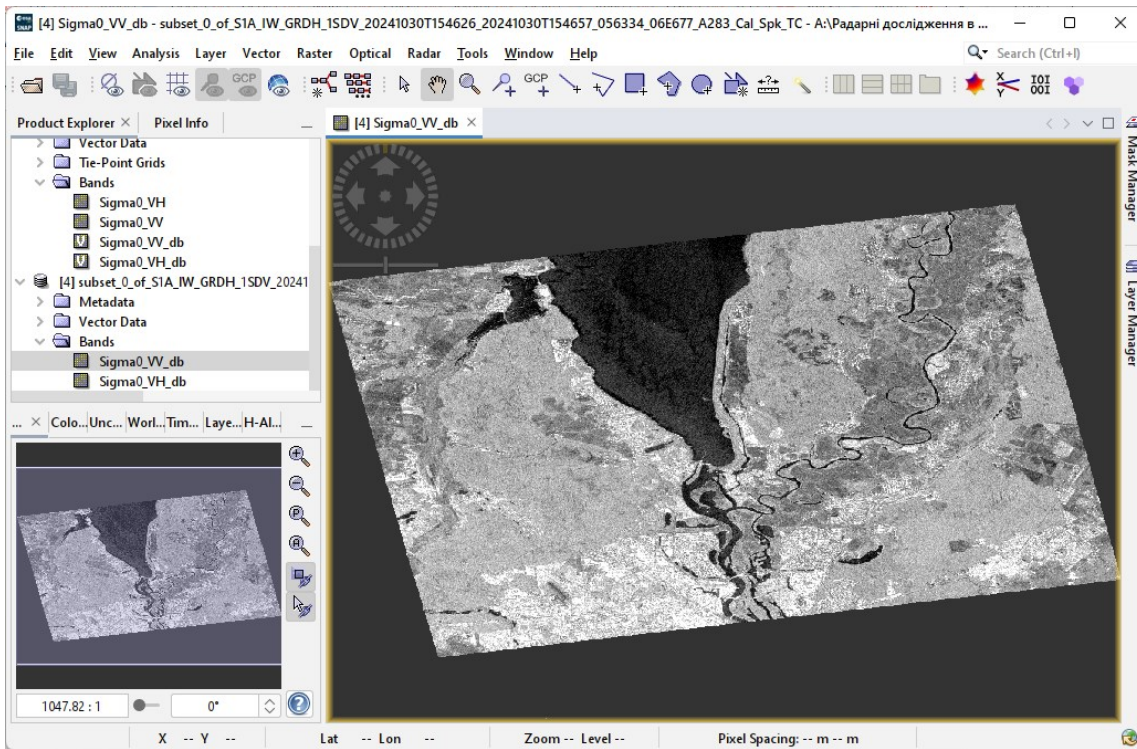


Рис.11.13. Вигляд зображення після корекції рельєфу

9. Створіть кольоровий композит у вигляді RGB зображення.

Знайдіть на головній панелі інструмент **Window (Вікно)** та натисніть **Open RGB Image Window (Відкрити вікно RGB-зображення)** (якщо команда неактивна, клацніть лівою кнопкою миші на зображенні). У вікні, що відкриється, ви можете налаштувати спосіб створення RGB-зображення, вибравши різні комбінації смуг з червоної, зеленої та синьої областей спектра і масштабувавши їх. Існує декілька варіантів за замовчуванням, і їх зазвичай достатньо для швидкого перегляду зображення. Однак ви можете розтягнути різні частини, щоб підкреслити особливості, якщо хочете зберегти зображення для пояснень.

Виберіть наступні діапазони: **Red (Червоний)** = Sigma0_VV , **Green (Зелений)** = Sigma0_VH , **Blue (Синій)** = $\text{Sigma0_VH_db} - \text{Sigma0_VV_db}$. Різницеве зображення для синього каналу можна створити за допомогою значка виразу [...] на сайті праворуч від синього каналу. У новому вікні є можливість вводити формули, зокрема в нашому випадку вираз @-@ з відповідними каналами $\text{Sigma0_VH_db} - \text{Sigma0_VV_db}$.

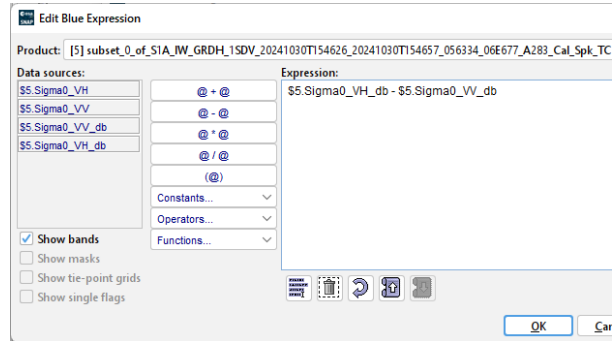
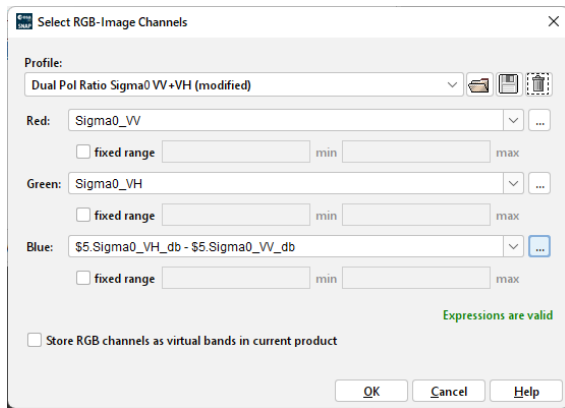


Рис.11.14. Налаштування параметрів створення RGB-зображення

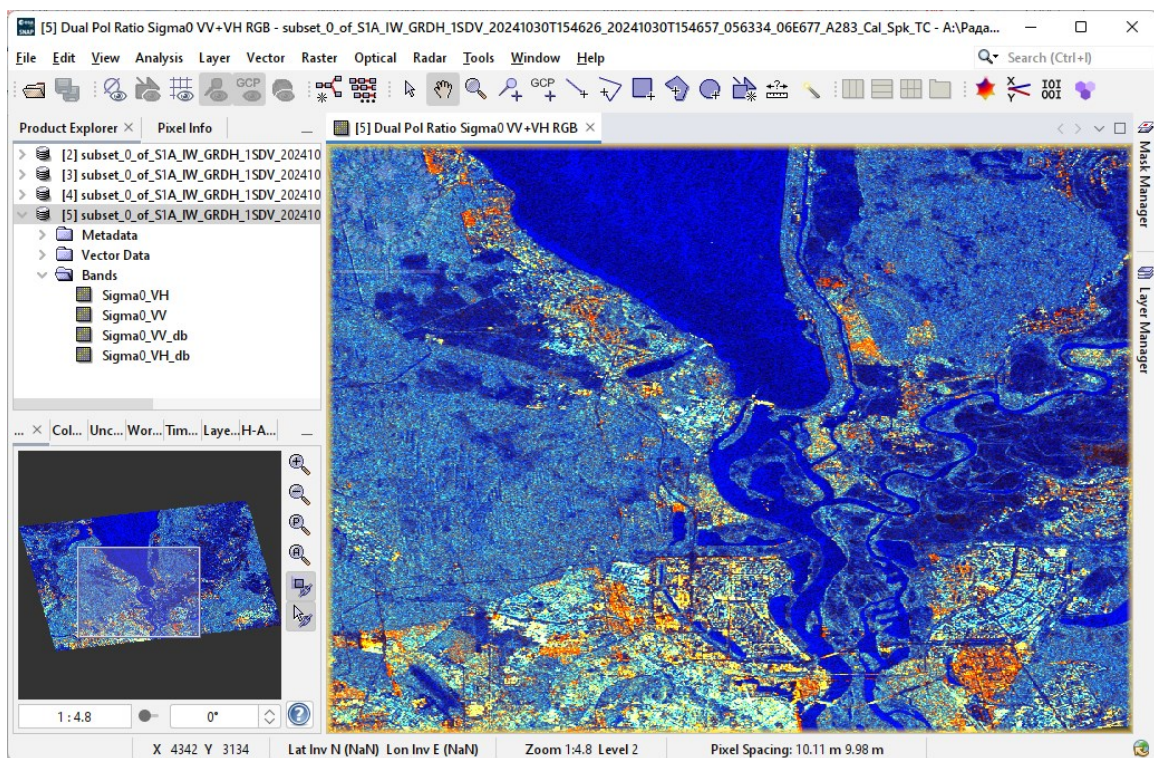

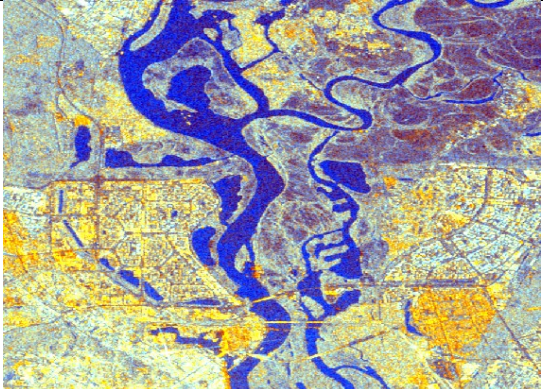
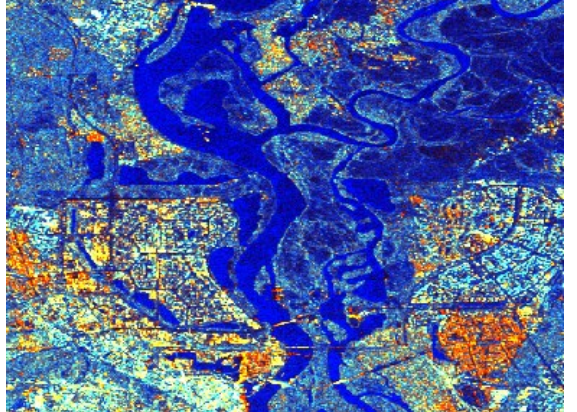
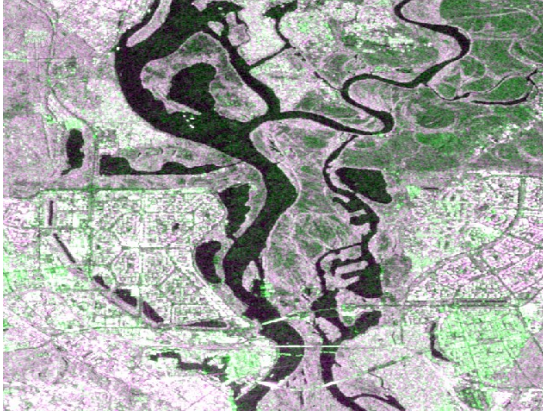


Рис.11.15. Візуалізація знімку в RGB Image

Нижче наведемо декілька різних прикладів комбінацій каналів та відповідні їм візуалізації знімку.

	
<p>1. Комбінація каналів у вікні RGB Image: Red = Sigma0_VV, Green = Sigma0_VH, Blue = Sigma0_VV/Sigma0_VH.</p>	<p>2. Комбінація каналів у вікні RGB Image: Red = Sigma0_VV_db, Green = Sigma0_VH_db, Blue = Sigma0_VH_db - Sigma0_VV_db.</p>
	
<p>3. Комбінація каналів у вікні RGB Image: Red = Sigma0_VV, Green = Sigma0_VH, Blue = Sigma0_VH_db - Sigma0_VV_db.</p>	<p>4. Комбінація каналів у вікні RGB Image: Red = Sigma0_VH_db, Green = Sigma0_VV_db, Blue = Sigma0_VH_db.</p>

Спробуйте різні комбінації каналів, порівняйте їх та виберіть ту яка краще відображає різні об'єкти на знімку.

Також додатково для кожної з отриманих візуалізація можна налаштувати контрастність зображення за допомогою вікна **Colour Manipulation tab** (Вкладка Маніпуляції з кольором), перемістіть трикутні повзунки в обидва боки гістограми для кожного каналу R, G і B.

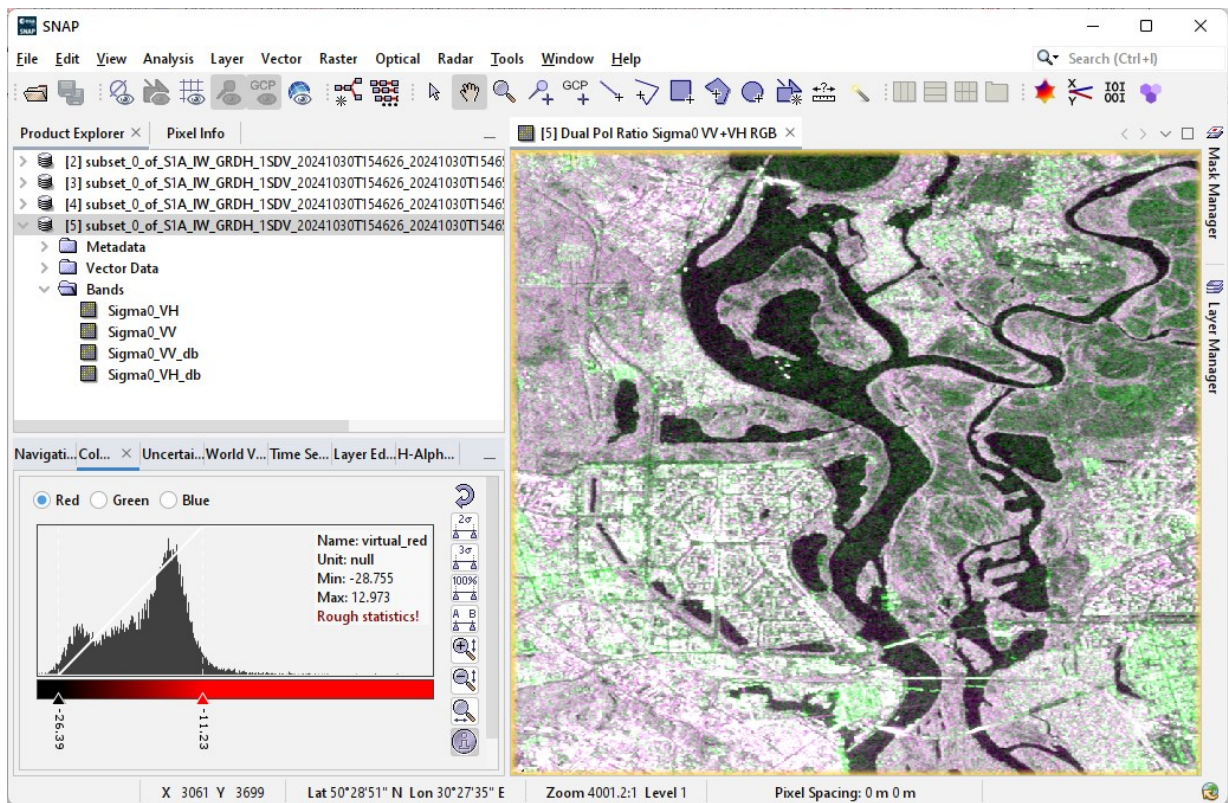


Рис. 11.16. Редагування контрастності зображення



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно:

1. Обробити знімок супутника Sentinel-1;
2. Навести приклади візуалізації знімка, які не перераховано у роботі;
3. Дати відповіді на такі питання:
 - а) яке початкове орієнтування радарного знімку відносно сторін світу, чому саме так?
 - б) які типи спотворень на радарному знімку усуває корекція рельєфу?
 - в) які комбінації каналів краще відображають різні об'єкти на знімку?

Список рекомендованої літератури

1. Аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах : робочий зошит. Частина 2 / С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, Л. Я. Юрків, О. В. Томченко; за ред. С. О. Довгого. – Київ : Національний центр «Мала академія наук України», 2021. – 224 с.

2. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах: навч.-метод. посіб. / С. О. Довгий, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма та ін. – Київ : Національний центр «Мала академія наук України», 2020. – 268 с

3. Квартич Т. М. Аналіз методів автоматизованої класифікації цифрових зображень дистанційного зондування землі / Т. М. Квартич // Інженерна геодезія : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; відп. ред. С. Войтенко. - Київ : КНУБА, 2014. Вип. 60. – С. 110-117.

4. Цифрове оброблення та дешифрування знімків: конспект лекцій / Т. М. Курач – К., 2021 – 50 с.

5. Arun Gunasekaran. Tutorial in SNAP Desktop for Sentinel 2 Data Pre Processing Applications -GNU GPL Environment. Conference: Internal Works. 2020.

6. End-to-End Google Earth Engine (Full Course). URL: <https://courses.spatialthoughts.com/end-to-end-gee.html> (дата звернення: 14.02.2024).

7. Time-series analysis with Sentinel-1. URL: <https://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20Time-series%20analysis%20with%20Sentinel-1.pdf> (дата звернення: 24.02.2024).

8. SAR Basics Tutorial. URL: <https://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20SAR%20Basics%20Tutorial.pdf> (дата звернення: 24.02.2024).

9. Supervised Classification in Erdas Imagine. URL: <https://gisrsstudy.com/supervised-classification-erdas-inagine/> (дата звернення: 24.08.2024).

10. Unsupervised Classification and Training in Erdas Imagine. URL:- <https://gisrsstudy.com/unsupervised-classification-erdas-imagine/> (дата звернення: 26.08.2024).

11. Natural and False Color Composites. URL: https://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/lessons/composites.html (дата звернення: 10.09.2021).

Навчально-методичне видання

**ДИСТАНЦІЙНЕ
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ
ЧАСТИНА 1**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Укладач **Плющ** Тетяна Миколаївна

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 5,81. Обл.-вид. арк. 6,25
Електронний документ. Вид № 8/V-25.

Виконавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р