

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва та архітектури

# **ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ**

Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Київ 2025

УДК 528.8

О-75

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.*

В авторській редакції.

**Основи** дистанційного зондування [Електронний ресурс]: методичні  
О-75 вказівки до виконання практичних робіт / уклад. Т.М. Плющ – Київ :  
КНУБА, 2025. – 84 с.

Містить завдання, опис та порядок виконання практичних робіт студентами з використанням безкоштовних ресурсів даних дистанційного зондування Землі та програмного забезпечення для отримання базових навичок обробки та роботи з космічними знімками.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій».

© КНУБА, 2025

## Зміст

<b>Загальні положення</b> .....	4
<b>1. Ресурси для отримання безкоштовних космічних знімків</b> .....	5
1.1. Copernicus Data Space .....	5
1.2. EO browser .....	7
1.3. USGS Earth Explorer .....	12
<b>2. Веб-додаток NASA – Giovanni</b> .....	18
<b>3. EOSDA LandViewer</b> .....	28
<b>4. Google Earth Engine</b> .....	38
<b>5. Обробка знімків у QGIS</b> .....	51
5.1. Калькулятор растрів .....	56
5.2. Класифікація зображень у QGIS .....	61
<b>6. Обробка знімків Sentinel-2 у програмному пакеті SNAP</b> .....	67
6.1. Вирізання фрагменту знімку .....	70
6.2. Обрахунок індексу NDVI .....	73
6.3. Математика каналів .....	75
6.4. Некерована класифікація знімків .....	77
<b>7. Завантаження знімків з високим розрізненням через SAS.Planet</b> .....	80
<b>Список літератури</b> .....	83

## Загальні положення

Дистанційне зондування Землі (далі ДЗЗ) – спостереження поверхні Землі авіаційними і космічними засобами, спорядженими різноманітними видами знімальної апаратури, з метою одержання інформації про будь-який об'єкт чи процес без прямого контакту з ними, дає змогу фіксувати зміни та визначати тенденції процесів, що відбуваються на поверхні Землі й над нею.

Методичні вказівки до практичних занять складено відповідно до програми з освітньої компоненти «Основи дистанційного зондування» та призначено для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня зі спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» денної та заочної форм навчання.

Методичні вказівки з дисципліни «Основи дистанційного зондування» мають за мету ознайомити здобувачів з різними ресурсами та типами даних ДЗЗ, які можна використовувати для навчання чи дослідної роботи, а також обробці цієї інформації у декількох програмних продуктах, які не потребують придбання ліцензії, тобто є безкоштовними та вільними у доступі.

В методичних вказівках наведено порядок виконання лабораторних робіт та приклади отриманих результатів.

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

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

## 1. Ресурси для отримання безкоштовних космічних знімків

*Мета завдання: зареєструватися та ознайомитися з браузерами для безкоштовного доступу до даних дистанційного зондування Землі та завантажити знімки для подальшого опрацювання.*



*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 на територію населеного пункту, звідки ви родом. Знайдіть знімок з мінімальною хмарністю (не більше 20%) за найближчі місяці від дати виконання вами даного завдання.*

### 1.1. Copernicus Data Space

Це вебплатформа 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.

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.

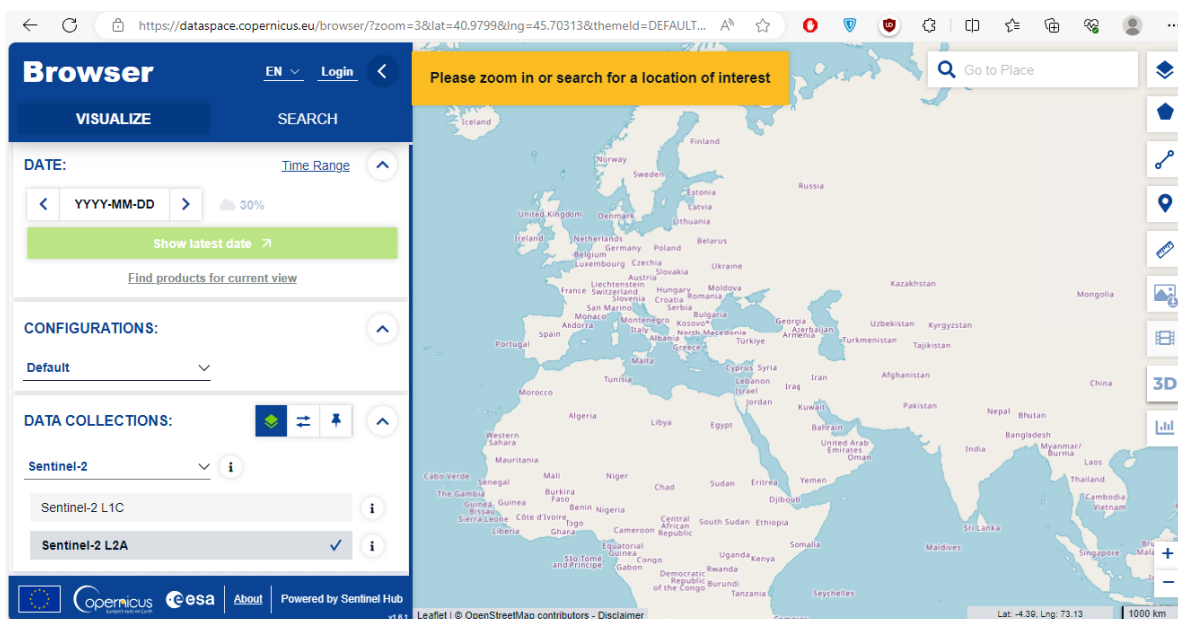


Рис. 1.1. Вікно браузера

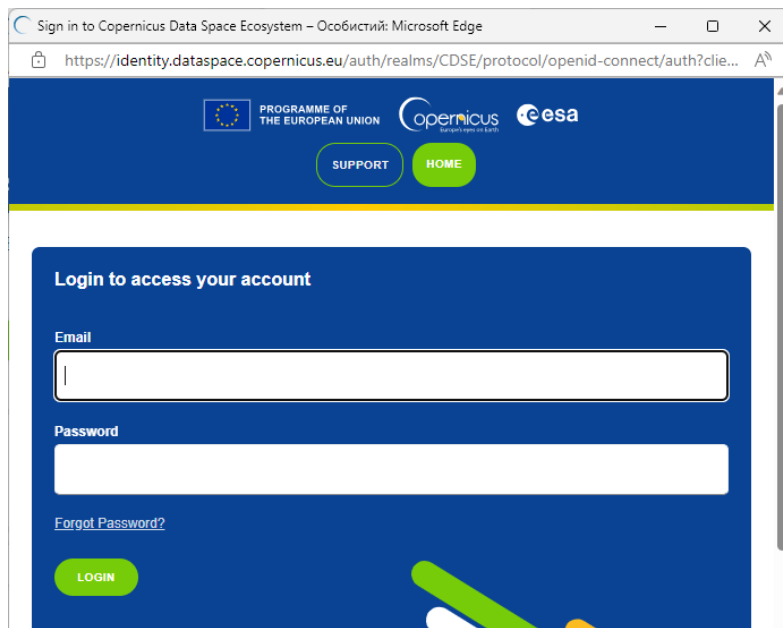


Рис. 1.2. Реєстрація на ресурсі Copernicus Data Space

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.

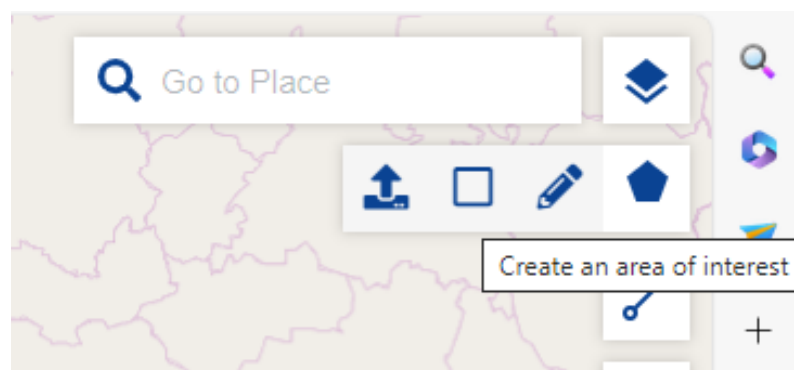


Рис. 1.3. Вибір зони інтересу

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.

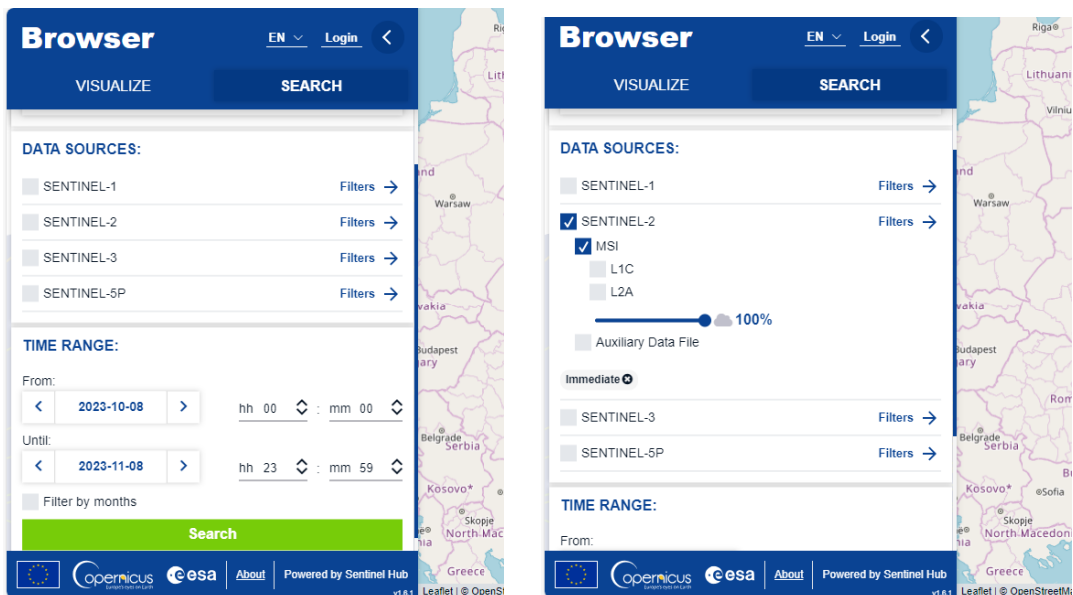


Рис. 1.4. Вибір критерій пошуку знімків

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).

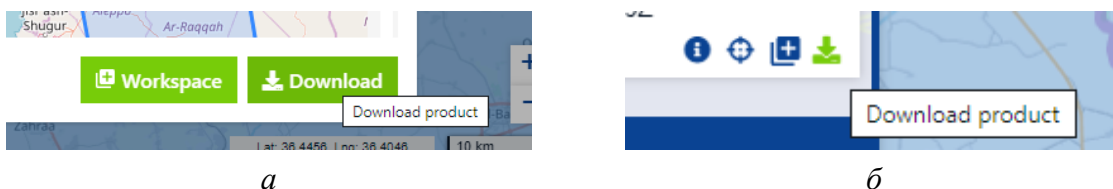


Рис. 1. 5. Варіанти (а) та (б) завантаження космічних знімків

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. EO browser

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.

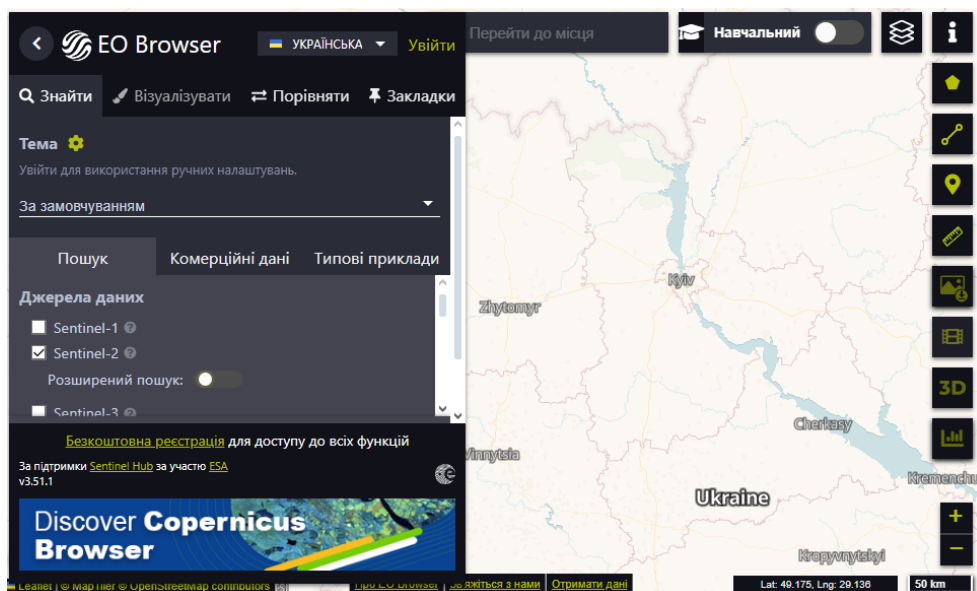


Рис. 1. 6. Робоче вікно EO browser

1. Насамперед 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*).



Рис. 1.7. 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'єкта, а потім зі списку, що випадає, вибрати його.

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

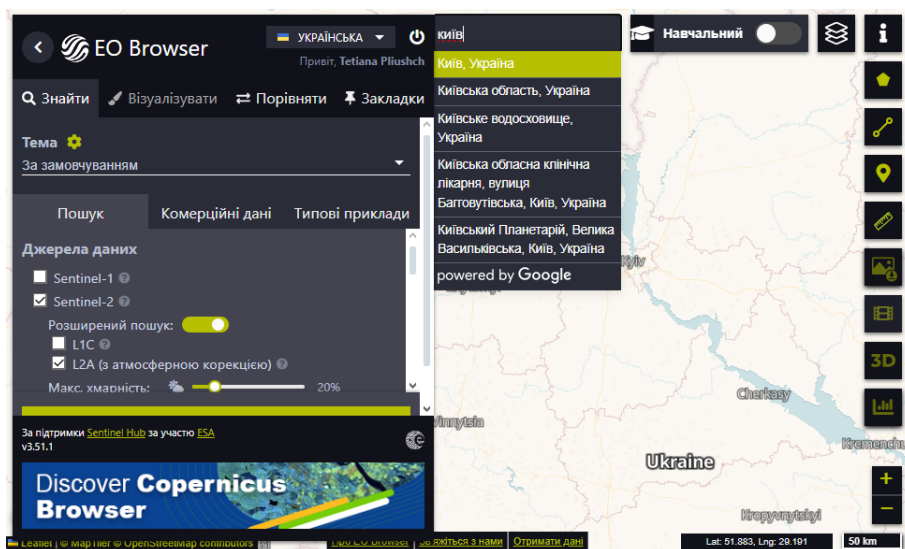


Рис. 1. 8. Пошук населеного пункту, території зацікавлення

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 вибрати:

- **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 спрацьовує.

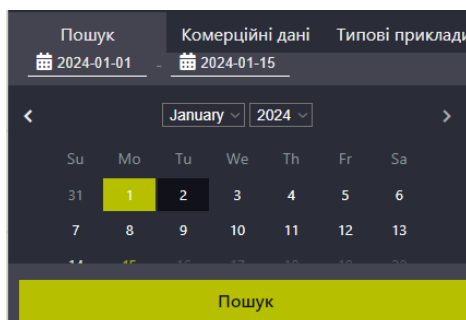


Рис. 1. 9. Вибір часового періоду через календар

4. Натисніть **Search** (Пошук). У результаті завантажаться 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.

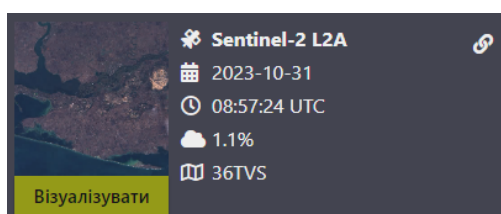


Рис. 1.10. Інформація про знімок

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.

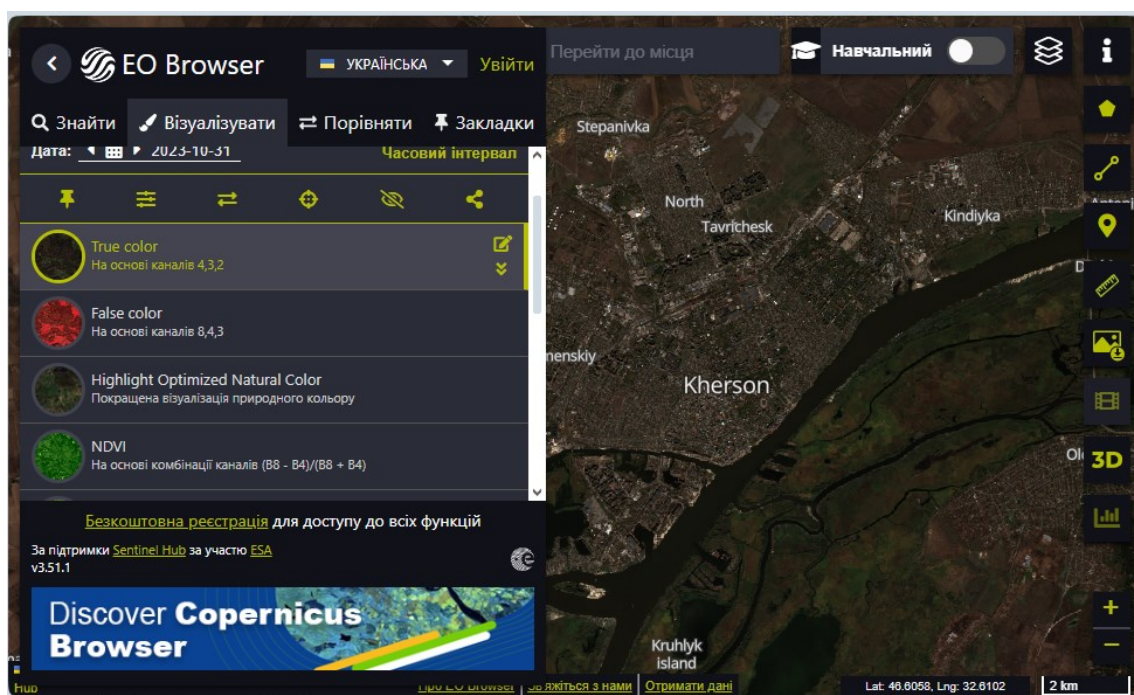


Рис. 1.11. Візуалізований знімок з можливими варіантами відображення

7. Спробуйте обрати по черзі кожну 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.*

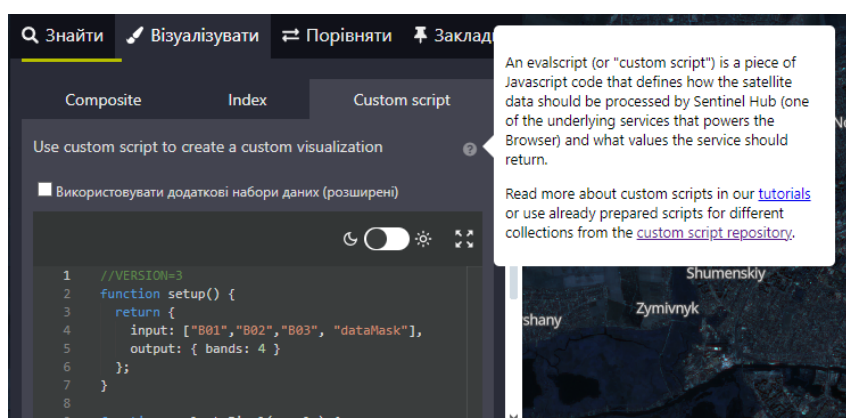



Рис. 1. 12. Блок Custom script у EO Browser

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.

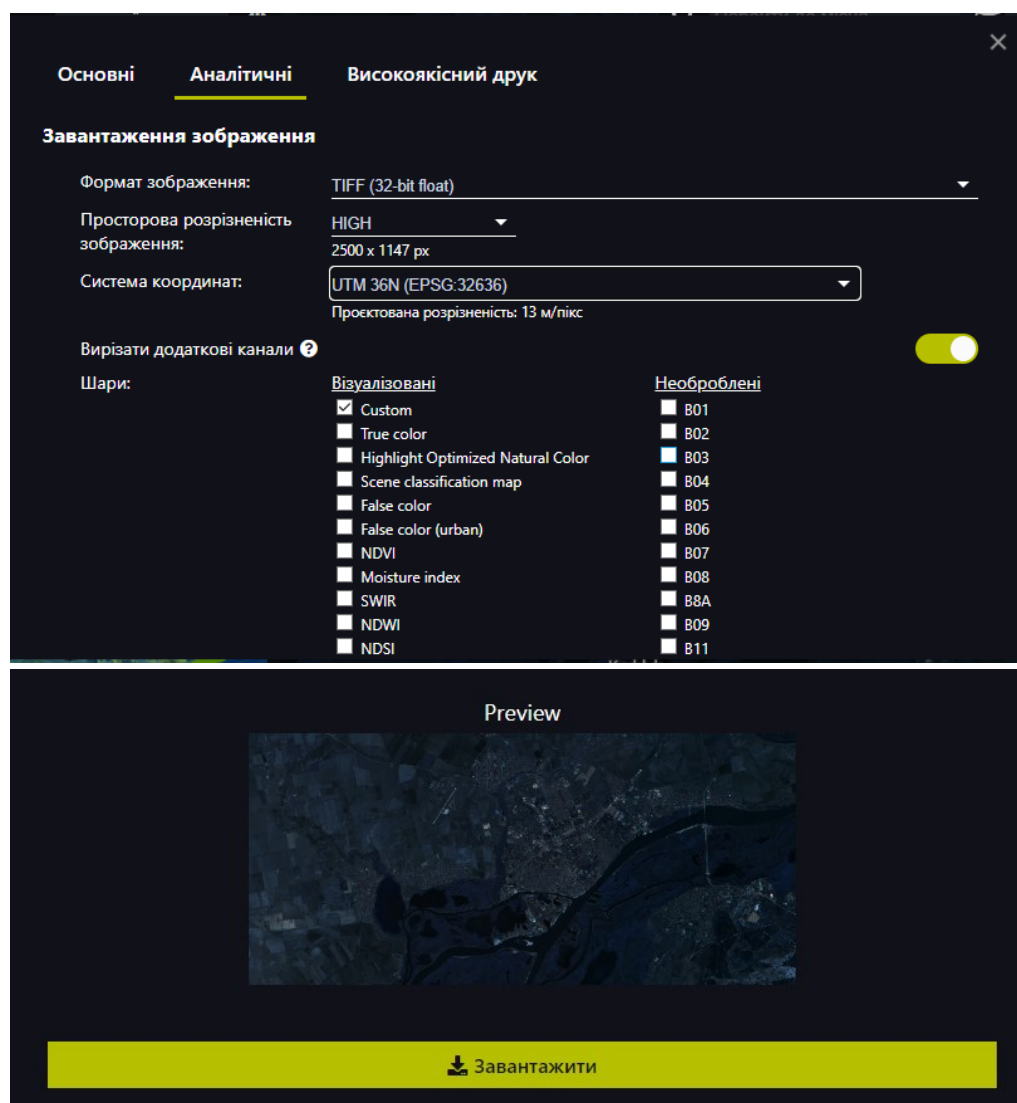


Рис. 1.13. Вікно завантаження знімку

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

### 1. 3. 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/>

1. Для можливості скачувати знімків потрібно зареєструватися на сайті, заповнивши анкету англійською, або ввійти 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 08/01/2021

Privacy and Paperwork Reduction Act statements: 15 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 [usgsinfo@usgs.gov](mailto:usgsinfo@usgs.gov).

Рис. 1.14. 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.

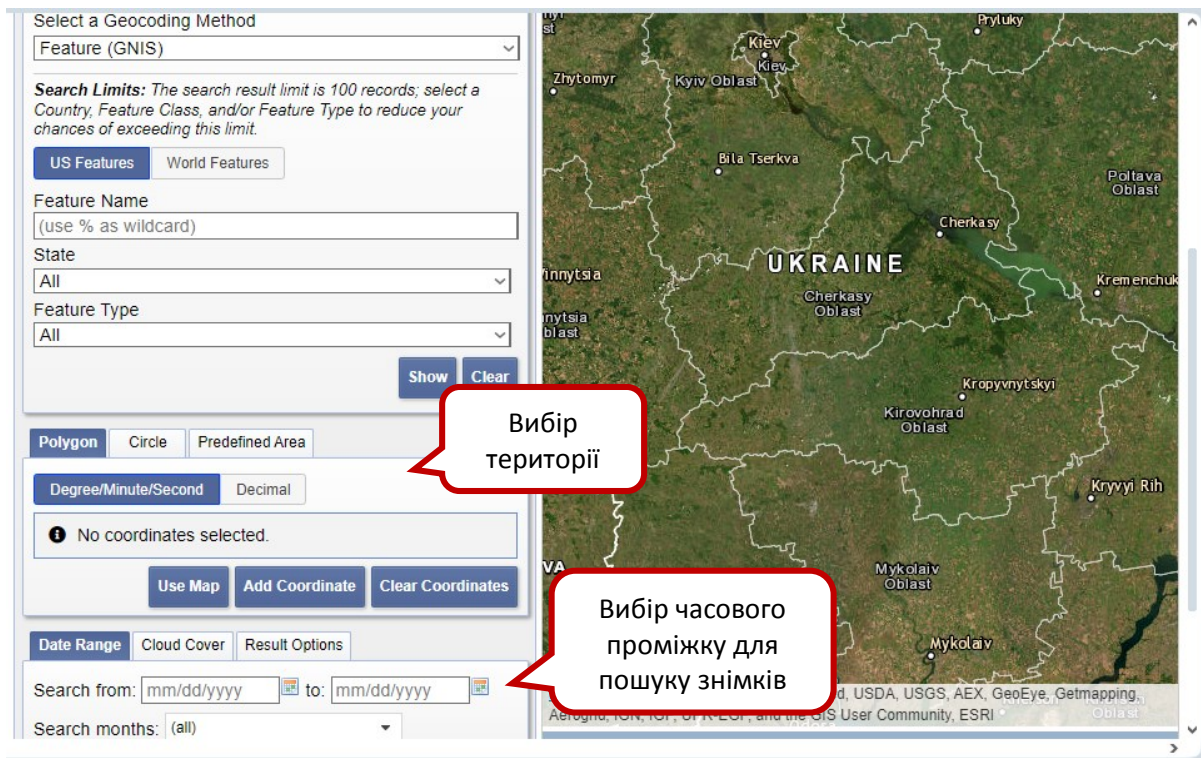


Рис. 1.15. Робоче вікно Earth Explorer

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 центру зони інтересу та задати необхідний радіус, щоб територія потрапила в середину зони, або ввівши назву населеного пункту чи адресу в пошуковому рядку.

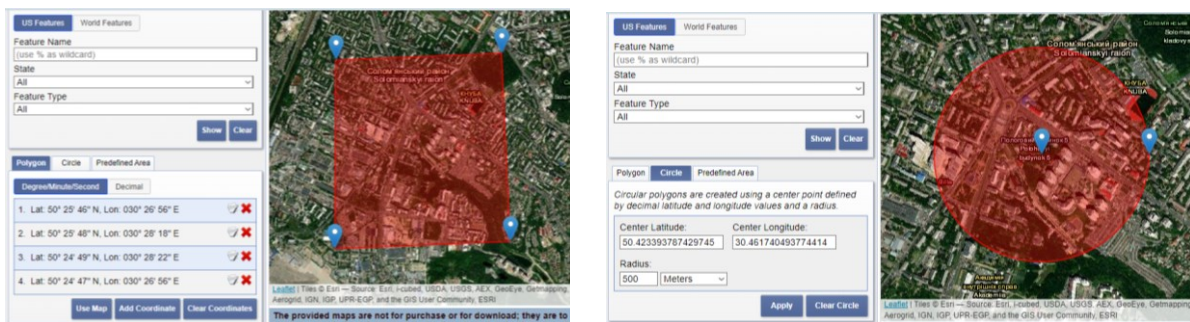


Рис. 1.16. Варіанти вибору зони інтересу

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:**.

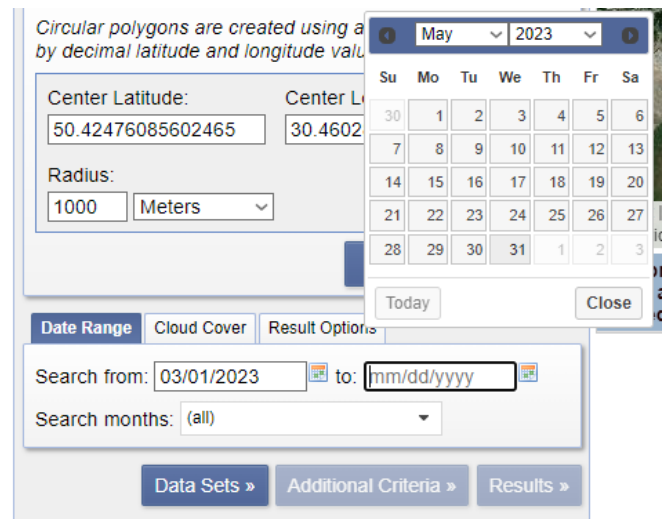


Рис. 1.17. Вибір часового періоду для пошуку знімків

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 супутників.

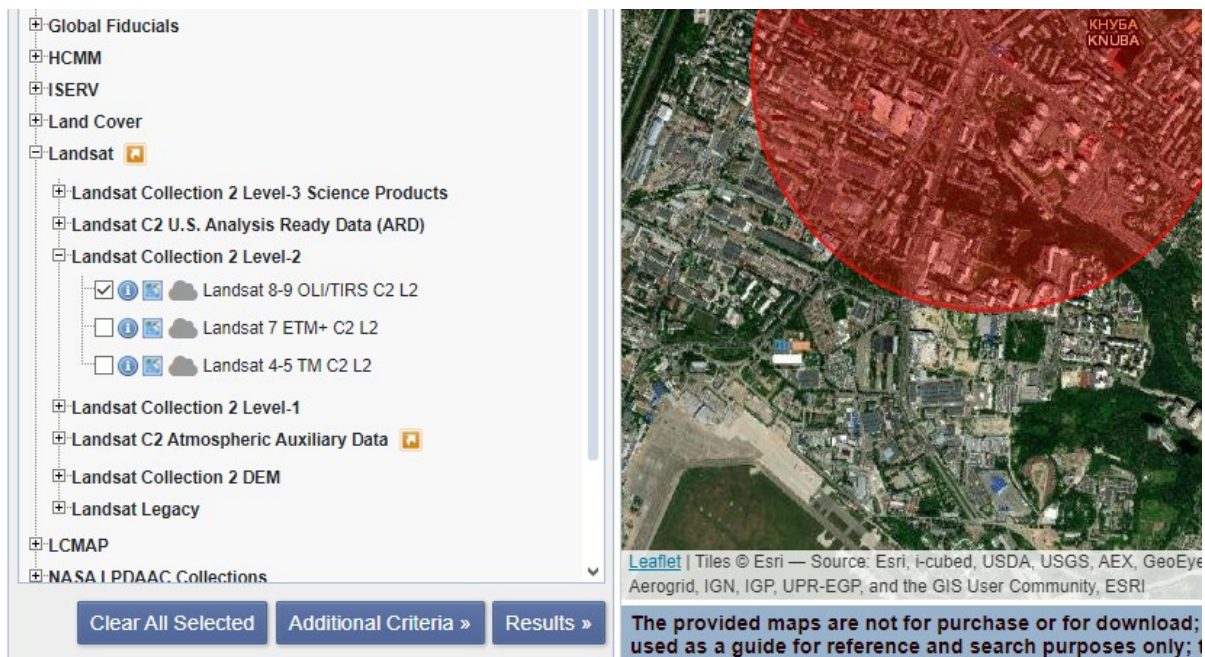


Рис. 1.18. Вибір набору даних супутника

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

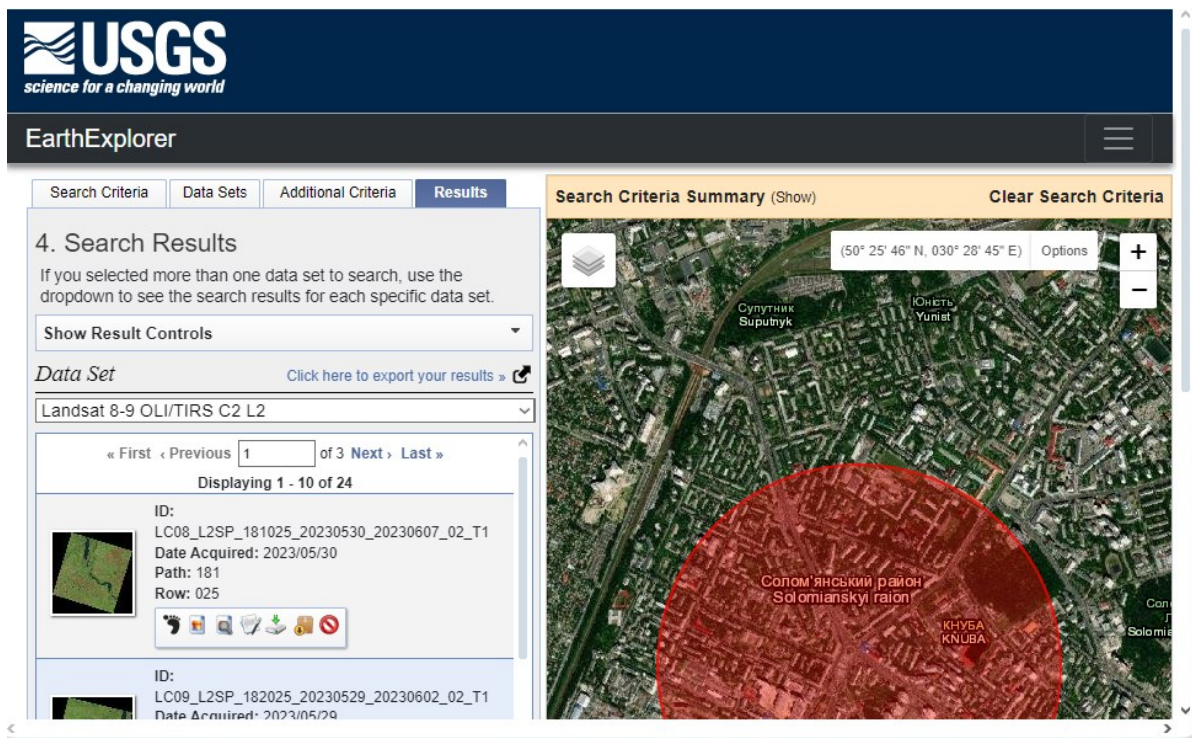


Рис. 1.19. Перелік знімків, які знайдені в результаті пошуку

Кожен знімок, який ми 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. 20), де **Show Footprint** (Показати слід) показує область покриття території знімком (сцену знімка); **Show Browse Overlay** (Показати перегляд накладення) показує попередній перегляд знімка.

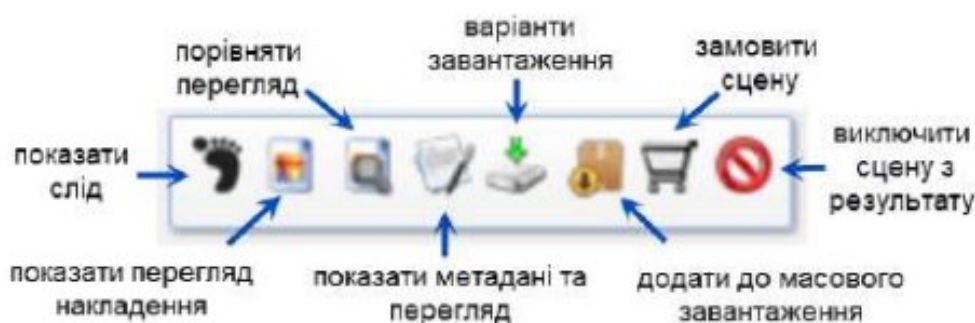


Рис. 1. 20. Панель інструментів

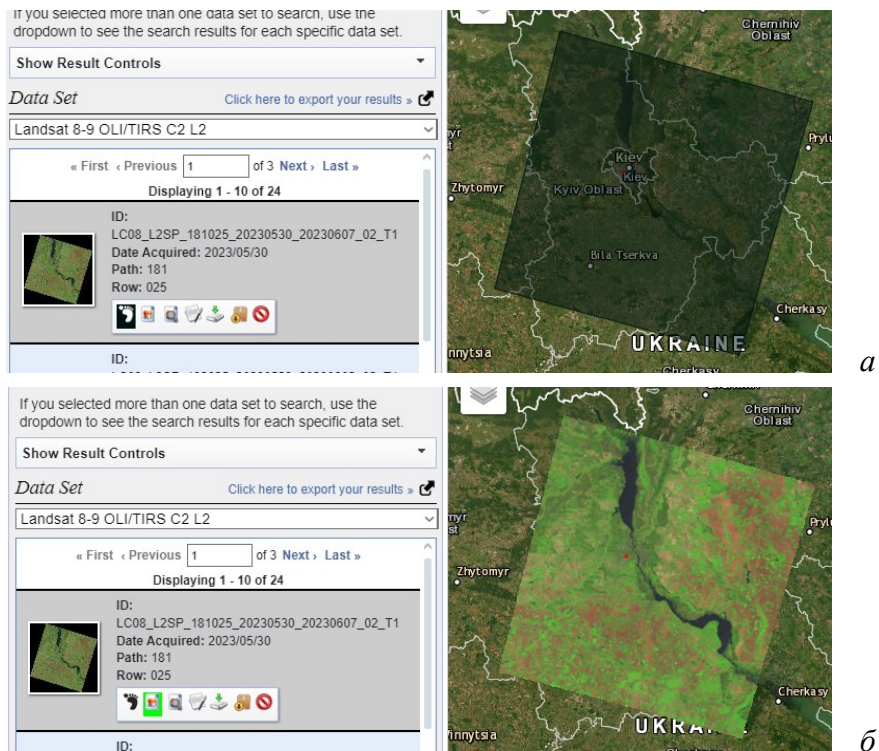


Рис. 1.21. Область покриття території знімок: темною заливкою позначено сцену знімка (а) або попередній перегляд знімка (б)

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).

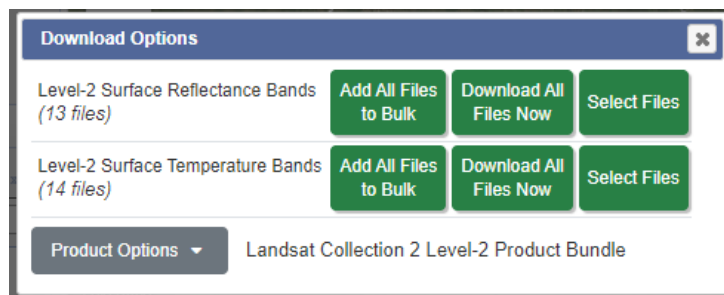


Рис. 1.22. Варіанти завантаження знімка

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

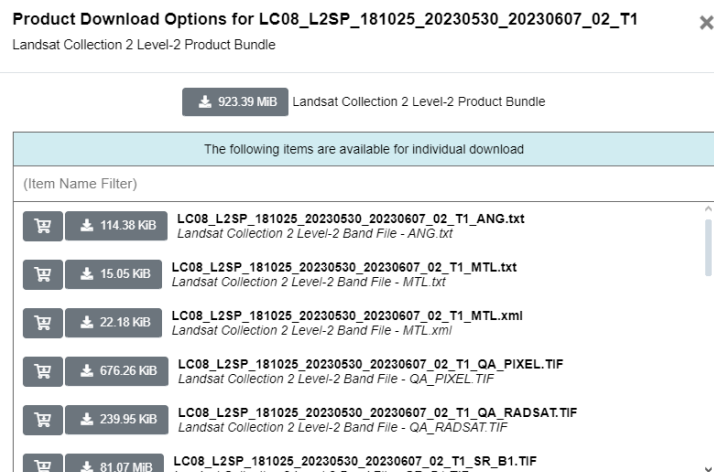


Рис. 1.23. Вікно завантаження знімків

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 скріни завантажених знімків з вказанням дати та населеного пункту і відповіді на питання:

1. Які типи візуалізації знімків доступні у розглянутих браузерях?
2. Чи можна порівнювати різночасові знімки у цих браузерях?
3. Що таке кастомні скрипти та як їх використовувати у роботі?
4. Які типи даних є доступними у цих браузерях?

## 2. Веб-додаток NASA – Giovanni

**Мета завдання:** використати веб-додаток для візуалізації, аналізу концентрації діоксиду азоту в атмосферному повітрі тропосфери на територію України і простежити динаміку кількості вуглекислого газу на цю саму територію, створивши відповідні карти та графік.

Giovanni відображає наукові дані з різних приладів на супутниках НАСА в різних форматах: графіки, часові ряди, середні значення, анімації та числові дані тощо. Сайт забезпечує доступ до численних супутникових наборів даних, які здебільшого стосуються атмосферного складу, атмосферної динаміки, глобальних опадів, гідрології та сонячного випромінювання.

Опади, температура, вологість та концентрація газу – це лише деякі із запропонованих даних, які можна завантажити. Реєстрація на сайті *Earthdata Search* дає змогу отримати повний доступ до даних із сайту Giovanni.

Офіційна сторінка: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

Для того щоб мати доступ до всього функціоналу ресурсу потрібно зареєструватися. Для цього натисніть кнопку **Login** (Залогітисся). Якщо ім'я користувача та логін для входу в Earthdata не введено, користувач може перейти в «гостьовий режим», натиснувши кнопку **Continue with limited access** (Продовжити з обмеженим доступом), щоб отримати доступ до функцій і даних Giovanni з обмеженими можливостями.

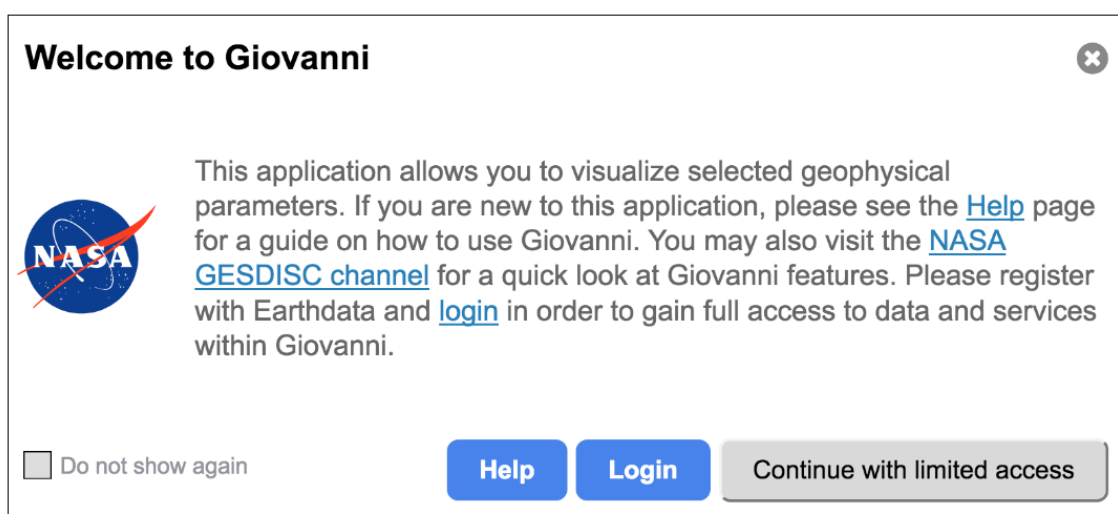


Рис. 2.1. Вибір варіанту користування сайтом

Якщо ви вже реєструвалися на цьому ресурсі, то в полі *Username* (Ім'я користувача) та *Password* (Пароль) вкажіть ваші дані при реєстрації. Якщо ви ще не працювали із цим ресурсом, то вам необхідно зареєструватися, для цього натисніть кнопку **Register** (Реєстрація). Вам необхідно заповнити листок реєстрації та ввести ваші персональні дані. На адресу, яку ви зазначили під час реєстрації, прийде лист підтвердження з указаною електронною поштою та логіном.

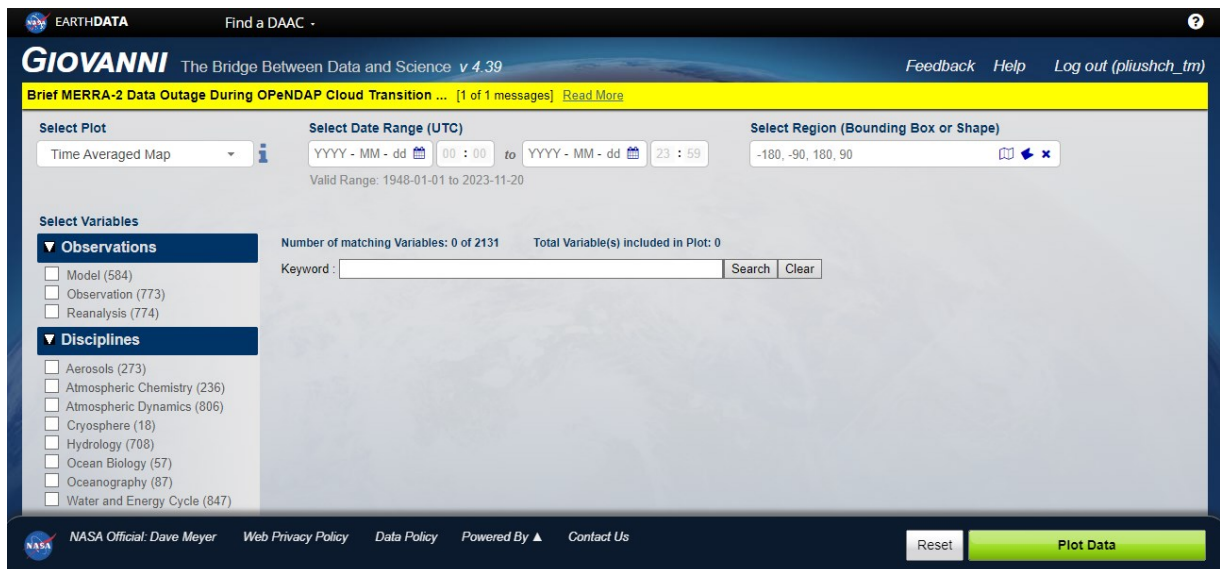


Рис. 2.2. Головне вікно сайту Giovanni

Алгоритм роботи із сайтом дуже схожий на попередні ресурси, які ми розглядали вище. По-перше, потрібно вибрати дані, які ви хочете завантажити, далі вибрати діапазон дат, а наступним кроком вибрати область, для якої ви хочете завантажити дані. Потім треба зазначити змінні, які ви хочете зіставити і завантажити. Наразі в Giovanni доступно понад 1 600 змінних. На сайті є можливість пошуку за ключовими словами, щоб знайти відповідну змінну.

1. У верхній частині інтерфейсу є меню для різних типів візуалізацій, доступних у Giovanni. Якщо потрібно вибрати візуалізацію, перейдіть у поле **Select Plot** (*Вибір візуалізації*) у верхньому лівому куті. Візуалізацією за умовчанням є усереднена за часом карта (**Time Averaged Map**).

На зображенні нижче показано меню типів візуалізації, яке з'являється, якщо клацнути стрілку вниз (▼) у полі **Select Plot**.

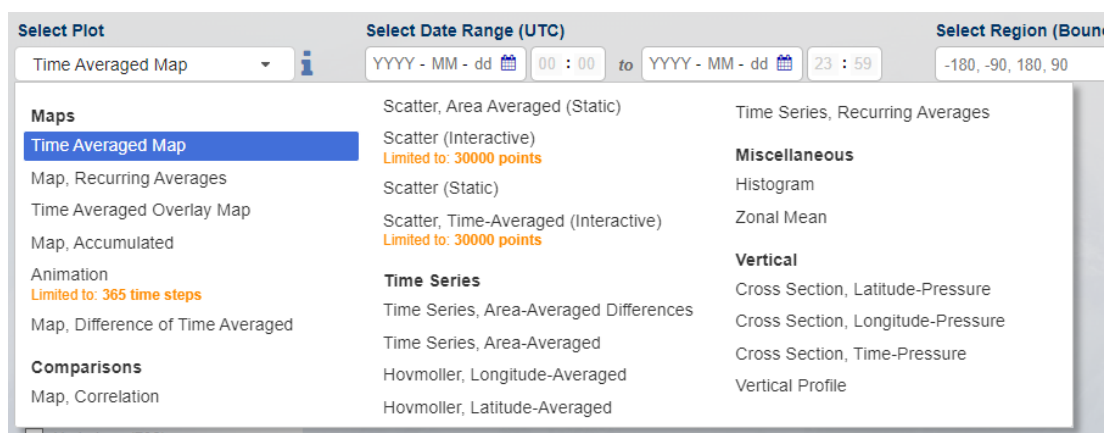


Рис. 2.3. Меню типів візуалізації

2. Наступним розділом інтерфейсу є розділ **Date Range Selection** (*Вибір діапазону дат*). Дати початку та дати завершення вибираються за допомогою розкритих календарів, як показано нижче. Дати також можна вводити вручну у форматі РРРР-ММ-ДД. Якщо діапазон дат введено неправильно, з'являться повідомлення про помилки. Якщо вибрано дані з часовими інтервалами, що не йдуть на добу (тобто щогодини, 3 години), буде активовано поле вибору годин і хвилин (ГГ:ХВ).

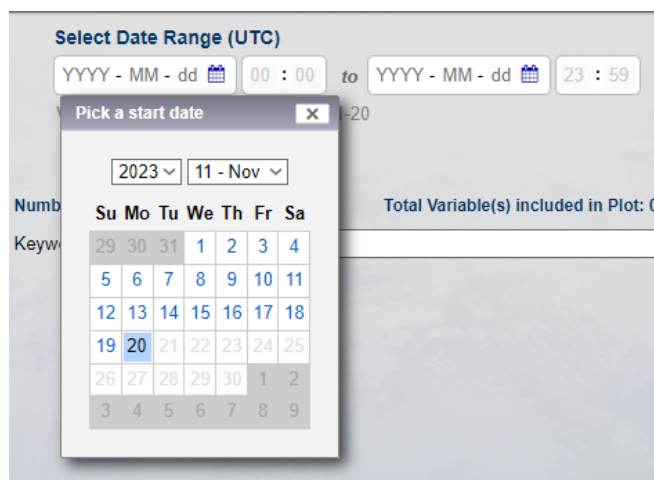


Рис. 2.4. Вибір часового діапазону

3. Розділ праворуч від розділу **Date Range** – це розділ **Select Region** (*Вибрати регіон*). Існує три варіанти визначення регіону інтересу:

- вибір обмежувальної рамки вручну (шляхом визначення меж широти та довготи для прямокутної області),
- вибір обмежувальної рамки з інтерактивною картою (шляхом натискання та перетягування за допомогою курсор) або
- вибравши область фігури в меню **Shape** (*Фігура*).

Координати рамки широти й довготи вводяться в такому порядку: захід, південь, схід і північ. Якщо використовуються числові координати, західні довготи та південні широти вводяться як від'ємні числа. Літери W-S-E-N також можна використовувати замість числових координат. Таким чином, широта 5 градусів на південь може бути введена як -5,0 або 5,0 пд. Значок «X» очищає записи в полі.

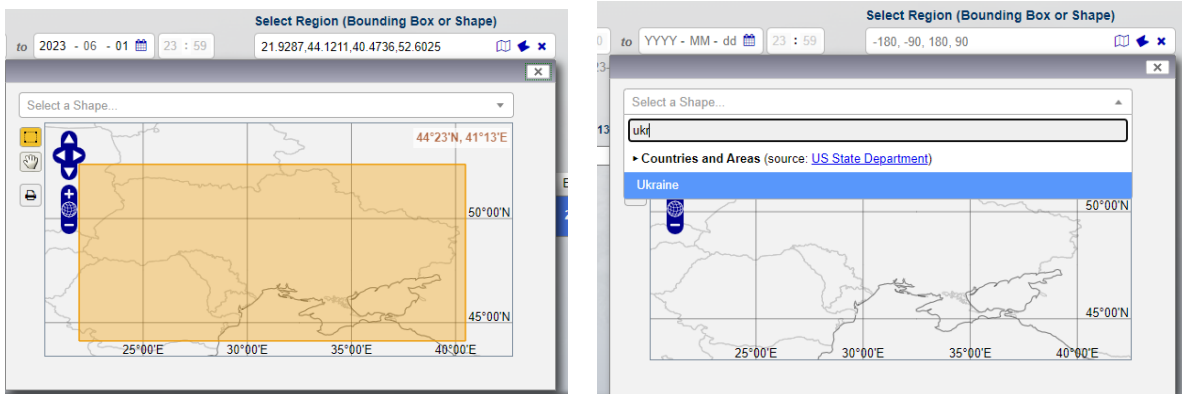


Рис. 2.5. Способи вибору території

4. Вибір змінної за допомогою інтерфейсу Giovanni. Вибираємо *Atmospheric Chemistry* (Хімічні складники повітря); далі в новому списку, що відобразиться у вікні, вибираємо *NO<sub>2</sub> Tropospheric Column (30% Cloud Screened)* (*NO<sub>2</sub> у стовпі тропосфери (хмарність до 30%)*) для відображення кількості діоксиду азоту в шарах тропосфери); натискаємо кнопку *Plot Data* (Візуалізація даних) для відображення даних.

Variable	Units	Source	Temp Res	Spat. Res	Begin Date	End Date	Vert. Slice
<input type="checkbox"/> Ozone Total Column (Daytime/Ascending) (AIRX3STD v006)	DU	AIRS	Daily	1°	2002-08-31	2016-09-25	-
<input type="checkbox"/> Ozone Total Column (Nighttime/Descending) (AIRX3STD v006)	DU	AIRS	Daily	1°	2002-08-31	2016-09-25	-
<input type="checkbox"/> Ozone Total Column (Daytime/Ascending) (AIRX3STM v006)	DU	AIRS	Monthly	1°	2002-09-01	2016-10-01	-
<input type="checkbox"/> Ozone Total Column (Nighttime/Descending) (AIRX3STM v006)	DU	AIRS	Monthly	1°	2002-09-01	2016-10-01	-
<input type="checkbox"/> Ozone Total Column (DOAS) (OMDOAO3e v003)	DU	OMI	Daily	0.25°	2004-10-01	2023-11-17	-
<input type="checkbox"/> NO2 Total Column (30% Cloud Screened) (OMNO2d v003)	molecules/cm <sup>2</sup>	OMI	Daily	0.25°	2004-10-01	2023-11-18	-
<input checked="" type="checkbox"/> NO2 Tropospheric Column (30% Cloud Screened) (OMNO2d v003)	molecules/cm <sup>2</sup>	OMI	Daily	0.25°	2004-10-01	2023-11-18	-
<input type="checkbox"/> Ozone Total Column (TOMS-Iika) (OMTO3d v003)	DU	OMI	Daily	1°	2004-10-01	2023-11-17	-
<input type="checkbox"/> Ozone Total Column (TOMS-							

Рис. 2.6. Вибір змінної

5. У результаті у вас підвантажиться карта з усередненими даними (на рік) забруднення діоксидом азоту вибраної території.

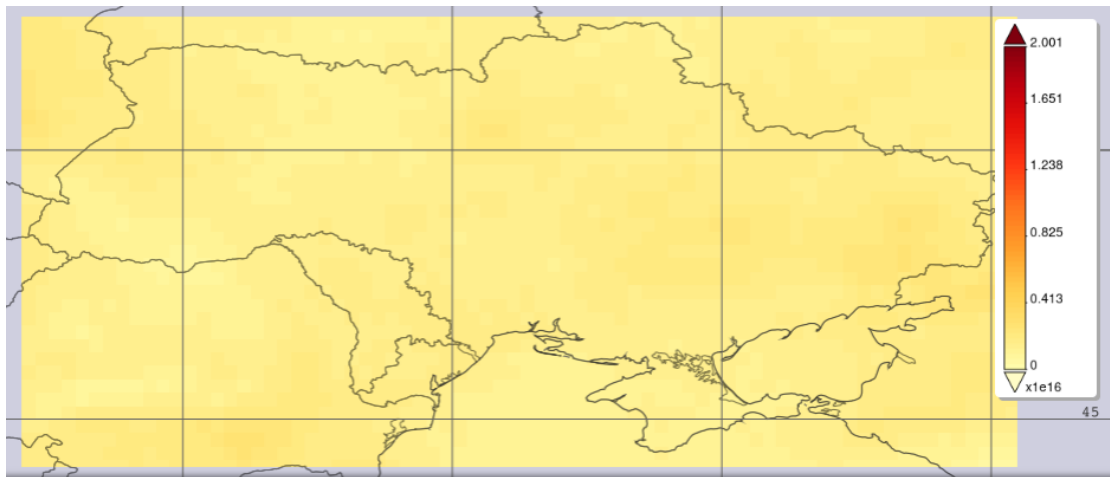


Рис. 2.7. Візуалізація обраних даних

Різниця у значеннях на карті візуально не помітна за стандартної класифікації зображення, оскільки градація умовних позначень автоматично проставляє максимальне значення 10000000000000000 молекул на см<sup>2</sup>, а наша територія більшою мірою потрапляє в діапазон до 5000000000000000; тому ми змінимо діапазон максимального значення для відображення із стандартного на 5000000000000000. Для цього вибираємо інструмент **Options (Опції)** → **Options (Опції)**. Максимальне значення «5000000000000000»; **Smoothing (Згладження)** → **On (Увімкнуті)** → **Re-Plot (Повторне оброблення)**.

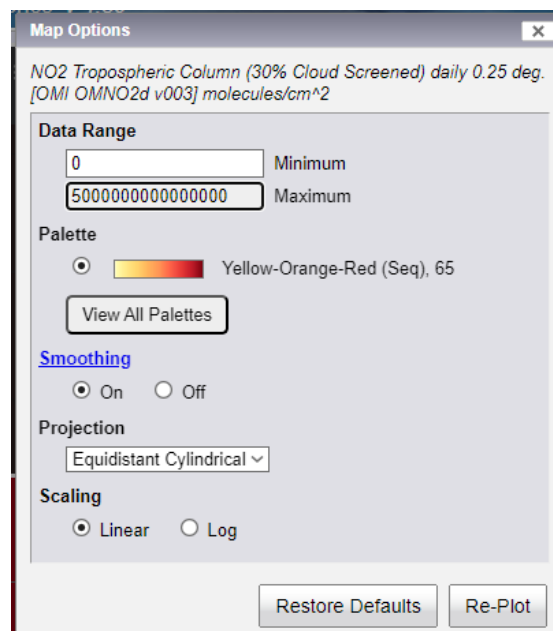


Рис. 2.8. Діалогове вікно інструмента опції

Ви отримаєте карту усередненої (за рік) концентрації діоксиду азоту на вибрану територію.

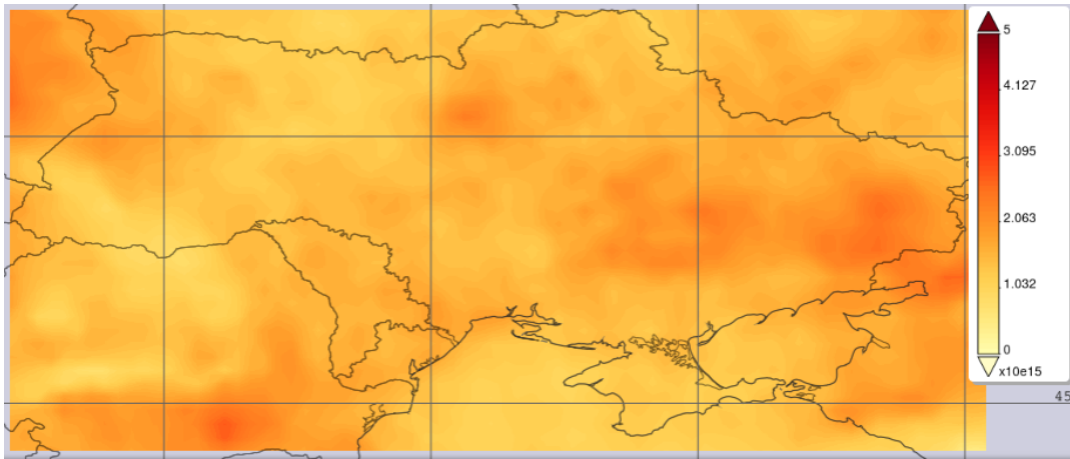


Рис. 2.9. Оновлена карта концентрації діоксиду азоту на вибрану територію

Ця карта залишиться в пам'яті сервісу, окремо зберігати її не потрібно. Для того щоб перейти до виконання наступного завдання, натисніть на екрані кнопку ***Back to Data Selection*** (*Повернутися до вибору даних*), що міститься у правому нижньому кутку вікна.

6. Знайдіть усереднене значення концентрації діоксиду азоту в шарах тропосфери на цю саму територію з 15 червня 2019 р. по 15 червня 2020 р. та з 15 червня 2014 р. по 15 червня 2015 р (за тим самим алгоритмом).

Отже, в таблиці змісту у вас відображаються карти, які ви створювали. Перемикаючи між ними (клікаючи лівою кнопкою мишки по назві карти), можна їх візуально порівняти.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно підготувати відповіді на питання:

1. Чому і як, на Вашу думку, змінилася концентрація показника діоксиду азоту у 2019- 2020 рр. порівняно з періодом 2014–2015 рр.?

2. Промоніторте концентрацію показника діоксиду азоту у 2022 - 2024 рр. порівняно з періодом 2014–2015 рр. Як вплинула широкомасштабна фаза російсько-української війни на концентрацію цього забруднювача атмосфери?

3. Які наслідки для екологічної ситуації має ця зміна концентрації діоксиду азоту в повітрі?

4. Створені карти концентрації діоксиду азоту.

---

7. Тепер подивимося на концентрацію діоксиду карбону, що впливає на процес глобального потепління Землі, на цій самій території з 2002 по 2024 р.

Діоксид карбону – одна зі сполук, яка негативно впливає на глобальні кліматичні зміни. Простежте, як змінювався цей показник для уже вибраної вами території за весь можливий у Giovanni часовий період дослідження цієї сполуки: у полі **Select Plot** (*Вибір візуалізації*) вкажіть спосіб відображення **Time Series Area Averaged** (*Усереднене значення за часовим проміжком*); це стандартний графік усередненого значення показника для вибраного часового ряду, він показує зміни концентрації діоксиду вуглецю на вибрану нами територію; бачимо в тому самому розділі **Atmospheric Chemistry** (*Хімічні складники повітря*) можливість дослідити концентрацію CO<sub>2</sub> за різні часові проміжки, зокрема за 2002–2012 і 2010–2024 рр. Отже, можна відобразити концентрацію CO<sub>2</sub> за дві пари різних часових періодів (2002–2012 і 2010–2024) двома різними графіками. Для цього треба поставити галочку навпроти одного з двох показників, вказати відповідний часовий ряд, за який відбувався збір інформації за цим показником, і натиснути **Plot Data** (*Візуалізація даних*).

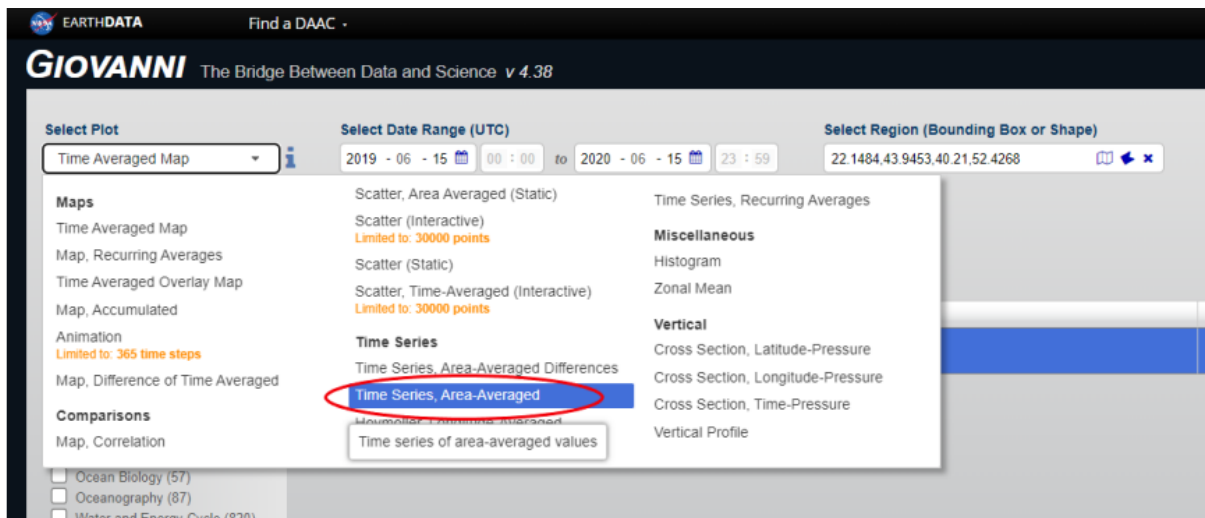


Рис. 2.10. Розташування інструмента відображення даних спосіб відображення Time Series Area Averaged

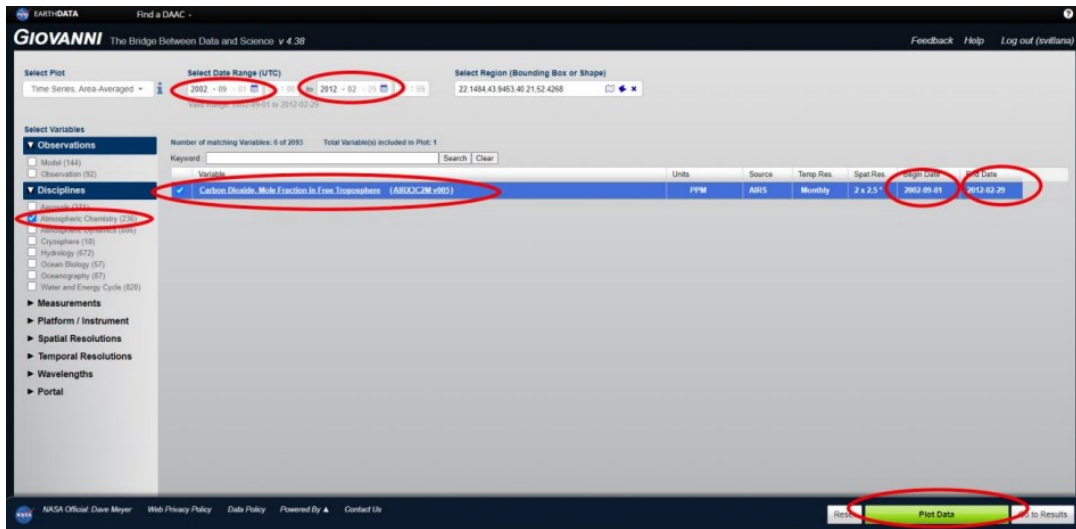


Рис. 2.11. Налаштування даних графіка концентрації CO<sub>2</sub> на заданий період  
Відобразяться два графіки за часовий період 2002–2012 і 2010–2017 рр.

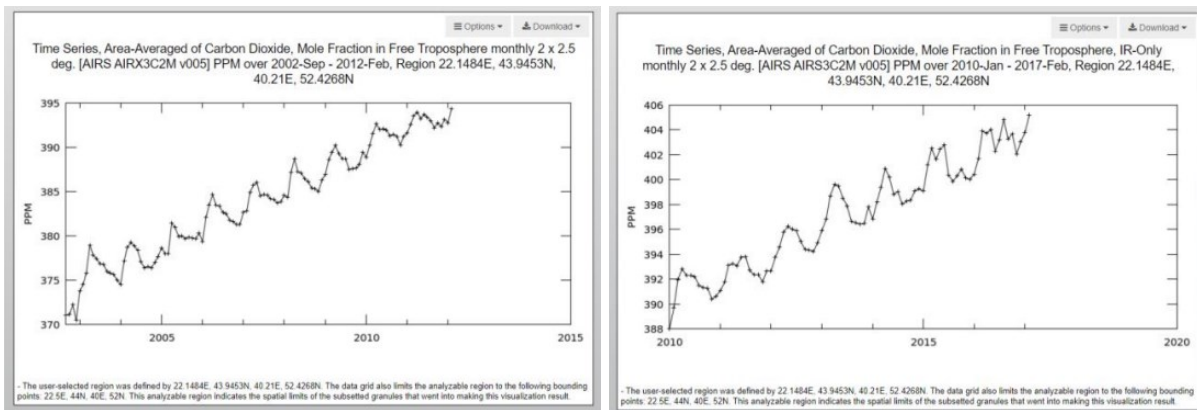


Рис. 2.12. Графіки концентрації CO<sub>2</sub> період за два періоди

8. Графіки можна завантажити окремо, натиснувши на кнопку **Image (Зображення)** і зберегти як малюнок або ж завантажити на свій комп'ютер окремо різні часові періоди і сформувати спільний графік у **Microsoft Excel** – для цього необхідно в рубриці **History (Історія)** вибрати **Downloads (Завантажити)** режим **CSV**; у вас відобразатимуться два файли **CSV**, бо ви опрацювали два часових проміжки.

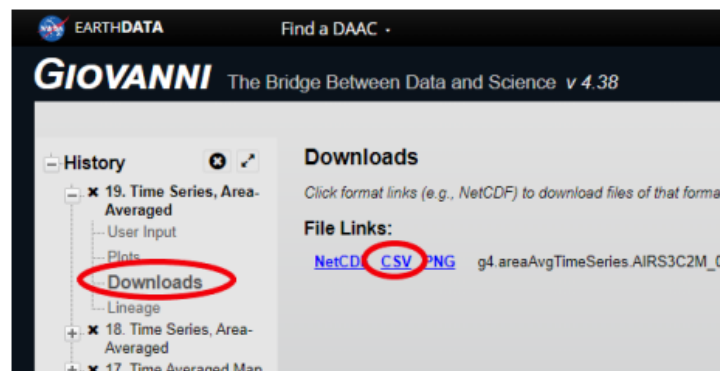


Рис. 2.13. Інтерфейс інструмента завантаження даних

9. Завантажте обидва файли **CSV** і об'єднайте їх у **Microsoft Excel** (перенесіть дані, яких не вистачає для відображення часового ряду з 2002 по 2024 р.).

Якщо на вашому комп'ютері файли відображаються некоректно (не відбулося автоматичної розбивки інформації на дві колонки: дата і показник концентрації вуглекислого газу), застосуйте інструмент **Text to Columns** (Текст за стовпцями) на панелі меню Excel. Виділіть першу колонку і в діалоговому вікні інструменту виберіть знак табуляції (кома, крапка, пробіл, крапка з комою тощо), за яким має відбутися розбивка інформації у стовпцях таблиці.

Створіть графік концентрації CO<sub>2</sub> із 2002 по 2024 р. у довільному форматі.

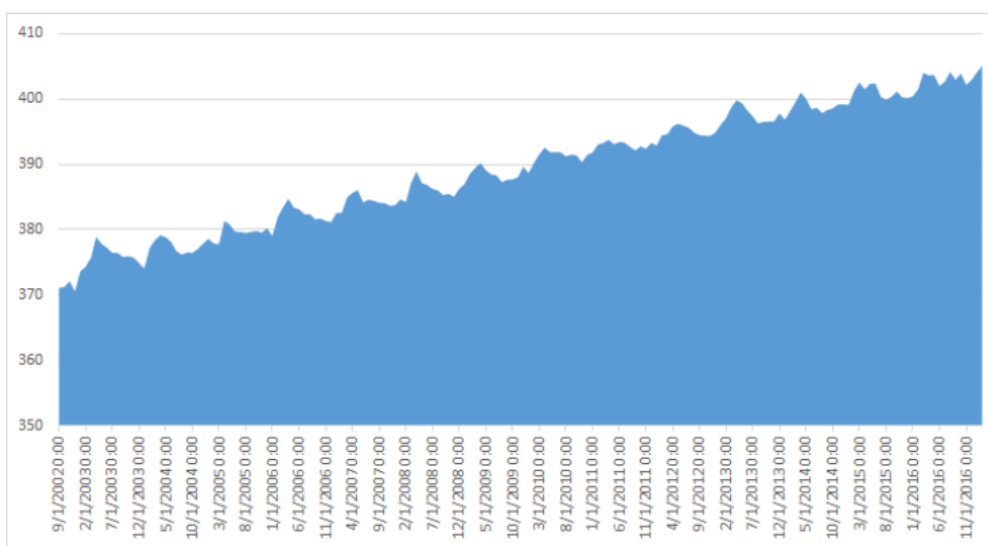


Рис. 2.14. Графік концентрації CO<sub>2</sub> в період з 2002 по 2017 роки на обрану територію дослідження



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно підготувати відповіді на питання:

1. Наскільки збільшилася концентрація CO<sub>2</sub> з 2002 по 2024 р.?
2. Як впливає широкомасштабна фаза українсько-російської війни на концентрацію CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі ?
3. Спробуйте спрогнозувати зміну концентрації CO<sub>2</sub> на цю місцевість у 2032 р.
4. Які ще хімічні сполуки можна дослідити на ресурсі Giovanni?
5. Побудовані вами графіки концентрації CO<sub>2</sub>.

### 3. EOSDA LandViewer

*Мета завдання: отримати растри кількох індексів, знайти різночасові зміни на місцевості та виконати аналіз часових рядів.*

EOSDA LandViewer – це інструмент для роботи з супутниковими даними. Він дозволяє оперативно шукати, обробляти і вилучати цінну інформацію з супутникових знімків для вирішення реальних бізнес-задач.

EOS (Earth Observing System) розробила цифрову агроплатформу як ще один потужний і надійний аналітичний інструмент, заснований на супутникових даних, для фермерів, трейдерів і страховиків. Завдяки оптимальній інтеграції супутникових зображень, індексів рослинності, погодних та інших цінових даних на цій платформі моніторинг полів як ніколи ефективний.

Інтегрований у платформу EOSDA, EOSDA LandViewer допомагає виконувати такі завдання:

- вибір зображення з найбільшого каталогу супутникових знімків;
- миттєво обробляти та аналізувати його за допомогою набору вдосконалених інструментів;
- зберігати, завантажувати та інтегрувати просторові дані в різних форматах.

Базовий перегляд LandViewer відкритий для кожного, але для повноцінної роботи з сервісом потрібна реєстрація. Для безкоштовних облікових записів наявне обмеження перегляду 10 знімків на добу, але для більшості завдань такої кількості цілком достатньо. Сервіс надає доступ до знімків із більше десятка різних супутників. Для нашої території найкориснішими з цього переліку є мультиспектральні знімки Landsat-8 та Sentinel-2.

Робота з цими знімками у LandViewer дає багато додаткових функцій та можливостей: фільтрування, калібрування, корекцію, створення власної області інтересів, вимірювання відстаней та площ довільних конфігурацій, інструменти порівняння різночасових знімків, розрахунок вегетаційних індексів і т.п.

Щоб зареєструватися в EOSDA LandViewer, перейдіть на сторінку <https://eos.com/landviewer/> .

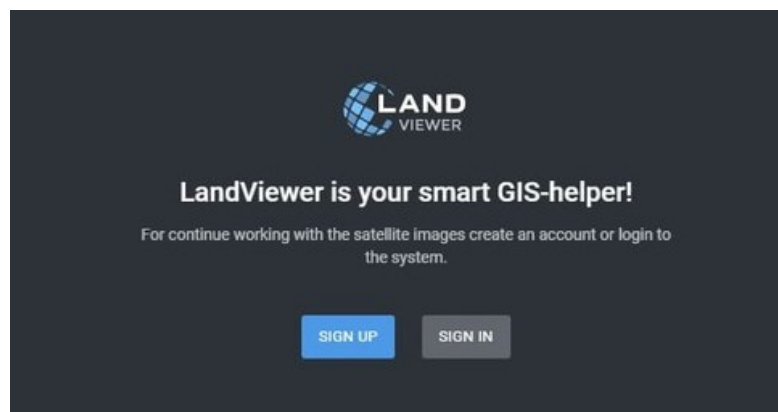


Рис. 3.1. Вікно реєстрації на ресурсі

1. Натисніть **Sign up** (*Зареєструватися*) та введіть усі необхідні облікові дані. Зауважте, що ви також можете увійти за допомогою облікового запису G+, LinkedIn або Facebook.

Рис. 3.2. Форма для реєстрації на сайт

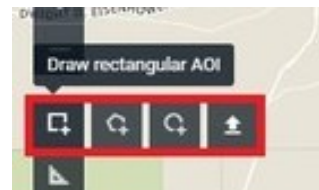
2. Щоб розпочати роботу з EOSDA LandViewer, спершу потрібно знайти територію, з якою ви будете працювати. Існує кілька способів це зробити:

- введіть адресу в поле пошуку;
- введіть координати в поле пошуку;
- прокрутіть, знайдіть місце на карті та наведіть на нього вказівник.

Коли місцезнаходження знайдено, LandViewer за замовчуванням позначає його багатокутником. Ви також можете вказати область, яка

більше відповідає вашим інтересам, використовуючи AOI – інструмент для роботи з певною областю зображення. Щоб установити AOI в EOSDA LandViewer, виберіть один із наведених нижче параметрів:

- намалюйте «прямокутний AOI», використовуючи панель інструментів на лівій бічній панелі;
- намалювати коло AOI;
- намалювати багатокутник AOI.
- завантажте свій файл KML, GeoJSON, Shp у EOSDA LandViewer.



3. Після встановлення AOI на правій бічній панелі з'явиться список знімків із усіх супутників, доступних у EOSDA LandViewer.

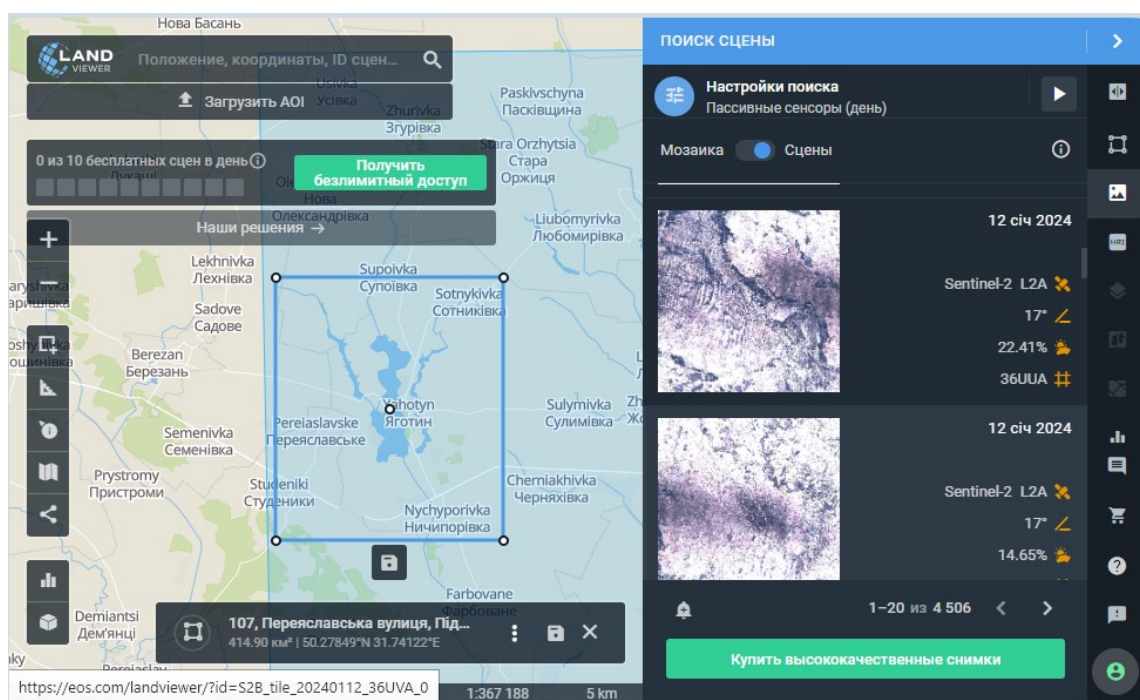


Рис. 3.3. Вибір знімків на задану територію

Наведіть вказівник миші на зображення одне за іншим, щоб вибрати те, яке повністю охоплює ваш AOI

Клацніть Усі фільтри та виберіть Джерело зі спадного меню:

- пасивні сенсори (день) -Sentinel-2 L2A, L1C, Landsat 8 OLI + TIRS, Landsat 7 ETM +, Landsat 4-5 TM, Landsat 4-5 MSS, CBERS 4 MUX, CBERS 4 WFI, CBERS 4 PAN 10, CBERS 4 PAN5, NAIP;
- пасивні сенсори (ніч) – Landsat 8 OLI + TIRS, Landsat 7 ETM+, Landsat 4-5 TM;
- пасивні сенсори (низька розрізненість) – MODIS MCD43A4;

- активні сенсори – Sentinel-1 GRD IW, Sentinel-1 GRD EW, Sentinel-1 GRD SM;
- terrain Tiles;
- зображення високої розрізненості – SPOT 5, SPOT 6,7 Pleiades 1A, 1B, KOMPSAT-2, KOMPSAT-3, KOMPSAT 3-A, SuperView, Gaofen 1, Gaofen 2, Ziyuan-3, TripleSat;
- файли EOSDA Storage – усі файли, збережені в EOSDA Storage.

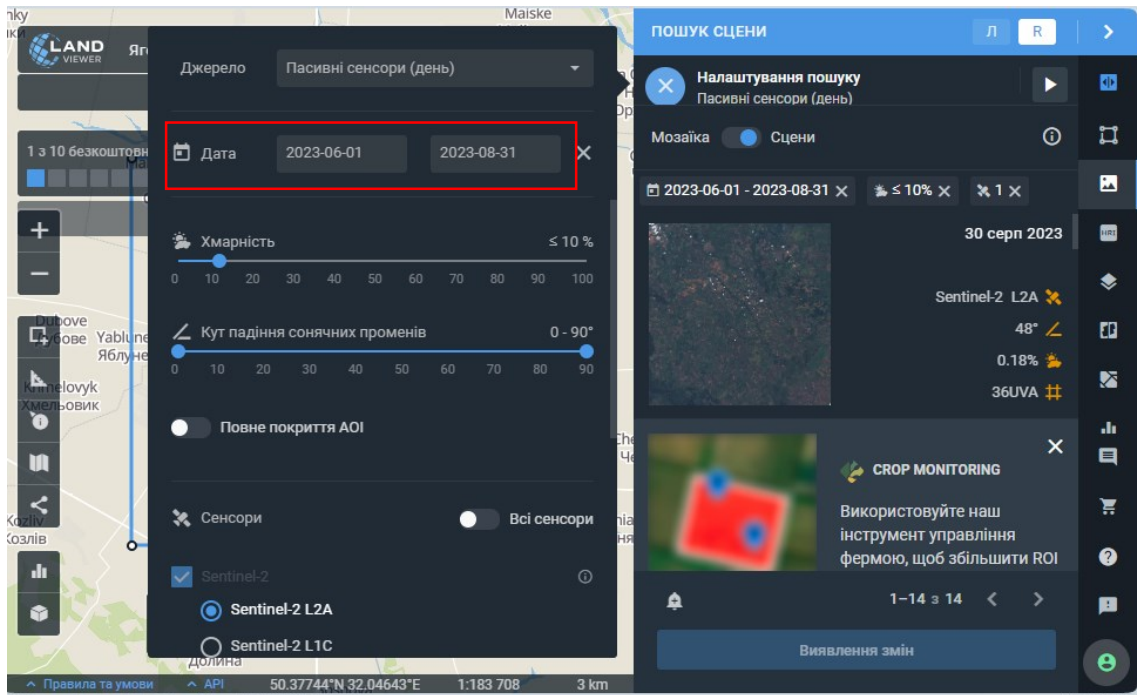


Рис. 3.4. Вибір вихідних даних

4. Вибравши **Source** (*Джерело*), у цьому випадку Пасивні сенсори (день), ви можете видалити непотрібні супутники зі списку **All sensors** (*Усі сенсори*), який відображається за замовчуванням після вибору *Джерела*, або навести курсор на потрібний супутник, виберіть **Only**, і всі інші супутники будуть автоматично виключені зі списку.

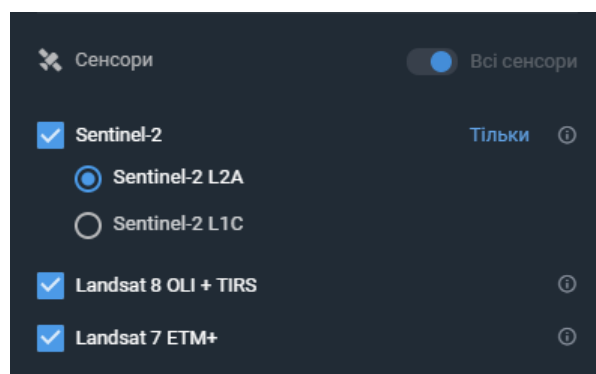


Рис. 3.5. Вибір сенсора

Встановіть дату або період дати, вибравши дату початку та дату завершення.

Встановіть хмарність і висоту сонця. Значення хмарності (0-100%) за замовчуванням встановлено на 100%. Висота сонця (0-90°, мінімальне значення = 1) встановлено на 90°

5. Наведіть курсор на супутникове зображення, щоб перевірити, чи повністю воно покриває ваш АОІ.

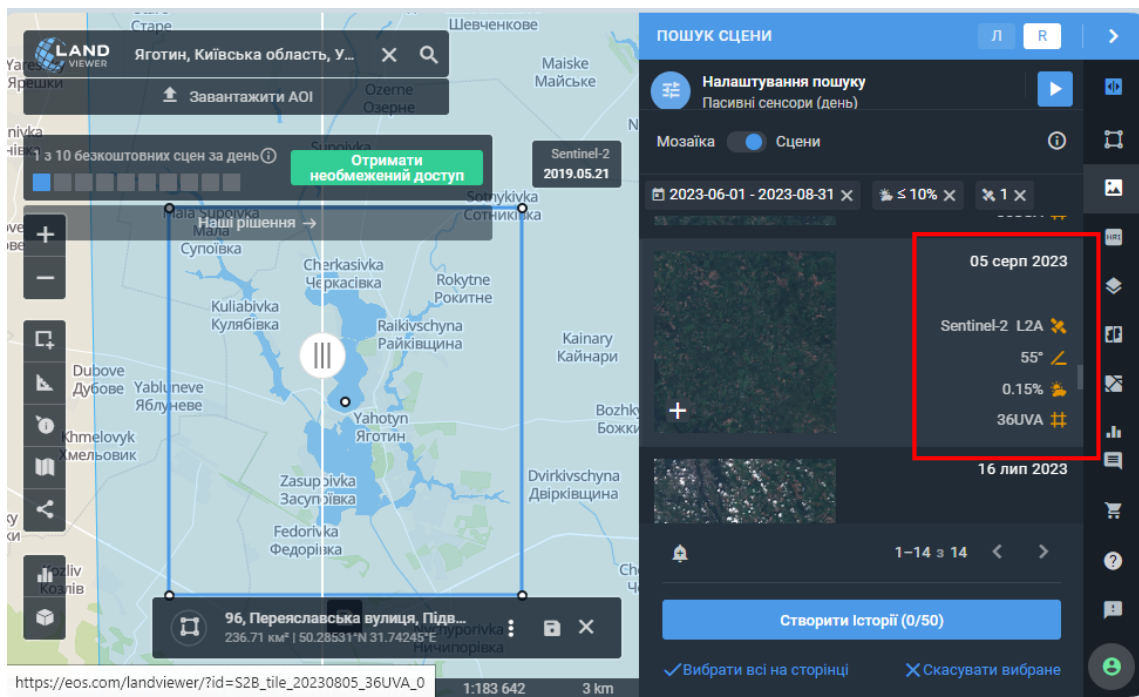


Рис. 3.6. Перевірка обраного знімку

Перевірте деталі зображення – дату, вихідні дані, висоту сонця, хмарність, номер орбітального шляху, а також поляризацію та режим зйомки, у разі радарного зондування, у правій частині зображення.

6. Використовуючи вкладку ***Band Combination*** (*Комбінація каналів*), виберіть конкретні діапазони з мультиспектрального супутникового зображення, щоб створити кольорові зображення, спеціально підібрані для полегшення ідентифікації об'єктів інтересу. Виберіть один із наведених нижче способів його використання.

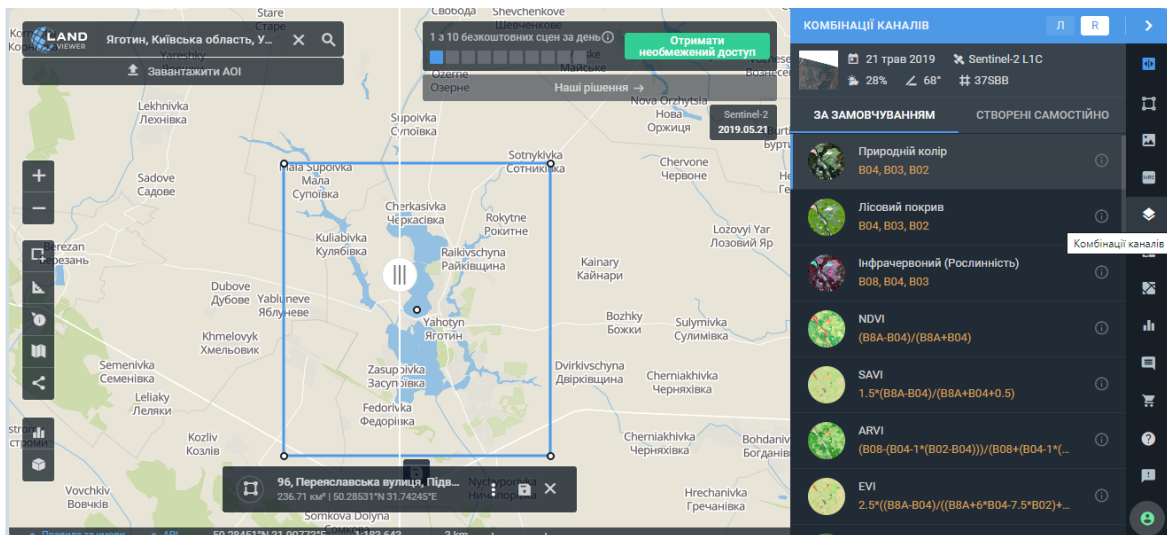


Рис. 3.7. Вибір комбінації каналів

Клацніть піктограму *Band Combination* на правій бічній панелі та на вкладці *Default (За замовчуванням)* виберіть потрібний зі списку: природний колір, інфрачервоний (рослинність), NDVI, NDWI, SAVI, ARVI, EVI, GCI, SIPI, NBR, сільськогосподарські культури, псевдокольоровий (міська забудова), земля/вода, здорова рослинність, аналіз рослинності, усунення атмосферного впливу, стек індексів, короткохвильовий інфрачервоний, атмосферна корекція, сніг/хмари, NDSI, індекс ззелінення, індекс виявлення пожеж, осередки горіння, панхроматичний, теплові, класифікація сцен.

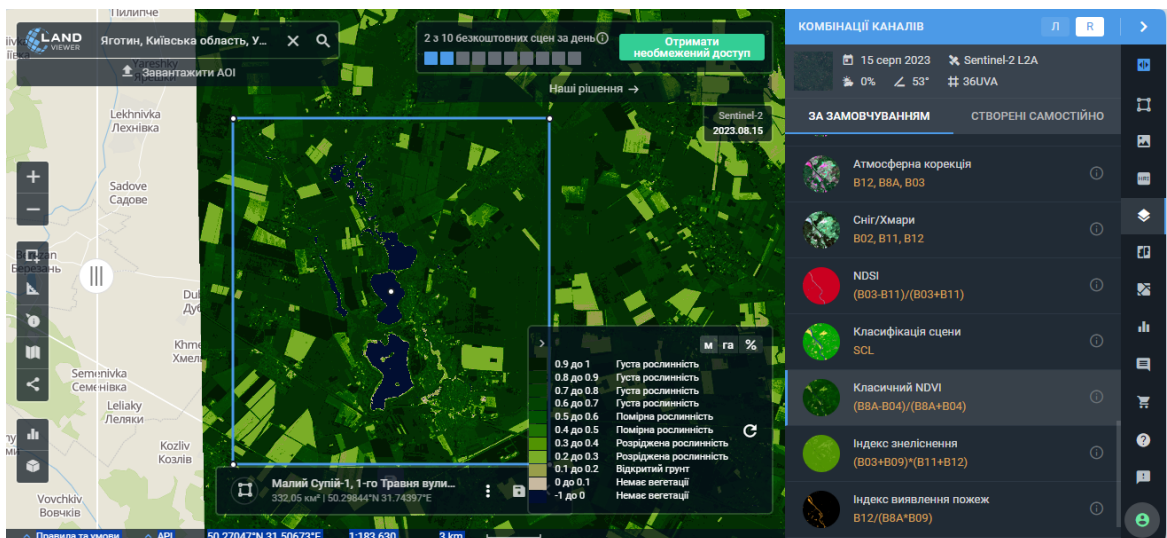


Рис. 3.8. Індекс NDVI на обрану територію

Після застосування спектрального індексу до вибраної території ви можете побачити детальну легенду, де кожен позначений кольором клас містить короткий опис, обраховану площу.

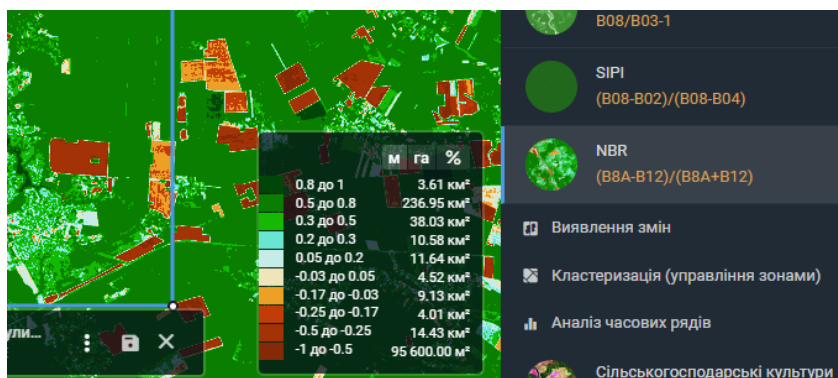


Рис. 3.9. Індекс горіння на обрану територію

7. На вкладці *Custom* (Створені самостійно) клацніть *New band combination* (Нова комбінація каналів) і виберіть *Composite* (Композитний) (щоб візуалізувати різні користувацькі набори каналів) або *Single* (Один) (щоб візуалізувати один вибраний канал) на карті. Певні комбінації каналів дозволяють виявити особливості та закономірності в рамках аналізу Землі.

Щоб створити комбіновану користувацьку комбінацію каналів, перетягніть вибрану комірку каналу та опустіть її до відповідної комірки R, G або B.

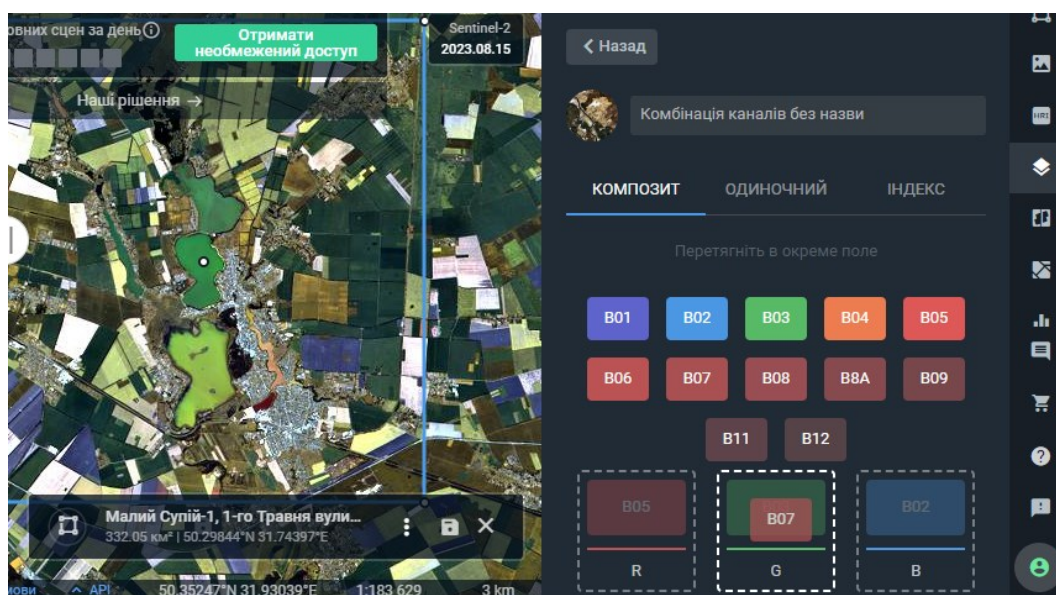


Рис. 3.10. Комбінація каналів

8. Виявлення змін. Метою виявлення змін є порівняння просторового представлення двох моментів у часі шляхом контролю всіх дисперсій, викликаних відмінностями змінних, які не становлять інтерес, і вимірювання змін, викликаних відмінностями змінних, що цікавлять. Виявлення змін для ГІС – це процес, який вимірює, як атрибути певної території змінилися між двома або більше періодами часу, порівнюючи два супутникових зображення, зроблені в різний час. Виявлення змін широко

використовується для оцінки вирубки лісів, зростання міст, наслідків стихійних лих і змін ґрунтового покритву тощо.

Щоб розпочати роботу з функцією виявлення змін, вам потрібно вибрати сцену, щоб зробити виявлення змін активним.

Після вибору першого зображення воно з'являється на карті в лівій частині повзунка порівняння, а в правій частині міститься панель пошуку для пошуку другого зображення. Використовуйте кнопки L / R для перемикання між зображеннями на слайдері.

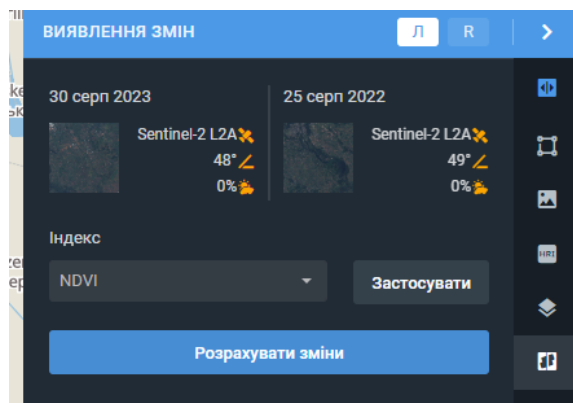


Рис. 3.11. Вибрані знімки для виявлення змін

На цьому кроці виберіть друге зображення, яке датується іншим періодом часу, щоб виявити та оцінити зміни, що відбулися. Коли обидва зображення з'являться на карті, виберіть індекс, за яким потрібно визначити зміни, зі списку в спадному меню *Індекси*. Натисніть кнопку *Розрахувати зміни*, щоб отримати дані.

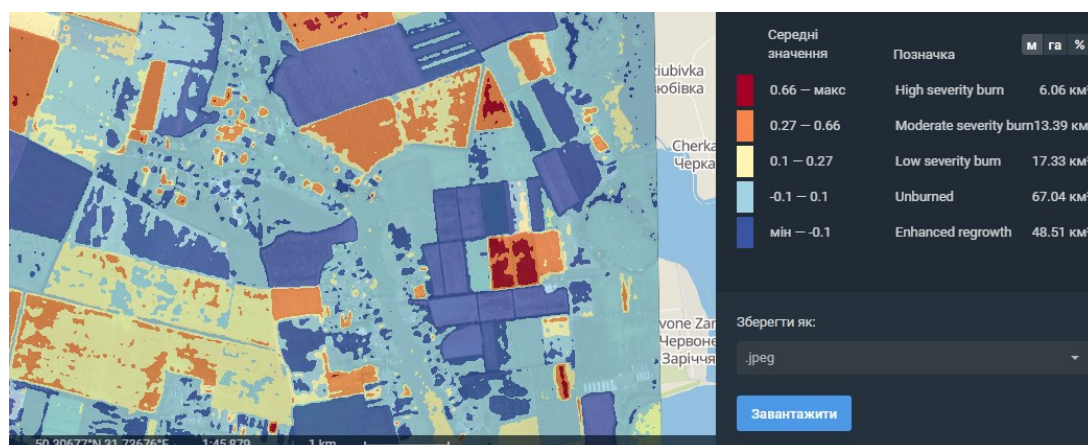


Рис. 3.12. Приклад виявлення змін з використанням індексу NBR

Результат зображення відображається поверх оригінальних. Після обчислення на карті з'являється повзунок для зміни прозорості різницевого шару, а нижче ви можете знайти легенду виявлення змін, яка відображає

значення індексу різними кольорами. У нашому випадку отримане зображення демонструє позитивні зміни значень NBR.

Тепер ви можете завантажити зображення у форматі .png, .tiff або .jpeg на свій пристрій або зберегти його в обліковому записі EOSDA Storage за допомогою кнопки **Завантажити**.

### 9. Аналіз часових рядів.

За допомогою аналізу часових рядів ви можете візуалізувати динаміку даних, побудувавши графік індексів рослинності просторово-часового ряду. Цей підхід широко використовується для регіонального спостереження за динамікою росту рослинності, фенологічної ідентифікації культур, виявлення змін у землекористуванні тощо. Використовувати аналіз часових рядів легко. Вам просто потрібно встановити АОІ, період часу та індекс вегетації. Після створення графіка перевірте метричні деталі вибраної сцени, попередньо перегляньте її на карті та завантажте дані результату як файл Excel для подальшої обробки.

Щоб почати роботу з аналізом часових рядів, виконайте наведені нижче дії:

- встановіть АОІ (максимальна площа обробки – 200 км<sup>2</sup>) і натисніть іконку **Time Series Analysis** (Аналіз часових рядів);

- виберіть спектральний індекс (NDVI, NDWI, NDSI) зі спадного меню в розділі часових рядів у верхній частині графіка. Потім виберіть датчик із спадного меню та період часу; за замовчуванням встановлені часові інтервали (1, 3, 6, 12) місяців і (3, 5, 10) років, створені самостійно. Щоб створити аналітику з вибраними параметрами, натисніть **Застосувати**;

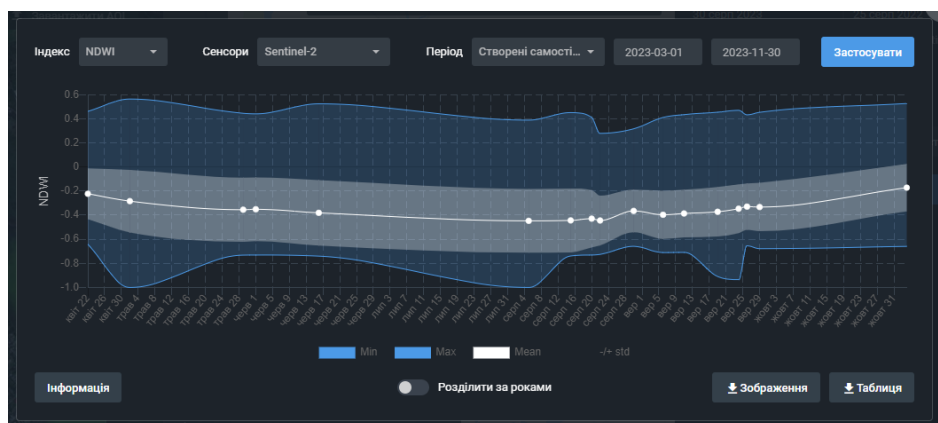


Рис. 3.13. Графік індексу NDWI за 9 місяців одного року



Рис. 3.14. Графік індексу NDWI за три роки

- клацніть **Зображення** або **Таблиця** праворуч від графіка, щоб завантажити дані результату як файл **CSV** для подальшої обробки;
- клацніть лівою кнопкою миші точку на графіку, щоб перевірити метричні деталі конкретної сцени, тобто вихідні дані, хмарність, середнє значення, P10/P90, медіана, стандартне значення, мінімальне/максимальне значення;



Рис. 3.15. Інформація про сцену вибраної точки графіку

- щоб переглянути результат, клацніть **Відобразити** у верхньому правому куті зображення, і вибрана сцена з'явиться на карті.

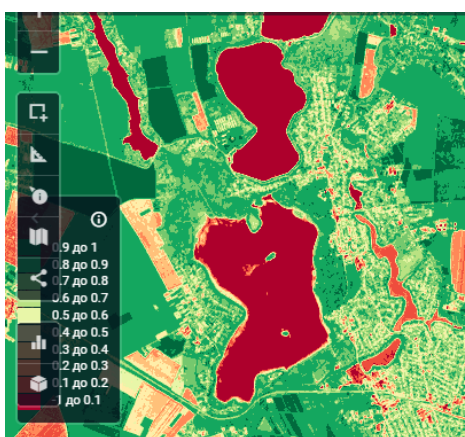


Рис. 3.16. Відображення вибраної сцени



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно підготувати:

1. Растри з легендами до 5 індексів на вибір на територію вашого населеного пункту з попередніх робіт;

2. Графіки часових рядів для одного з індексів, обрахованих на один період у 6 місяців впродовж трьох років. Дайте власний висновок отриманої інформації.

3. Дати відповіді на такі питання:

а) чи можна завантажити зображення з EOSDA LandViewer?

б) які вихідні дані доступні для роботи?

в) чи можна порівняти зображення за часом, як це реалізувати?

---

#### 4. Google Earth Engine

**Мета завдання:** навчитися використовувати колекції знімків, фільтрувати їх за певними параметрами, створити мозаїку знімків та обрахувати індекси NDVI, NDWI, SAVI 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.

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/ Code Editor** (Платформа/ Редактор скрипту).

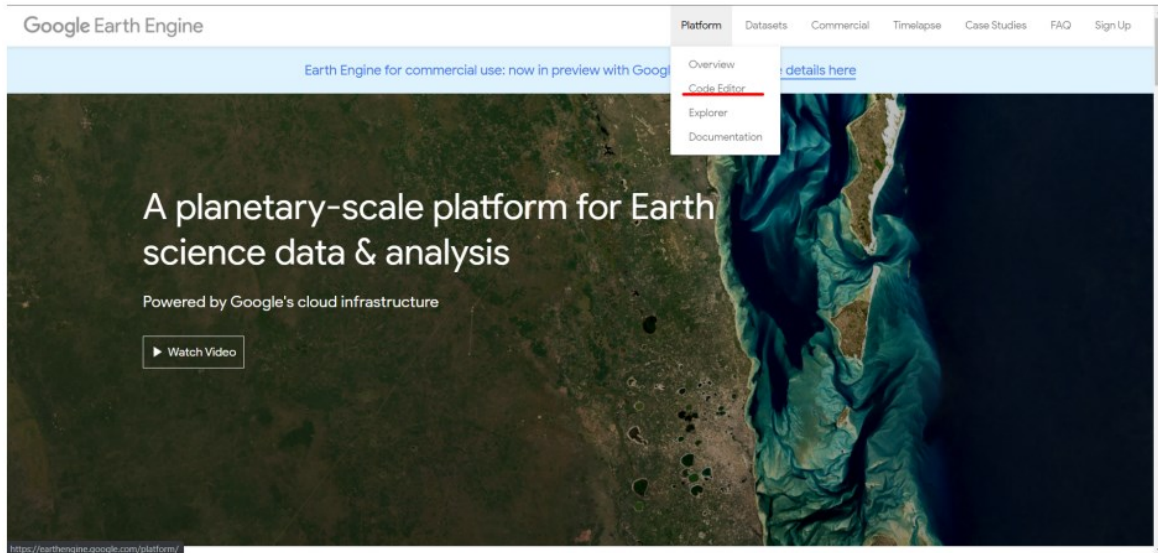


Рис. 4.1. Головна сторінка Google Earth Engine

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

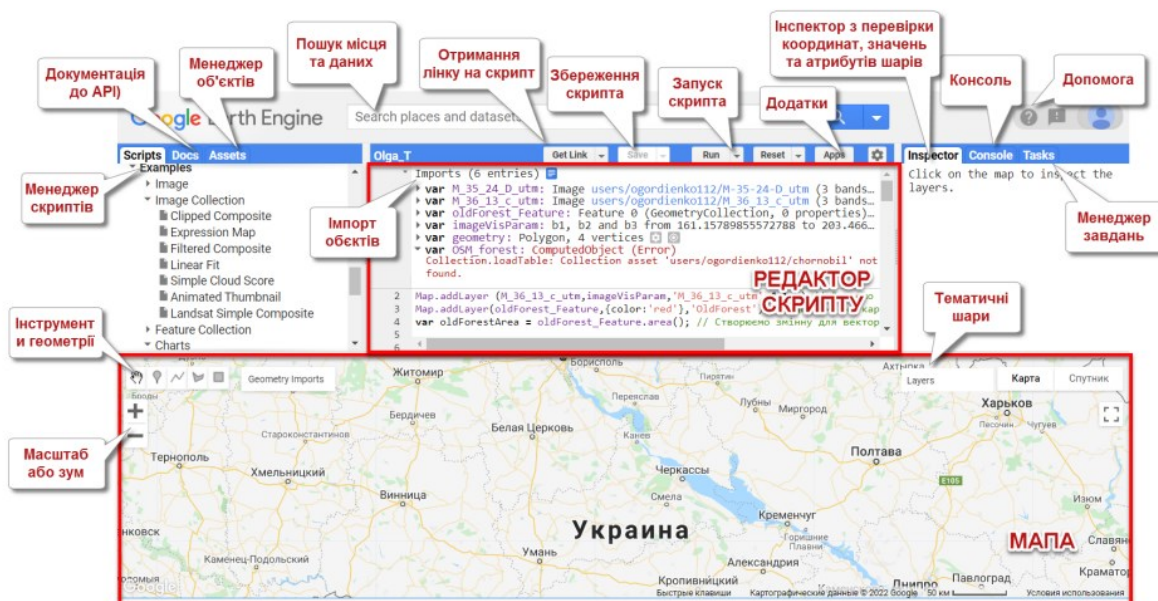


Рис. 4.2. Вікно редактору коду

**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 знайдете його ідентифікатор *COPERNICUS/S2\_SR*.

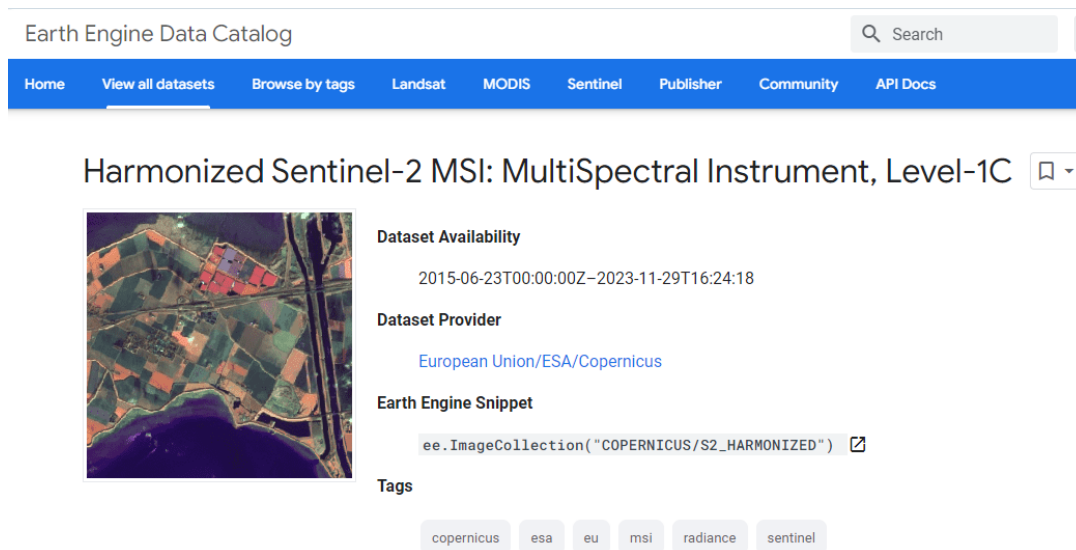


Рис. 4.3. Колекція зображень Sentinel-2

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.

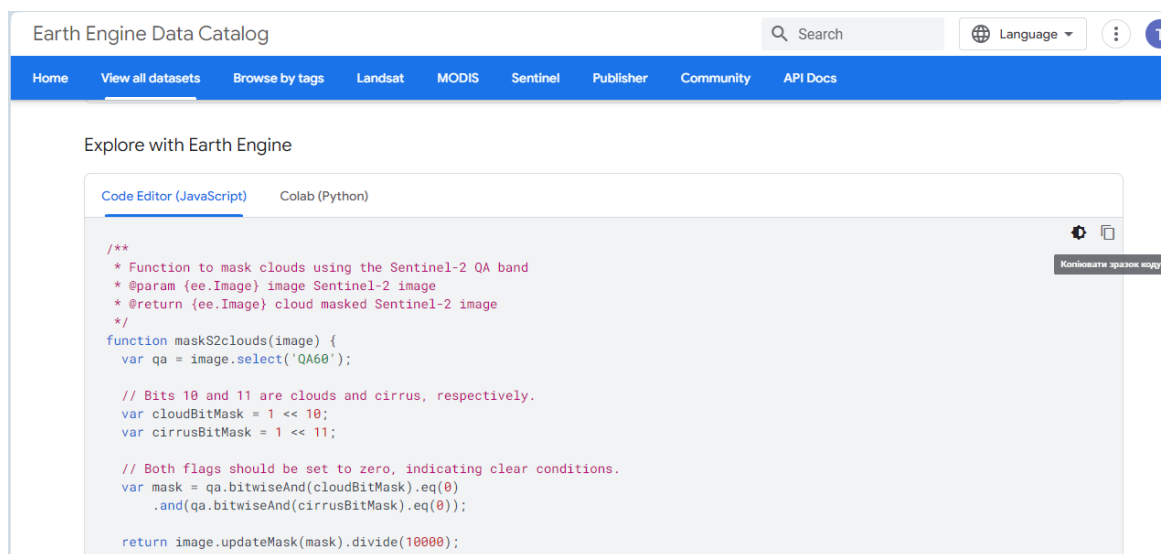


Рис. 4.4. Зразок коду в Earth Engine

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

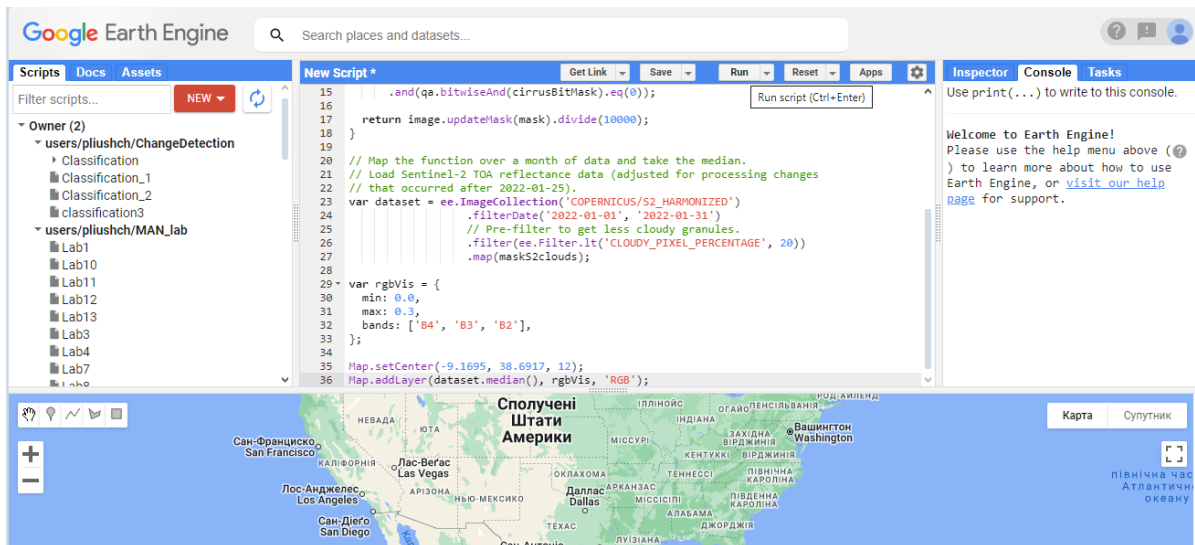


Рис. 4.5. Скопійований код у вікні скрипту Earth Engine

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. Етап з накладанням маски залишається без змін. Змініть лише дати.

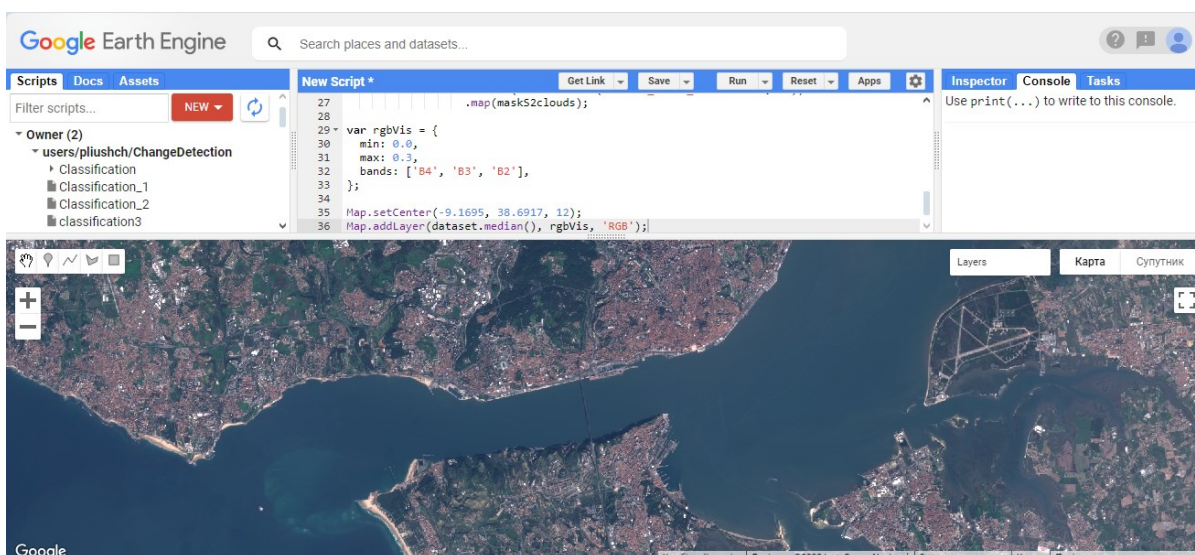


Рис. 4.6. Візуалізація колекції знімків після запуску коду

5. У фрагменті коду ви побачите функцію *Map.setCenter()*, яка встановлює для вікна перегляду певне розташування та рівень

масштабування. Функція приймає координату  $X$  (довгота), координату  $Y$  (широта) і параметри масштабу.

Скористайтеся **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.

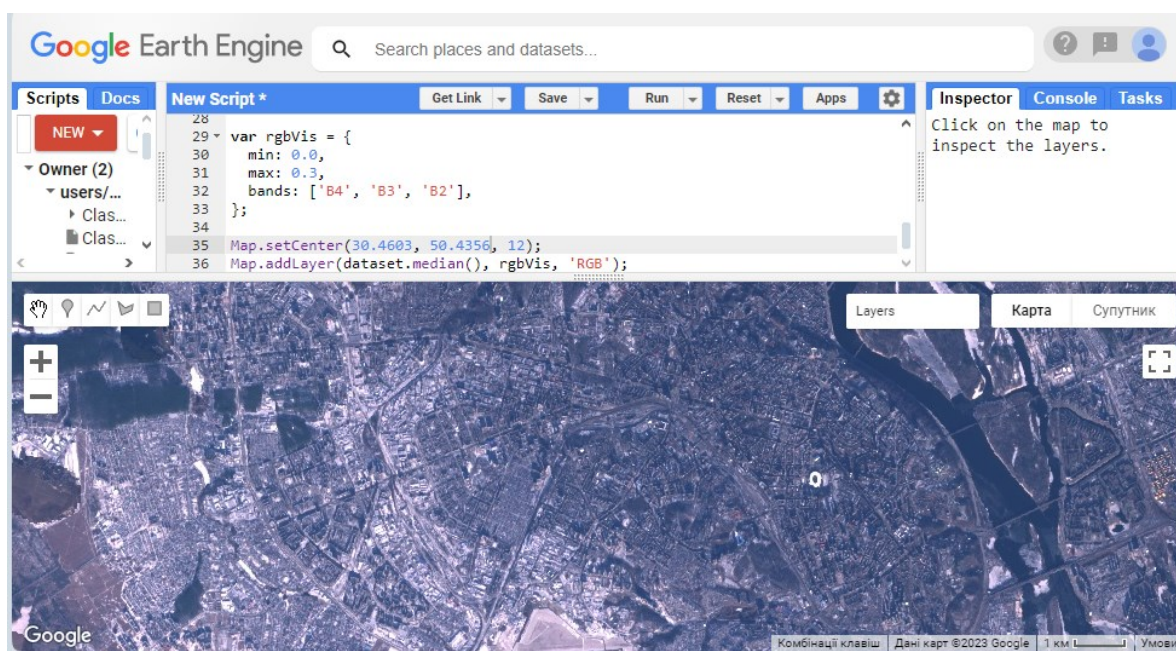


Рис. 4.7. Територія міста Київ

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, перегляньте модуль *ee.Filter...*, щоб побачити всі доступні фільтри. Виберіть фільтр, а потім запустіть функцію *filter()* із параметрами фільтра.

Основні 3 типи методів фільтрації зображень:

- *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.

- *Фільтрувати за датою*: Ви можете вибрати зображення в певному діапазоні дат за допомогою фільтрів, таких як *ee.Filter.date()*.
- *Фільтрувати за розташуванням*: ви можете вибрати підмножину зображень із рамкою, 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());
```

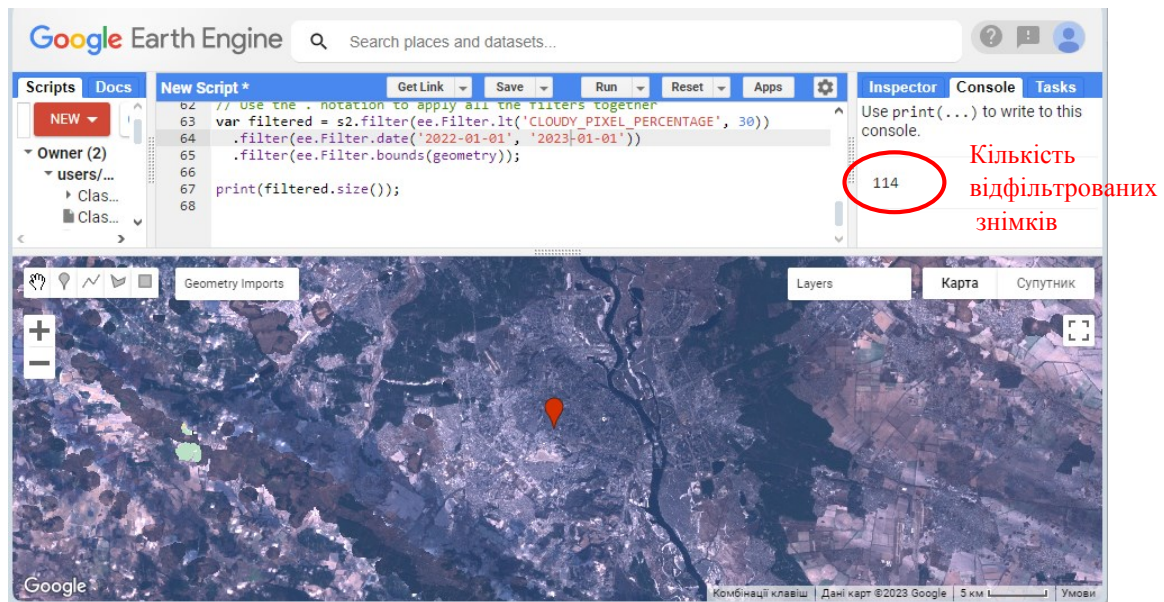


Рис. 4.8. Відфільтровані зображення на задану територію

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.

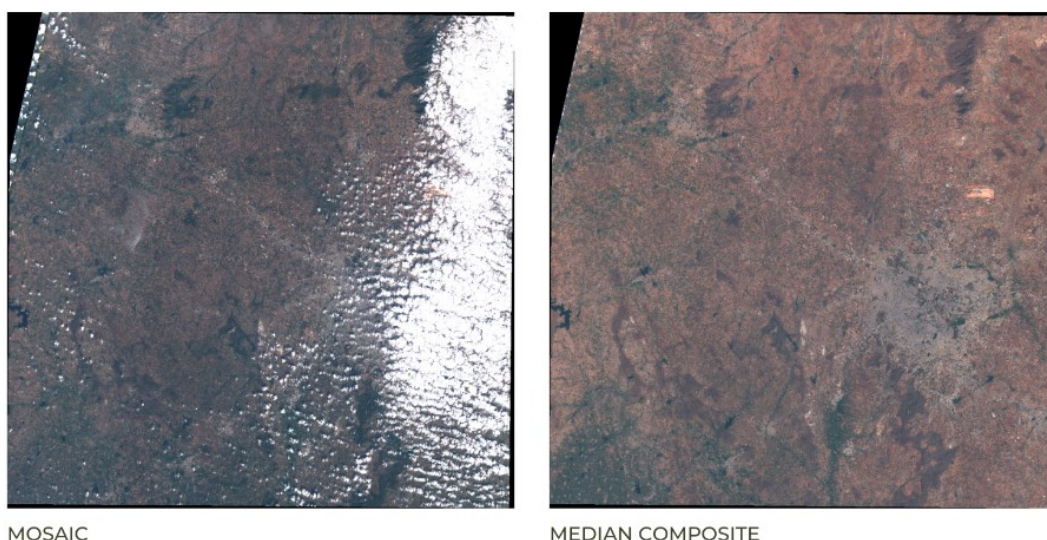


Рис. 4.9. Приклад мозаїки знімків, отриманих різними методами

```

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');

```

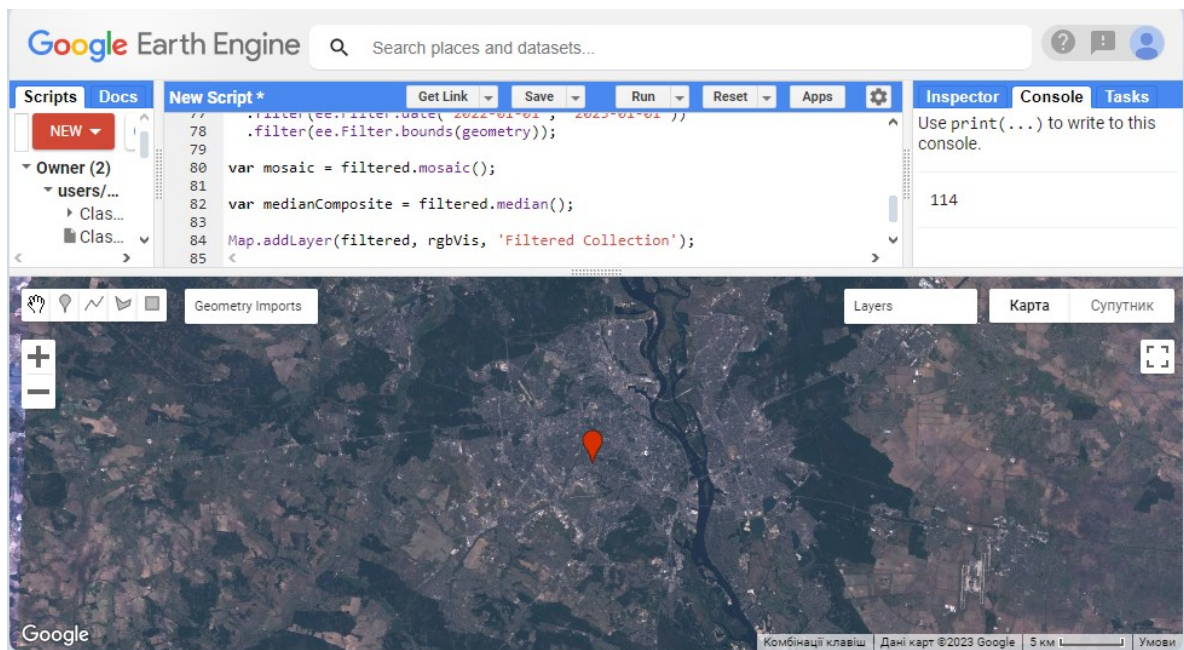


Рис. 4.10. Мозаїка знімків

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 *Admin*. Ми можемо

застосувати фільтр за допомогою властивості *ADM1\_NAME*, щоб отримати всі межі *Admin* (тобто області) від країни.

! 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");
```

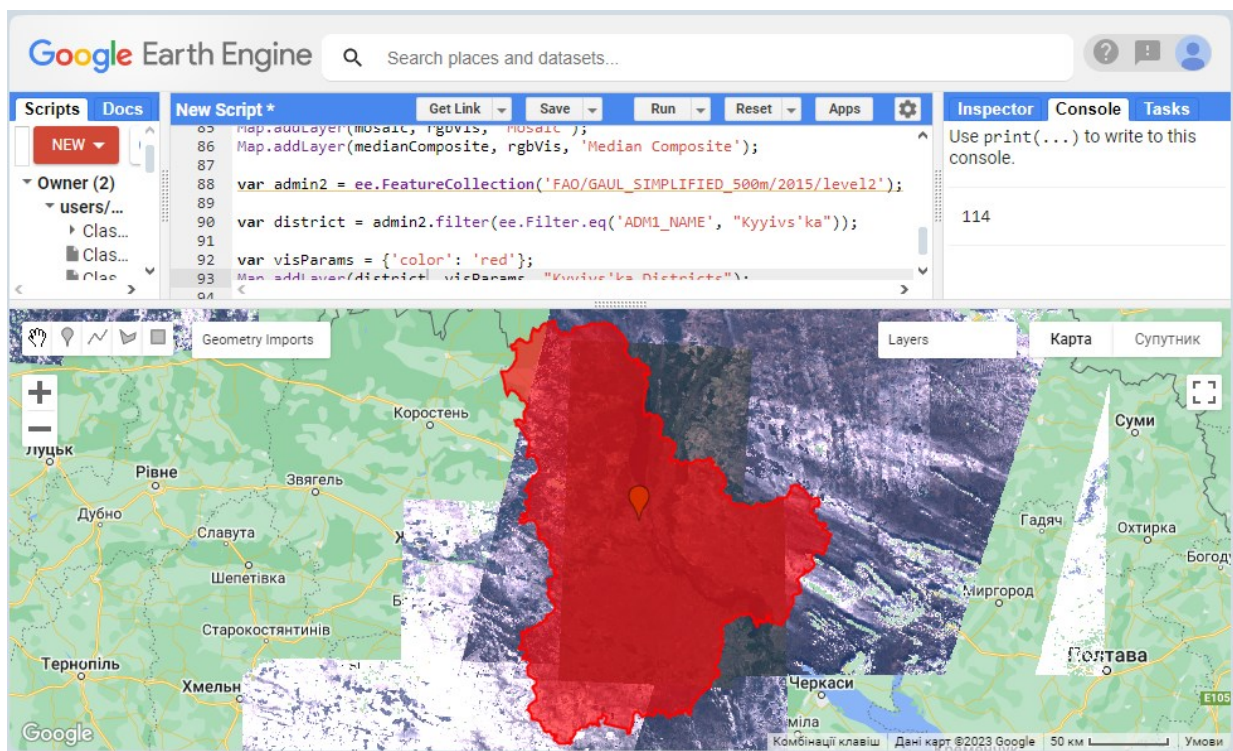


Рис. 4.11. Відображення межі Київської області

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 *expression()* 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.

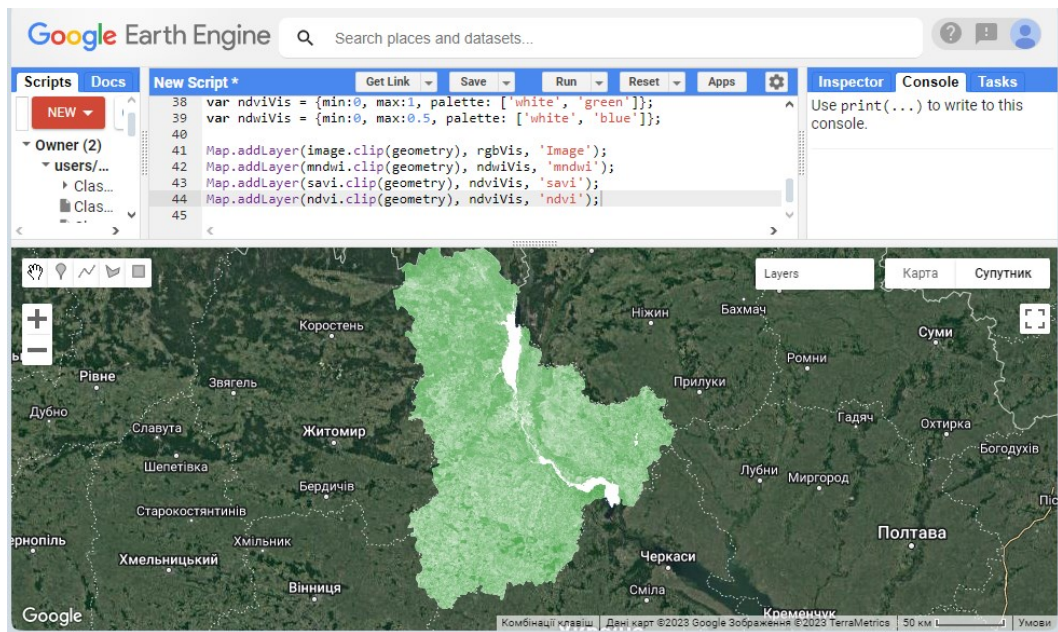


Рис. 4.12. Обрахунок індексів на обрану територію

Приклади отриманих результатів наведено нижче на рис. 4.13.

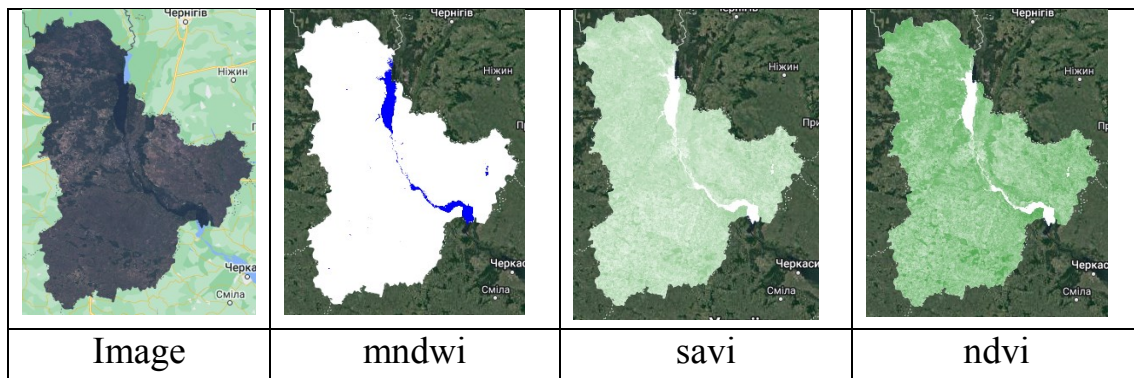


Рис. 13. Приклади оброблених індексів

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.

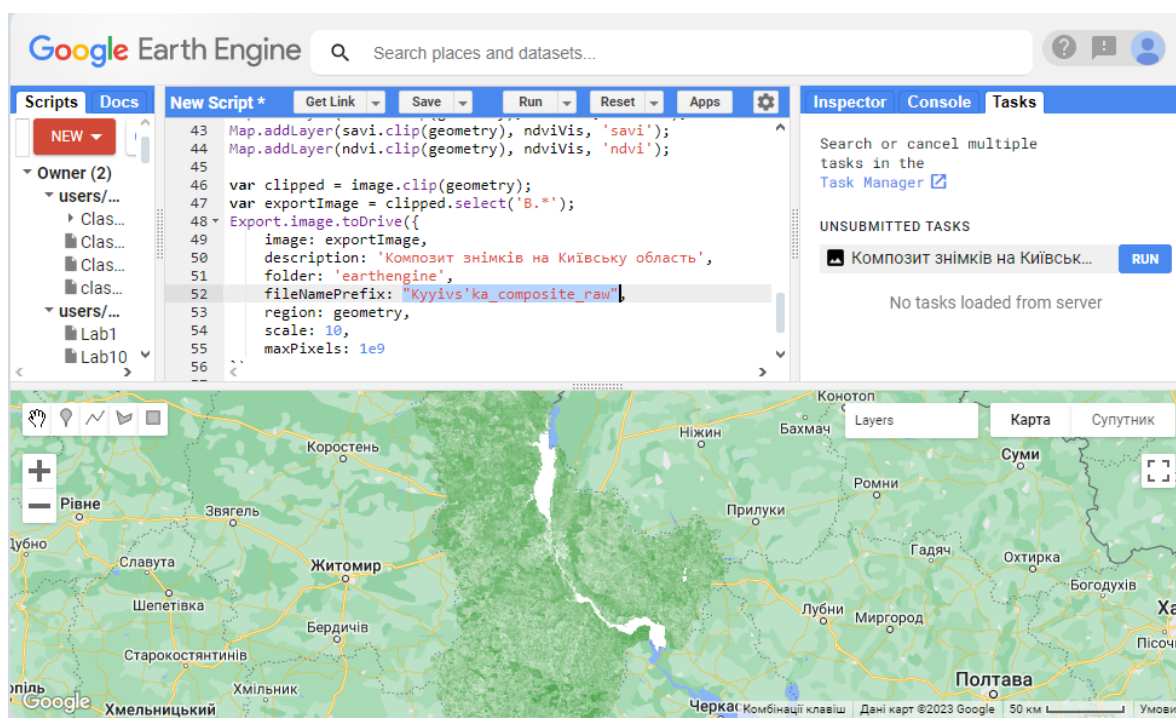


Рис. 4.14. Завантаження результатів з Earth Engine

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 (не скрінів) 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?

## 5. Обробка знімків у QGIS

**Мета завдання:** створити композитні зображення супутникових знімків, навчитися рахувати індексні зображення та виконувати керовану класифікацію.

Quantum GIS (QGIS) – вільна та зручна географічна інформаційна система (ГІС), з відкритим кодом, що розповсюджується на умовах GNU General Public License. QGIS є проектом Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) та однією з найбільш функціональних і зручних настільних геоінформаційних систем та динамічно розвиваються. Основним призначенням системи є обробка і аналіз просторових даних, підготовка різної картографічної продукції.

Програму можна скачати за посиланням <https://qgis.org/uk/site/forusers/download.html>

\* У даній роботі використовуйте знімки, збережені через EO Browser.

1. Відкрийте програму QGIS і створіть новий проєкт.

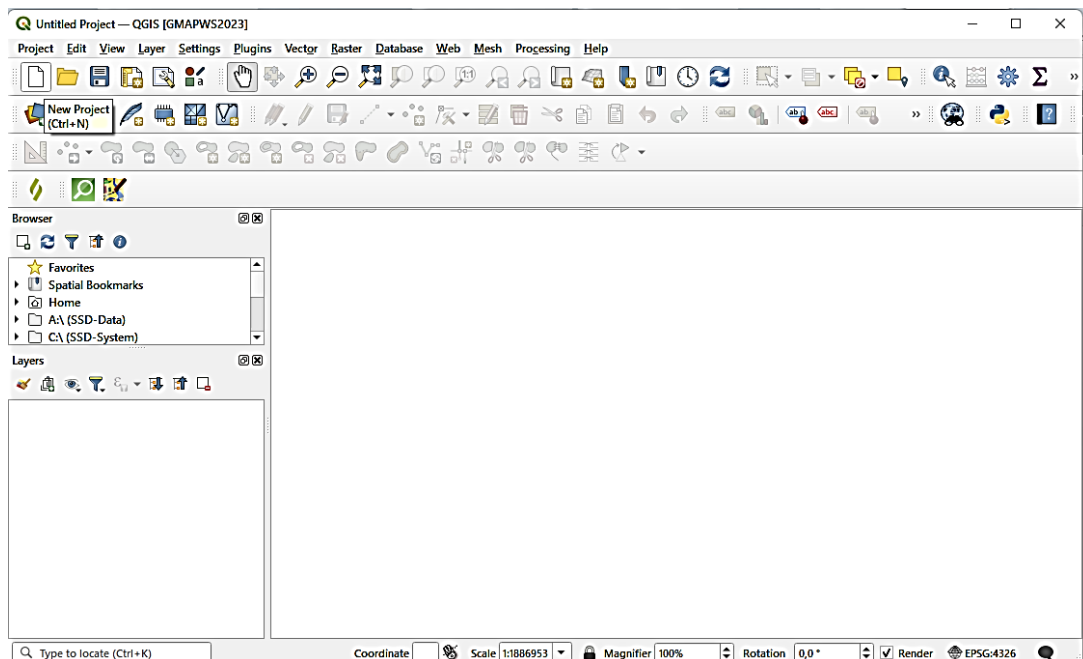


Рис. 5.1. Вікно програми QGIS

2. Наступним кроком буде синтез каналів, тобто з'єднання чорно-білих 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 рисунку нижче.

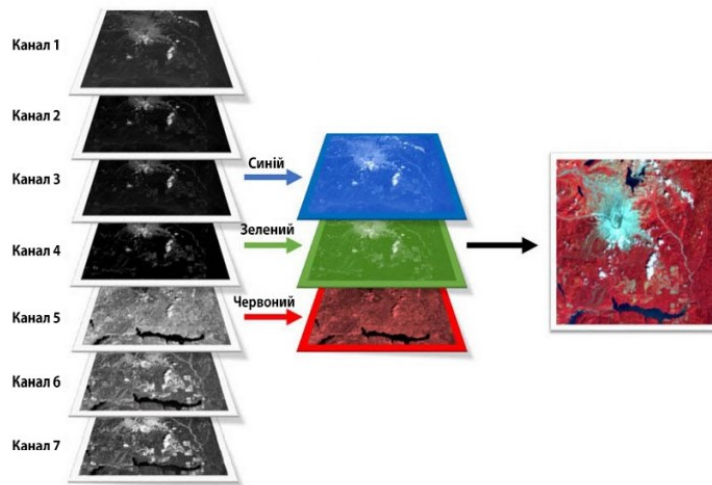


Рис. 5.2. Синтез каналів знімку [9]

Натисніть у верхньому меню на **Raster (Растр)** і розгорніть вкладку **Miscellaneous (Різне) / Merge (Злиття)**.

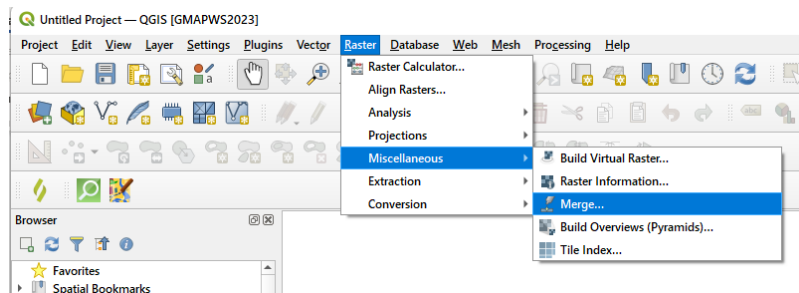


Рис. 5.3. Вибір функції злиття каналів знімку

Відкриється вікно для синтезу каналів, у якому в рядку **Input Layers (Вхідні шари)** потрібно вказати канали, які хочете об'єднати. Для цього необхідно натиснути на іконку поряд з рядком **Input Layers (Вхідні шари)**.

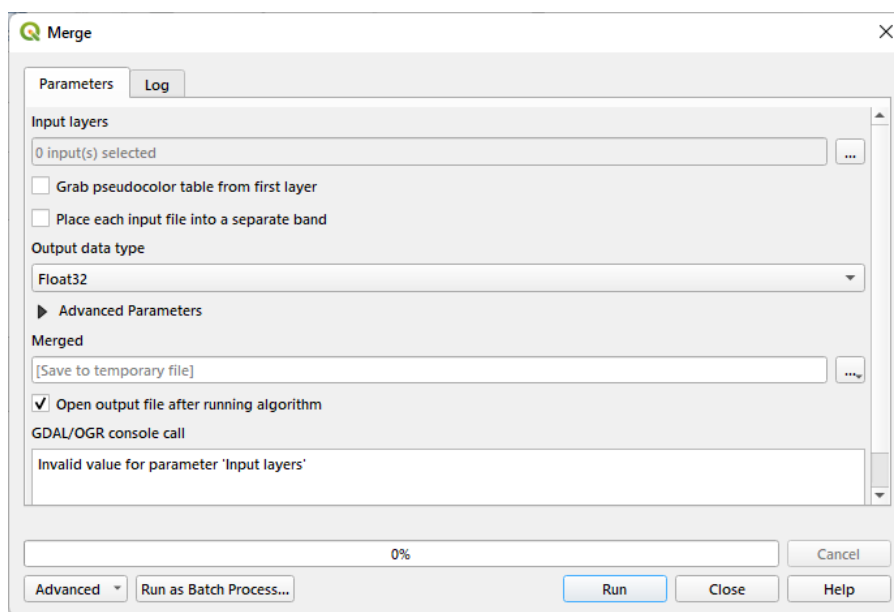


Рис. 5.4. Вікно злиття

3. У вікні **Input Layers** натисніть на **Add files** (Додати файли), знайдіть папку, де збережені канали знімка завантажені з EO Browser, і виберіть потрібні канали.

Створимо спочатку зображення у природних кольорах, використовуючи канали B04, B03, B02. Вибрати одразу три канали можна, утримуючи клавішу «**Shift**» або «**Ctrl**» на клавіатурі.

Після цього потрібно натиснути на **Open** (Відкрити), і вибрані зображення завантажаться у вкладці **Input Layers**. Важливо вибрати канали саме в такій послідовності: R (red – червоний – B04), G (green – зелений – B03) та B (blue – синій – B02). Тому потрібно перетягнути канали так, щоб вони були в послідовності B04, B03, B02, і натиснути Ок.

Для обох супутників Sentinel-2 та Landsat-8 вказані вище канали є однаковими для створення зображення у природній кольорах. Зробіть синтез каналів для обох знімків за описаною нижче інструкцією.

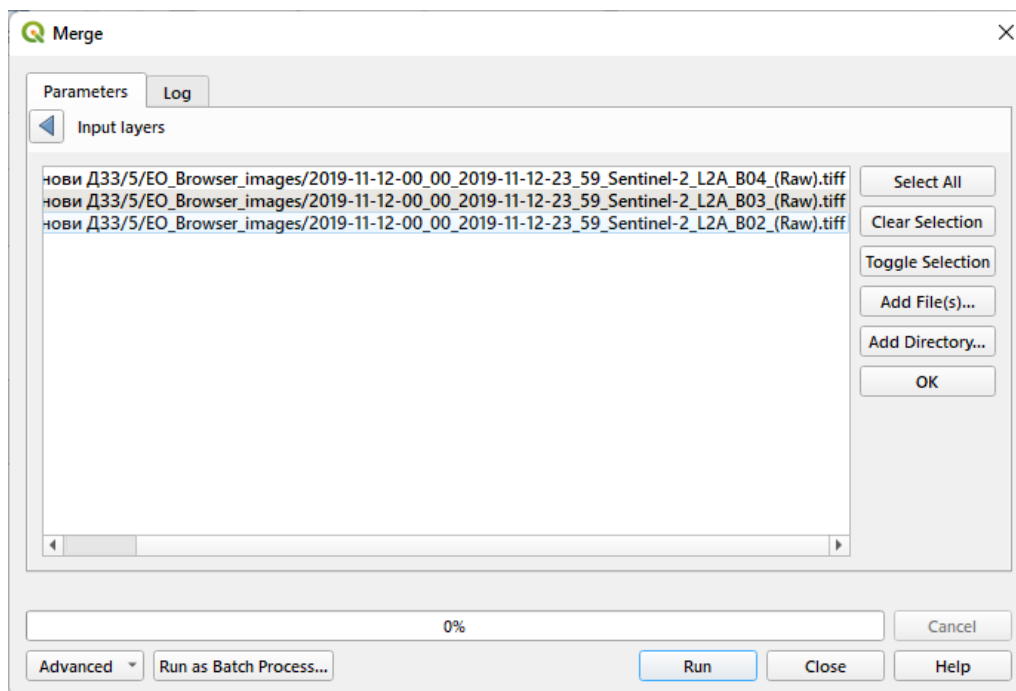


Рис. 5.5. Вибір каналів

У результаті у вікні **Merge** (Злиття) в рядку **Input layers** (Вхідні шари) покажеться кількість вибраних каналів (тобто 3). Далі потрібно поставити відмітку поряд з рядком **Place each input file into a separate band** (Зберегти кожен вхідний файл як окремий канал). Рядок **Merged** (Синтезований) залишимо пустим – тим самим ми створюємо тимчасовий файл, який буде зберігатися не на комп'ютері, а тільки в цьому проєкті, та натискаємо **Run** (Запустити).

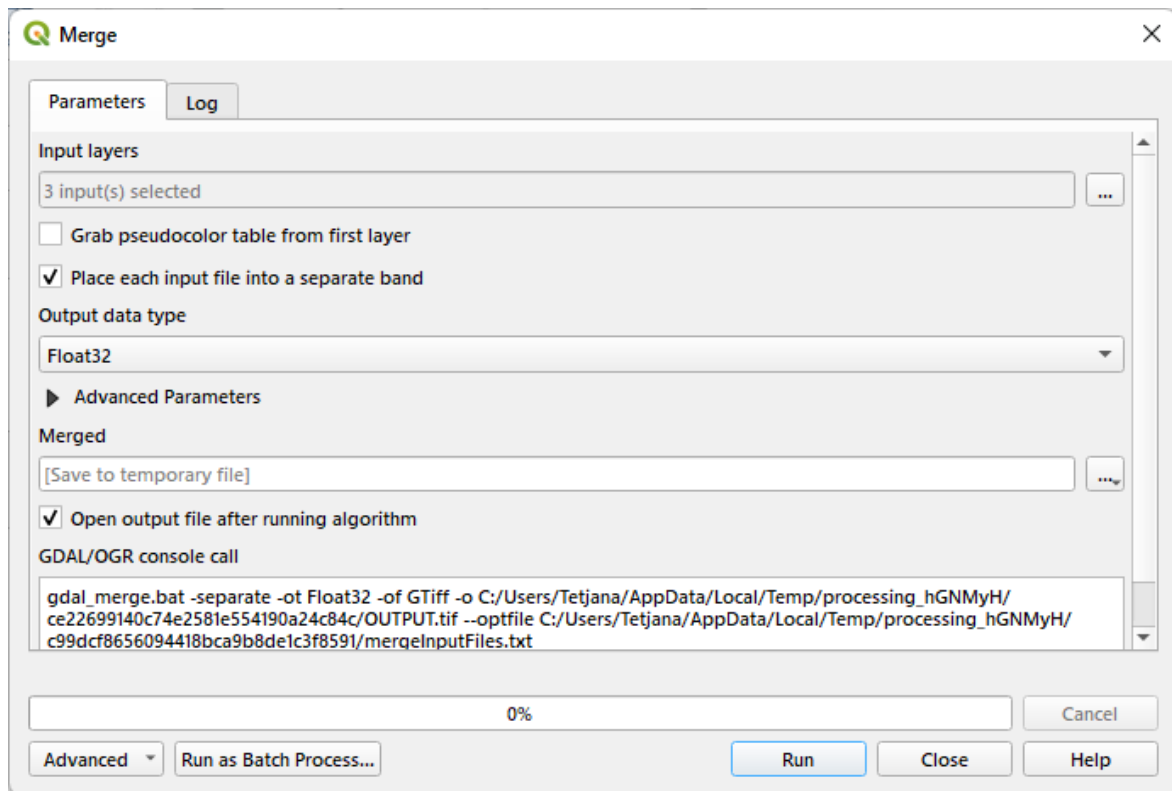


Рис. 5.6. Параметри для злиття зображення.

4. Створена комбінація каналів додається як растровий шар з назвою «*Merged*» у панелі *Layers (Шари)*. Для того щоб не плутати файли, змініть назву шару на «*Sentinel 4-3-2*». Для цього натисніть правою клавішею миші на шар, потім у меню, яке відкриється, оберіть *Rename layer (Перейменувати шар)* і напишіть нову назву «*Sentinel 4-3-2*».

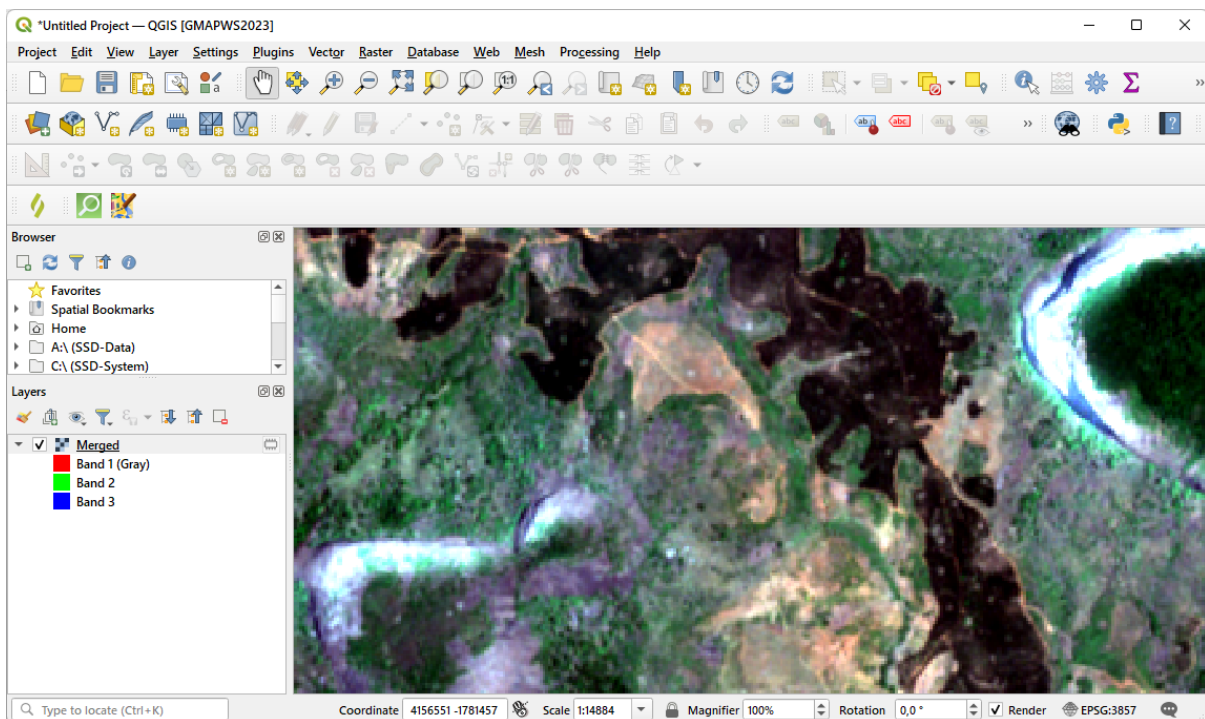



Рис. 5.7. Синтезоване зображення

5. Щоб побачити створений растр повністю, натисніть правою клавішею на назві шару на панелі **Layers (Шари)** і у вікні оберіть **Zoom to Layer (Наблизитися до шару)**. Якщо кольори на знімку вас не влаштовують, то ви можете покращити його зображення за допомогою цих кнопок . Вони розміщені на панелі інструментів у **Raster Toolbar**. Якщо ви не можете їх знайти, тоді цей **Toolbar** просто не увімкнений у вашому QGIS. Увімкнути його можна, вибравши у верхньому головному меню **View (Вигляд) → Toolbars (Панелі інструментів)** і поставивши відмітку біля **Raster Toolbar**. Спочатку виділіть відповідний растр лівою клавішею миші в панелі **Layers (Шари)**, а потім натисніть кнопки та поекспериментуйте. Вигляд знімка має змінюватися. Залиште ту візуалізацію, яка вам найбільше подобається.

Відповідно, на знімку в природних кольорах усі об'єкти мають вигляд, максимально схожий на зображення з вікна літака, тобто всі зелені насадження будуть у відтінках зеленого, відкрита земля – в коричневих тонах, а водні об'єкти – в синіх.

6. А тепер самостійно створіть іншу комбінацію, а саме: **B12, B8A, B04 (SWIR, Vegetation Red Edge, Red)** для Sentinel-2, яка є корисною для досліджень рослинності, оскільки тут відбивна здатність у каналі SWIR обумовлена здебільшого вмістом вологи в листі або ґрунті. Отже, здорова рослинність із підвищеним вмістом вологи, а також прибережні райони будуть у яскраво-зелених кольорах, водночас як посушливі райони мають темно-зелений колір. Хвойний ліс – глибокого зеленого, а листяний ліс – яскраво-зелених кольорів.

Знайдіть відповідні канали для супутника Landsat-8 та зробіть синтезоване зображення з запропонованою комбінацією каналів.

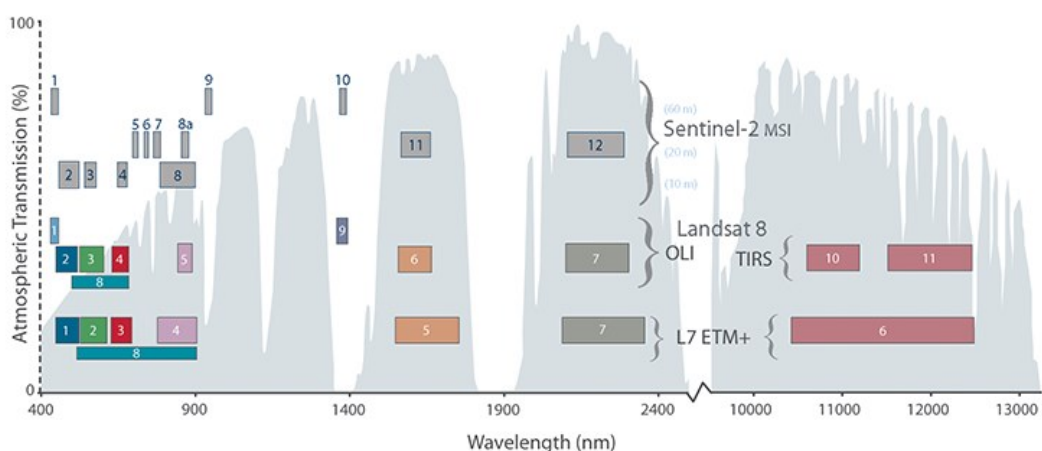


Рис. 5. 8.Схематичне представлення каналів електромагнітного спектра, що фіксуються штучними супутниками Землі – Sentinel 2 та Landsat 7/8 [10]

## 5.1. Калькулятор растрів

За допомогою програми QGIS можна легко виконати обрахунок будь-якого спектрального індексу, який вам потрібен. Для прикладу порахуємо популярний індекс NDVI.

Обчислюється за наступною формулою:

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

де NIR – 760-900 нм, відбивальна інфрачервона область спектру,  
Red – 630-690 нм, видима червона область спектру.

Для каналів супутника Sentinel-2 це канали B8 та B4. Більше інформації знайдете за посиланням <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndvi/>

Перед початком роботи потрібно відкрити всі необхідні канали знімків, які будуть використані у формулі. Відкрийте необхідні канали як окремі шари растрів *Add Layer (Додати шар) / Add Raster Layer (Додати растровий шар)*.

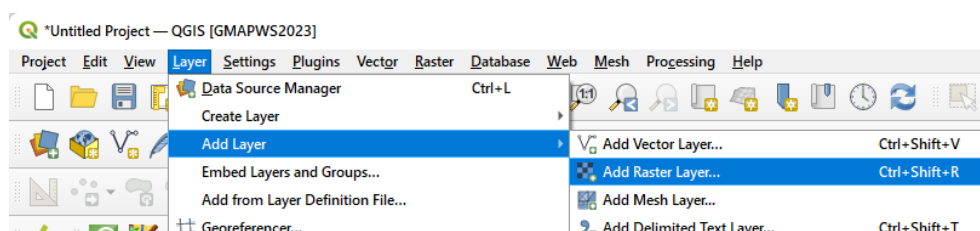


Рис. 5.9. Відкриття растрового шару

Для зручності змініть назви шарів *Rename layer (Перейменувати шар)*, щоб їх було легко ідентифікувати. Наприклад, залиште назву супутника та номер каналу *Sentinel-2\_L2A\_B08*. Зверніть увагу на відмінність відображення на панелі Layers кольорових та чорно-білих растрів. Кольорові мають три шари R, G, B відповідно, чорно-білі – це градація сірого кольору.

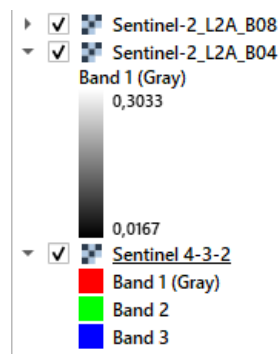


Рис. 5.10. Подання різних типів зображень

Щоб відкрити калькулятор растрів перейдіть **Raster (Растра) / Raster Calculator (Калькулятор растрів)**.

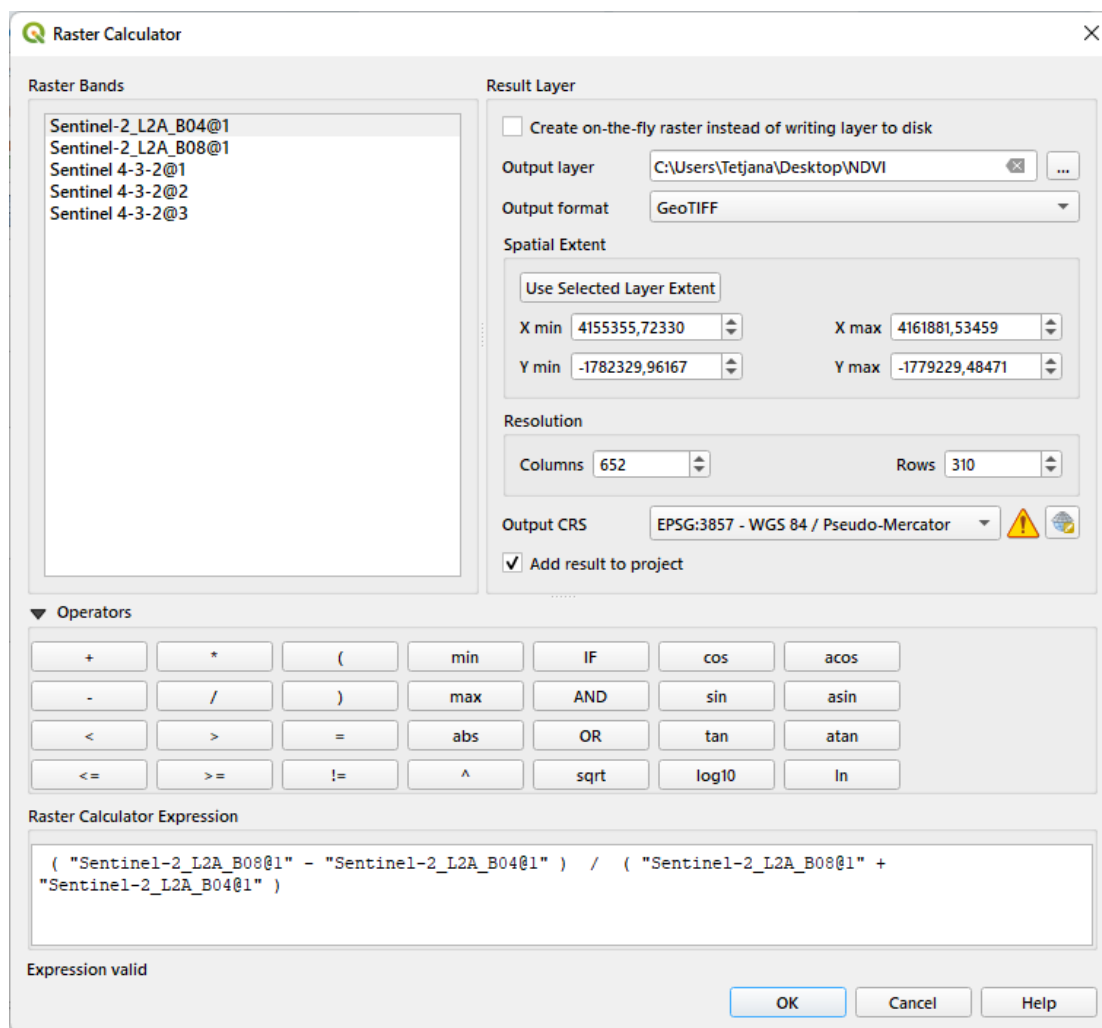


Рис. 5.11. Калькулятор растрів

У полі **Raster Bands (Канали растру)** відображаються всі відкриті у проекті растри. Саме їх і потрібно використовувати для написання формули індексу у полі **Raster Calculator Expression (Рівняння калькулятора растру)**. Подвійним натисканням лівою кнопкою миші на назву каналу ви обираєте його для формули, усі необхідні знаки обираєте з поля **Operators**. Задайте назву вихідного зображення та шлях його збереження у розділі **Output layer (Вихідний шар)** через кнопку з трьома крапками праворуч.

Перевірте правильність написання формули та натисніть **OK**. Ви отримаєте тематичне зображення у градаціях сірого кольору, кожен піксель якого має числове значення у межах -1.0 до 1.0 (для даного індексу).

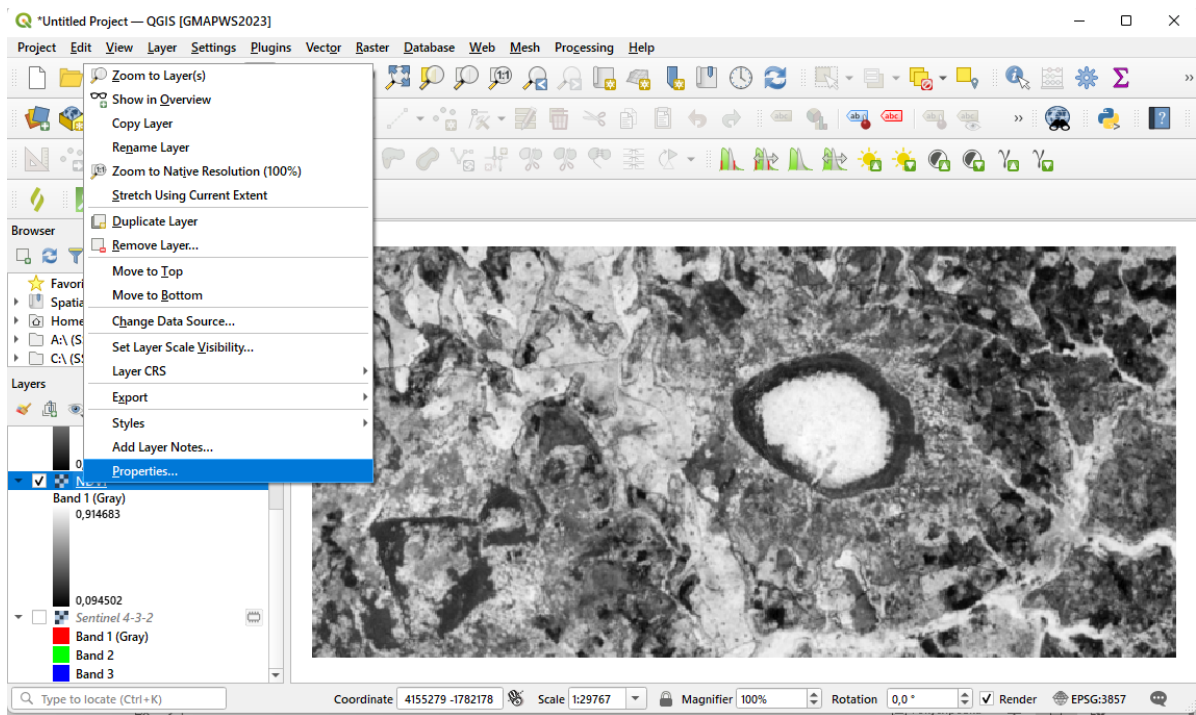


Рис. 5.12. Вибір властивостей растру.

Для кращого сприйняття отриманого растру необхідно його «розфарбувати». Для кожного індексу є визначені інтервали, які відповідають певним типам об'єктів, наприклад, від'ємні значення мають хмари, сніг, вода, а чим ближче до значення 1.0 здорова та густа рослинність.



Рис. 5.13. Приклад кольорової шкали NDVI

Щоб задати колір тематичному растру натисніть правою кнопкою миші на назві вашого растру на панелі **Layers** та оберіть **Properties** (Властивості).

У новому вікні змініть **Render type** (Тип візуалізації) на **Singleband pseudocolor** (Односмуговий псевдоколір) та оберіть кольорову шкалу **Color ramp** (Кольорова гама), яка краще відповідає візуалізації обрахованого індексу. Натисніть **Apply** (Застосувати) та **OK**.

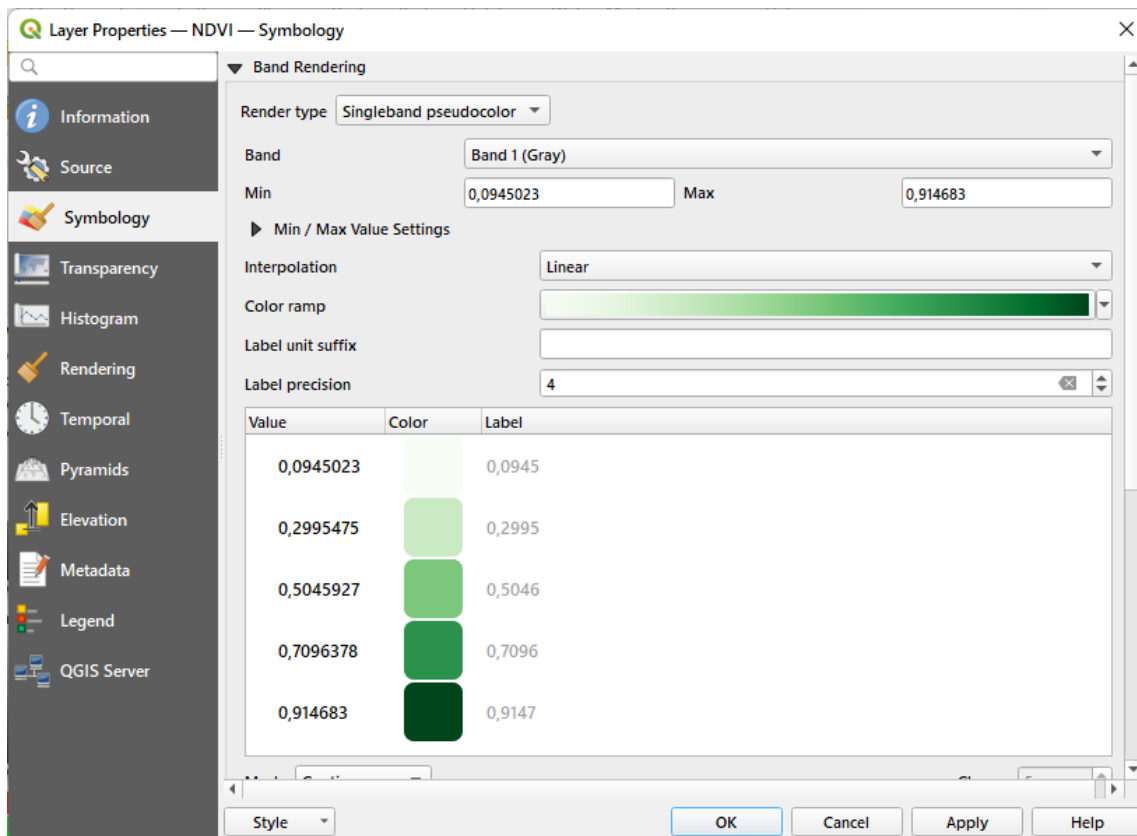


Рис. 5.14. Параметри відображення растру

В результаті ви отримаєте кольорове зображення відповідне до обраної кольорової гами, діапазон значень індексу якої має свій колір. Цей поділ є умовним, у даному випадку світліші відтінки мають низькі значення індексу, темніші більше.

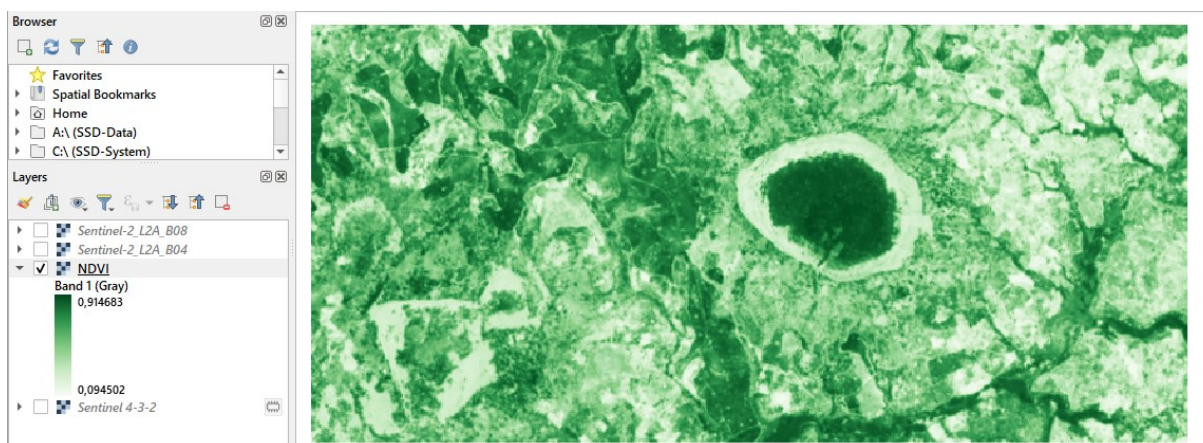


Рис. 5.15. Кольорове подання індексу NDVI

Давайте спробуємо розфарбувати своє зображення ближче до конкретних діапазонів значень індексу, яким відповідають певні види об'єктів місцевості.

Негативні значення дають водні поверхні, будови, гори, хмари, сніг; відкритому ґрунті зазвичай відповідає індекс 0,1 0,2. У разі рослин – це

завжди позитивні значення 0,2 – 1. Показник здорової, густої рослинності має бути вище 0,5; для розрідженої – цифра коливатиметься в межах 0,2 – 0,5. Як правило, значення індексу NDVI 0,2 – 0,4 відповідають території із розрідженою рослинністю; показник для помірної рослинності варіюється в межах 0,4 – 0,6. Всі цифри вище 0,6 вказують на максимальну густоту зеленого листа.

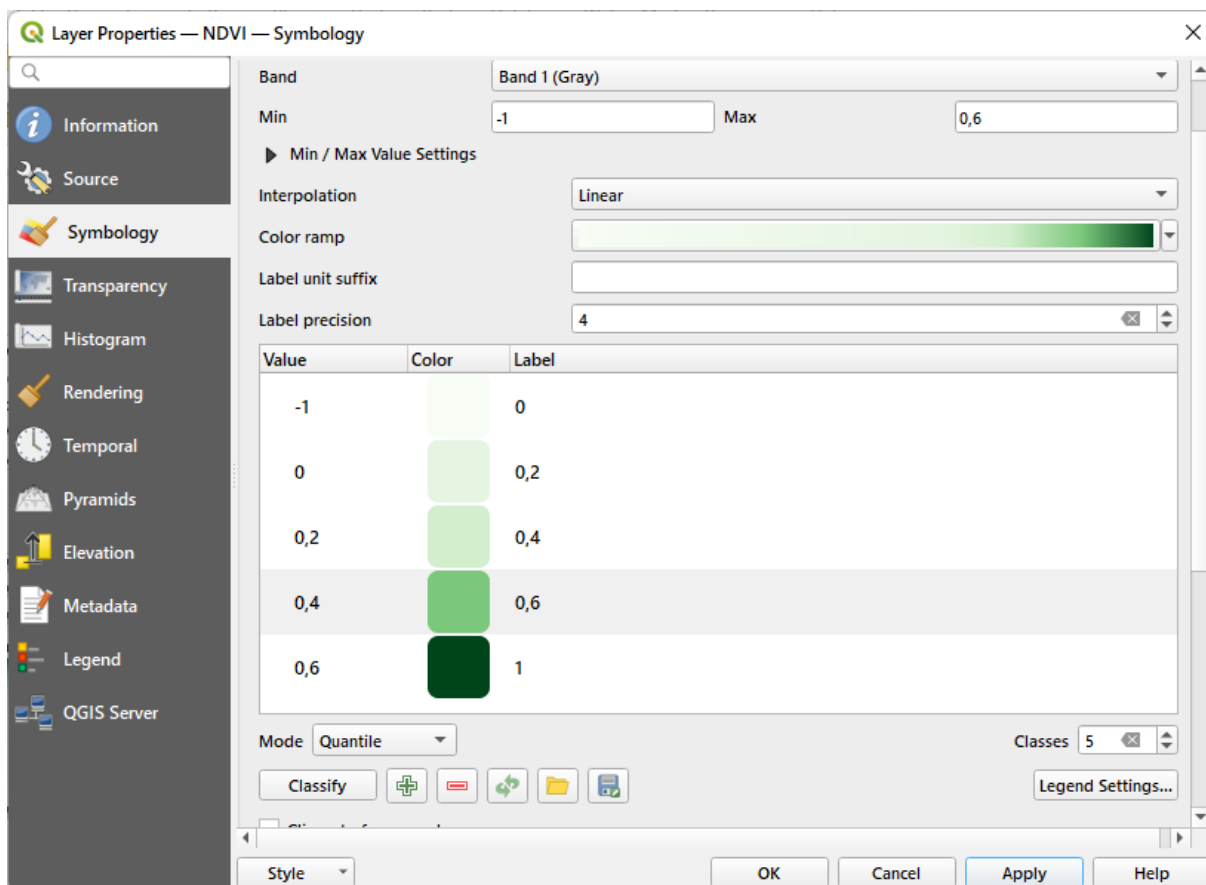


Рис. 5.16. Задані інтервали значень NDVI

В результаті ви отримаєте зображення, на якому можна точно оцінити стан рослинності та наявних об'єктів.

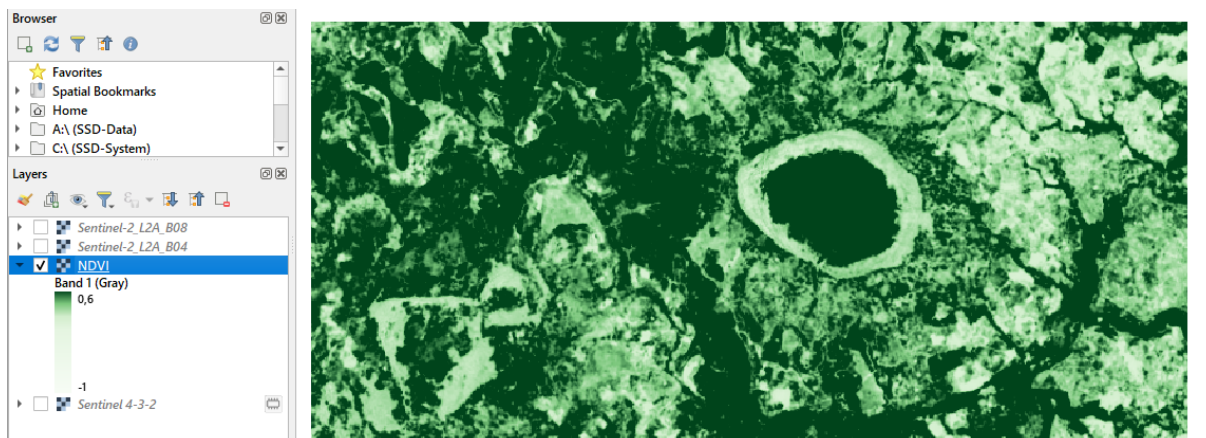


Рис. 5.17. Відображення заданих інтервалів значень NDVI

Порахуйте самостійно водний індекс NDWI для знімка Landsat. Скористайтеся інтервали значень індексу зі статті за посиланням <https://eos.com/uk/make-an-analysis/ndwi/>

## 5.2. Класифікація зображень у QGIS

Класифікація зображення це є його дешифрування, але на відміну від традиційного розпізнавання об'єктів на знімках експертом, який добре обізнаний з особливостями території і властивостями об'єктів, відображених на знімку, використовується автоматичний процес розбиття пікселів растрового зображення на класи на основі їх спектральних значень, в результаті чого кожен піксель присвоюється до певного класу об'єктів місцевості.

Щоб виконати класифікацію зображень у QGIS потрібно встановити плагін *Semi-Automatic Classification Plugin* (Плагін напівавтоматичної класифікації) з меню *Plugins / Manage and Install Plugins* (Керування та встановлення плагінів). У рядку пошуку почніть вводити назву плагіну і вам запропонує обрати зі списку необхідний. Натисніть *Install Plugin* (Встановити плагін).

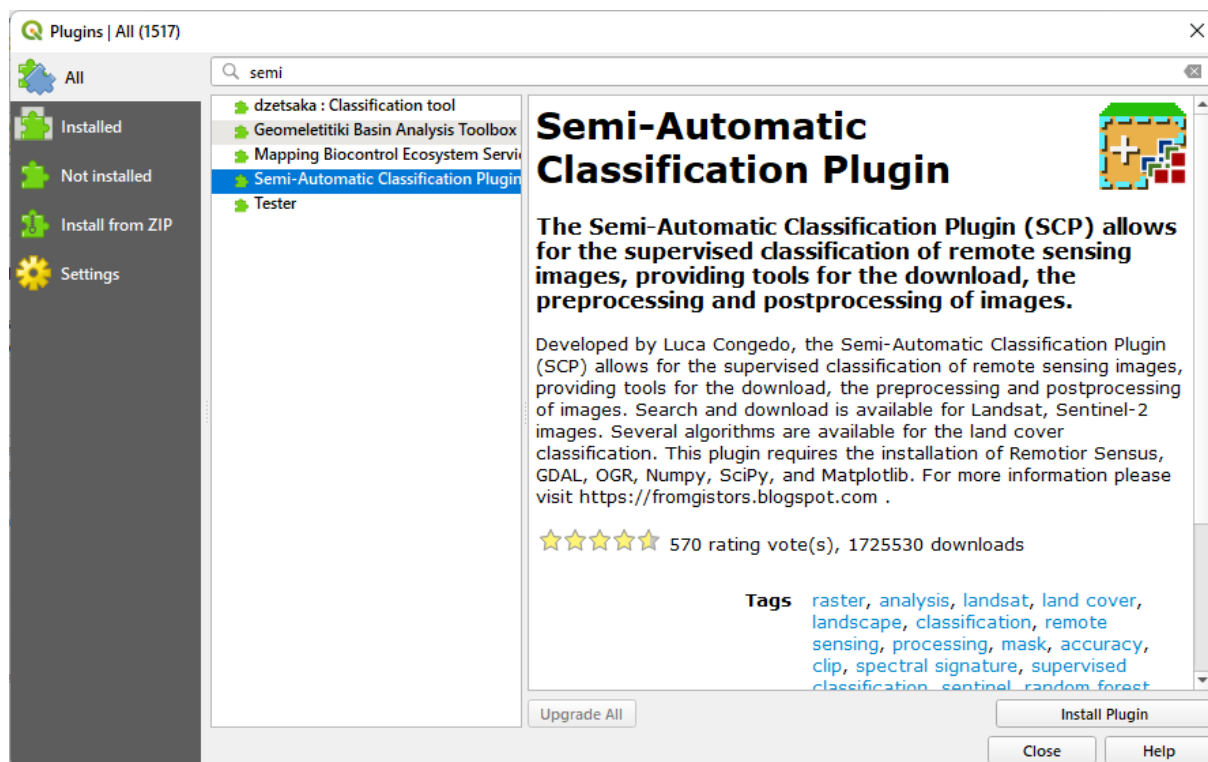


Рис. 5.18. Вікно пошуку та інсталяції плагінів

Після встановлення плагіна у вас на екрані з'явиться панель інструментів.

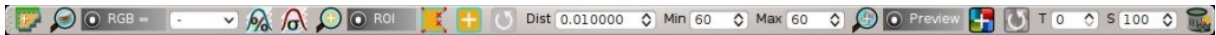


Рис. 5.19. Панель інструментів класифікації

Перед початком роботи вам потрібно задати вихідні дані. Це виконується за допомогою команди **SCP - Band set** (*SCP - Набір каналів*) або через першу іконку на панелі інструментів класифікації **Semi-Automatic Classification Plugin**. Відкриється нове вікно, де вам потрібно відкрити канали знімку через кнопку **Open a file** (*Відкрити файл*) у правому верхньому куті вікна.

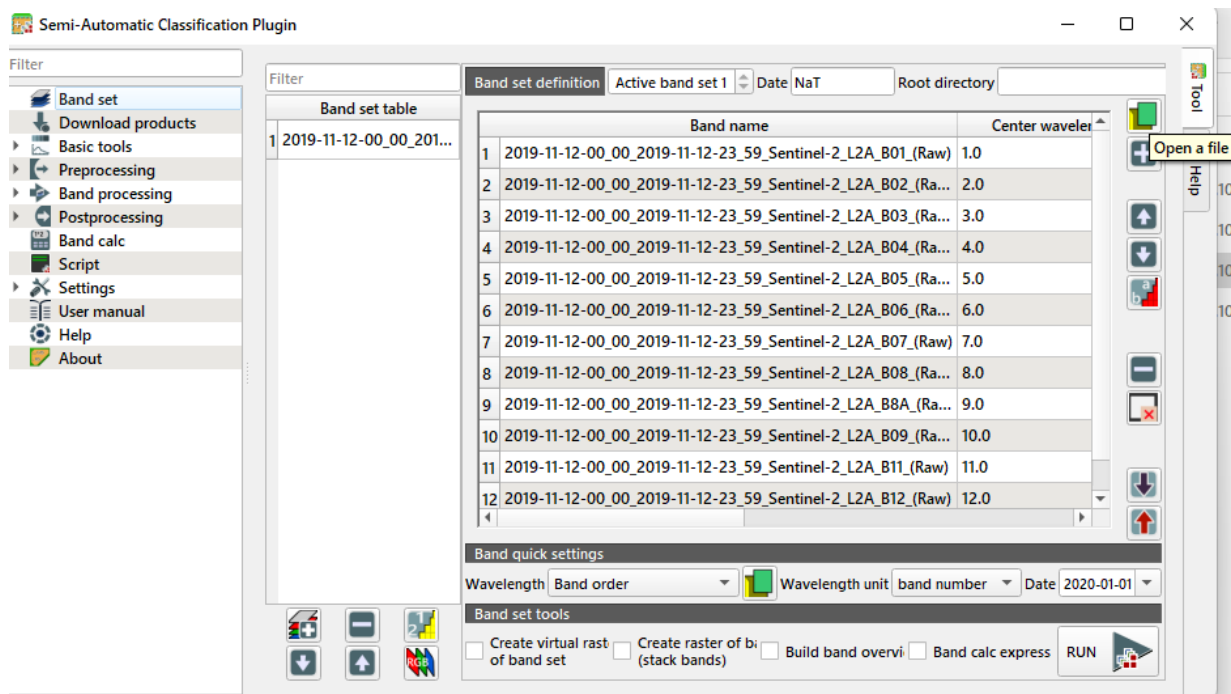


Рис. 5.20. Відкриття каналів знімку

Після відкриття каналів вам потрібно вказати довжини хвиль **Center wavelength** (*Центральна довжина хвилі*) для кожного з них. Це можна зробити вручну, використавши характеристики знімальної апаратури супутника, або обравши відповідний тип супутника з випадаючого списку у рядку **Wavelength / Band order** (*Довжина хвилі / Порядок каналів*), як показано на рисунку нижче.

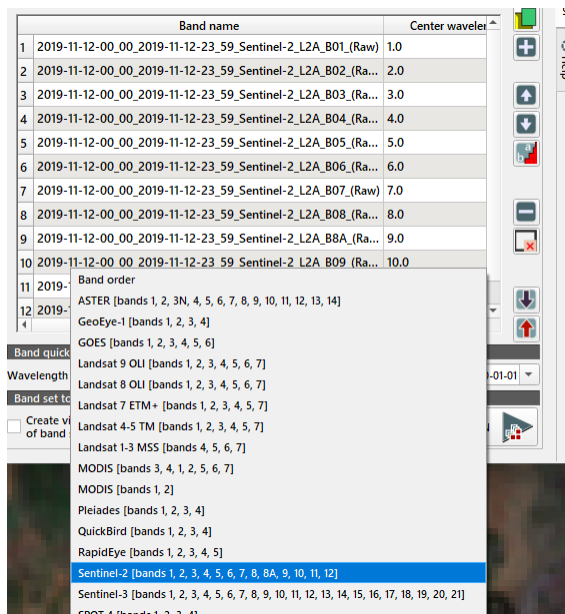


Рис. 5.21. Вибір типу супутника для правильного порядку каналів знімку

Тепер для кожного каналу знімка відома довжина хвиль і можна продовжувати далі.

Band name	Center wavelength
1 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B01_(Raw)	0.443
2 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B02_(Ra...	0.49
3 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B03_(Ra...	0.56
4 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B04_(Ra...	0.665
5 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B05_(Ra...	0.705
6 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B06_(Ra...	0.74
7 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B07_(Raw)	0.783
8 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B08_(Ra...	0.842
9 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B8A_(Ra...	0.865
10 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B09_(Ra...	0.945
11 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B11_(Raw)	1.375
12 2019-11-12-00_00_2019-11-12-23_59_Sentinel-2_L2A_B12_(Raw)	1.61

Рис. 5.22. Задані довжини хвиль каналів.

Тепер у вас є можливість вибирати різні комбінації каналів знімків для кращого дешифрування об'єктів, оскільки кожна комбінація дає кращу інформацію про певні типи місцевості.

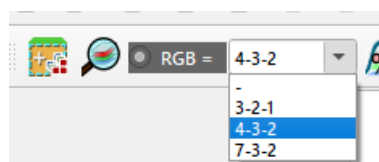


Рис. 5.23. Вибір комбінації каналів.

Для виконання автоматичної класифікації знімка програмою вам потрібно створити ROI - це полігони, що використовуються для визначення

спектральних характеристик класів земельного покриття. Класифікація завжди ґрунтується на спектральних сигнатурах. Спочатку створіть новий файл для навчальних вибірок **Create a new training input** (Створити нові навчальні дані) у вікні **GSP Dock** на лівій бічній панелі.

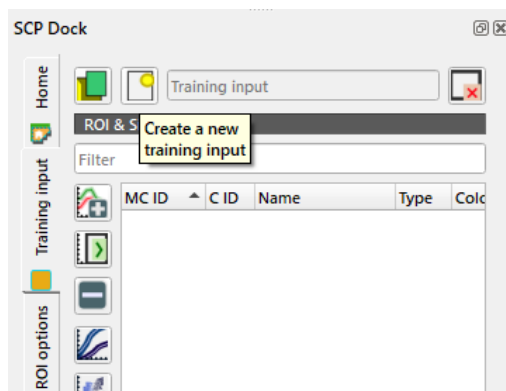



Рис. 5.24. Створення файлу для тренувальних вибірок

Тепер відповідно до ваших знань про місцевість вам потрібно задати приклади пікселів, що належать об'єктам різних класів. Збільште масштаб і створіть багатокутник за допомогою кнопки  **Create a ROI Polygon** (Створити полігон зони інтересу), який займе пікселі одного кольору з невеликою різницею в значенні. Клацніть правою кнопкою миші, щоб завершити багатокутник. Щоб зберегти цей ROI натисніть кнопку **Save temporary ROI to training input** (Зберегти тимчасові ROI до навчальних даних) та дайте назву головному класу об'єктів **MC Name** та підкласу **C Name**.

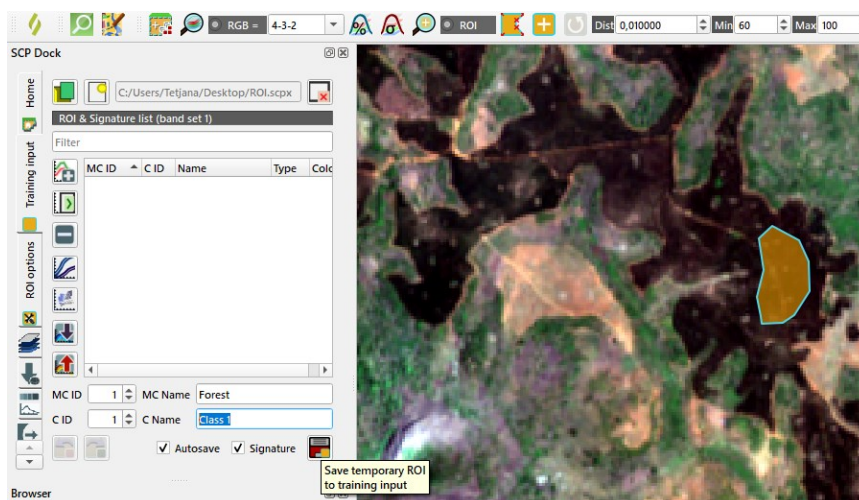


Рис. 5.25. Збереження ROI

Створіть по кілька зразків об'єктів кожного класу, щоб у вас було більше даних для правильної класифікації зображення. Після додавання нових полігонів з пікселями об'єктів не забувайте їх зберігати. Для

зручності ідентифікації класів краще одразу давати їм зрозумілі назви, наприклад, озеро, річка, ліс, луг, місто, тощо. Також подвійним клацанням лівої кнопки миші на полі кольору класу можна вибрати новий колір, який буде краще відповідати об'єктам знімку.

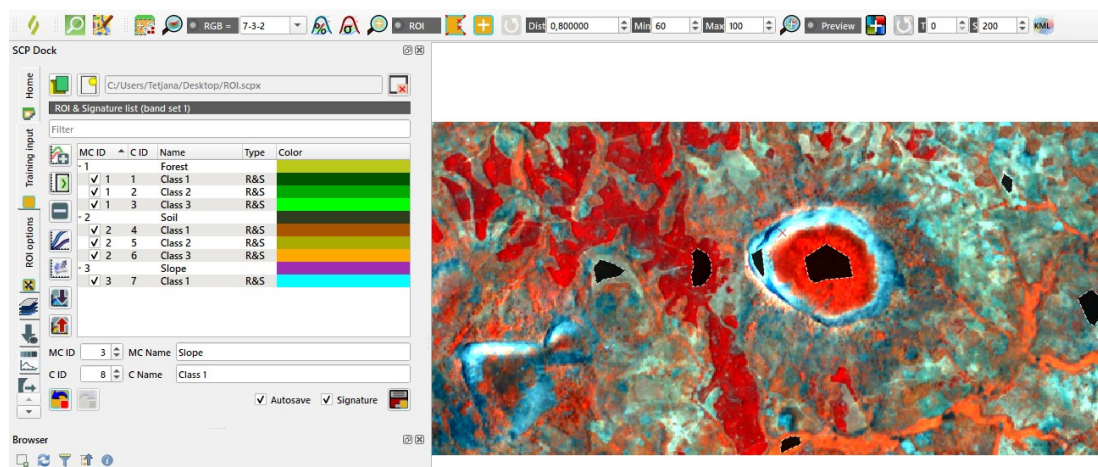


Рис. 5.26. Створені полігони ROI

Щоб наочно побачити відмінність між різними класами об'єктів знімку зробіть аналіз спектральних сигнатур створених вами вибірок. У вікні SCP Dock виділіть класи об'єктів та натисніть на кнопку *Add highlighted signatures to spectral signature plot* (Додати виділені сигнатури до графіка спектральних сигнатур). Відкриється нове вікно, де у вигляді графіку показано залежність величини та довжини хвилі для усіх створених сигнатур. У моєму випадку на знімку присутні літ та відкрита місцевість і по графіку добре помітно два типи кривих.

*Проаналізуйте ваш графік спектральних сигнатур.*

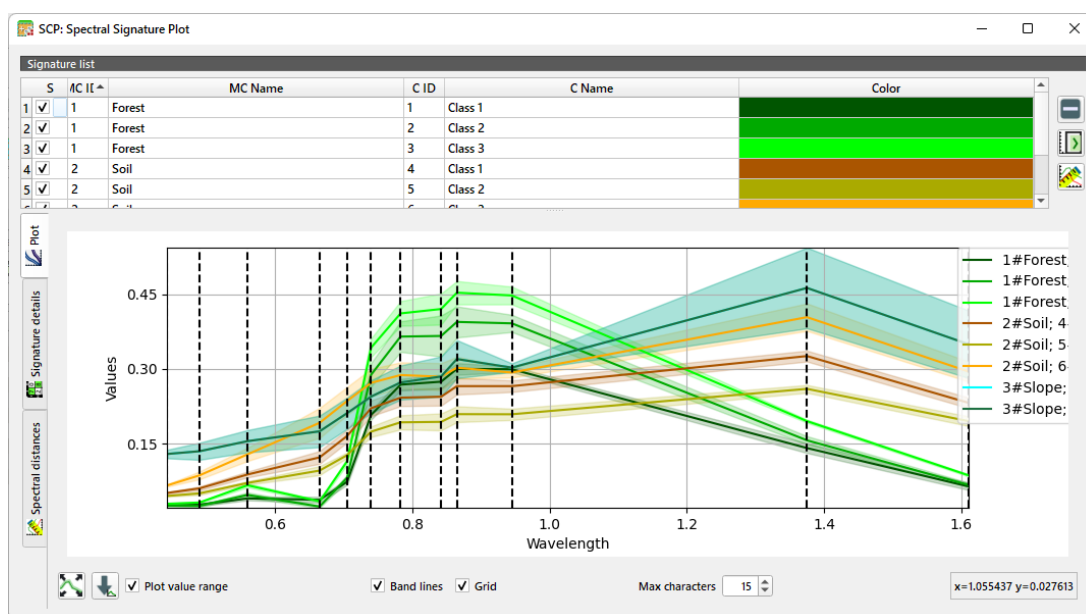


Рис. 5.27. Графік сигнатур

Щоб перейти до процесу класифікації перейдіть *SCP / Band processing / Classification* або виберіть цей процес у вікні *Semi-Automatic Classification Plugin*. Переконайтеся що у вас обрано вхідними даними набір каналів, з яким ви працюєте, та оберіть будь-який алгоритм класифікації зображення, що є в меню *Algorithm*.

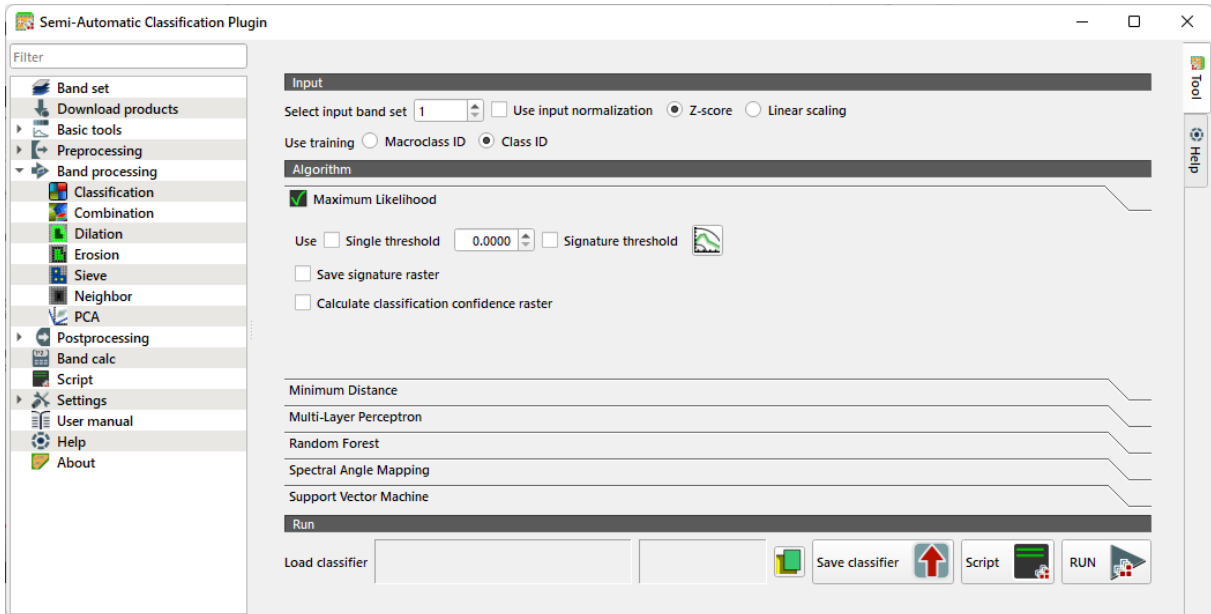


Рис. 5.28. Вибір параметрів класифікації знімка

Щоб оцінити правильність класифікації знімку за створеними вами вибірками та зрозуміти чи їх достатньо, перед виконанням процесу класифікації можна подивитися попередній результат через кнопку на панелі інструментів *Activate classification preview pointer* (Активувати покажчик попереднього перегляду класифікації).

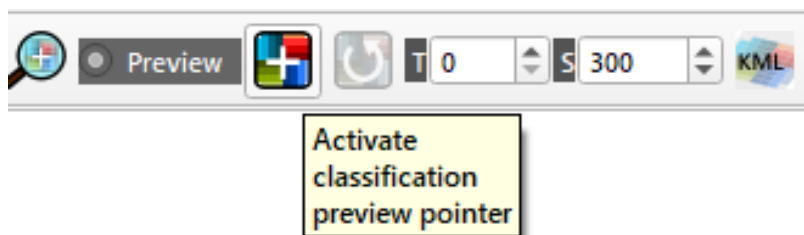


Рис. 5.29. Вибір інструменту попереднього перегляду класифікації.

Якщо вас задовольняє результат на попередньому перегляді, то натисніть кнопку *Run* у вікні *Semi-Automatic Classification Plugin*. Збережіть вихідний файл у вашу папку та, додавши до отриманого растру легенду (умовні позначення), додайте до звіту.

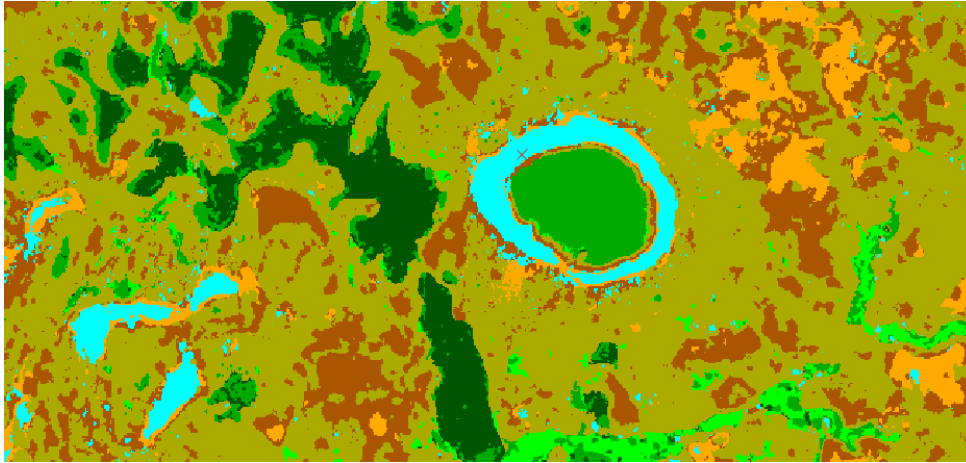


Рис. 5.30. Класифіковане зображення



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно підготувати:

1. Синтезовані у природних кольорах знімки Sentinel-2 та Landsat-8.
2. Синтезовані знімки для дослідження рослинності для обох супутників.
3. Растри з заданими інтервалами індексів NDVI та NDWI для обох супутників.
4. Класифіковане зображення одного зі знімків з легендою.
5. Дати відповіді на такі питання:
  - а) що таке процес класифікації знімків, які є методи та алгоритми класифікації?
  - б) які канали необхідно використати для обрахунку індексів NDVI та NDWI для даних Landsat, Sentinel? Чому вони різні?

## 6. Обробка знімків Sentinel-2 у програмному пакеті SNAP

**Мета завдання:** *опрацювати знімок Sentinel-2, навчитися вирізати фрагмент, виконувати математичні операції з каналами та некеровану класифікацію знімку.*

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.

Розпакуйте завантажений раніше з ресурсу <https://dataspace.copernicus.eu/browser/> супутниковий знімок Sentinel-2 в

своїй папці. Для розуміння структури назви знімків розглянемо назву знімку місцевості на частину Харківської області, зроблений 15 серпня 2021 року. Файл зі знімком називається L1C\_T35UQR\_A023199\_20210815T085845.zip. Після розпакування архіву з'явилася папка S2B\_MSIL1C\_20210815T085559\_N0301\_R007\_T35UQR\_20210815T100709.SAFE.

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.

У середині 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.

Якщо ви завантажили продукт після виконання атмосферної корекції рівень L2A знімків результатом також є папка \*.SAFE зі схожою структурою: всередині є папка GRANULE, всередині неї ще одна папка, в якій знаходиться папка IMG\_DATA, а в ній скориговані тайли. Тайли згруповані за просторовим розрізненням: у папці R10m знаходяться ті, у яких просторова роздільна здатність становить 10 метрів, у R20m — ті, де роздільна здатність 20 метрів, у R60m — 60 метрів.

L1C та L2A – це коди рівня обробки. Рівень L1C означає, що знімок оброблений рівня Top-of-Atmosphere reflectance, тобто значення пікселів на знімку відповідають відображенню, зафіксованому у верхньої межі атмосфери — там, де літає супутник. Рівень L2A – це обробка рівня Bottom-of-Atmosphere reflectance, тобто до значень відображення біля поверхні Землі - так, начебто атмосфера абсолютно прозора. Насправді це, звичайно, не так, і атмосферна корекція дозволяє прибрати тільки частину спотворень, що виникають при проходженні світла через атмосферу, але в цілому

значення Bottom-of-Atmosphere reflectance більше відповідають реальному відображенню від земної поверхні, ніж значення Top-of-Atmosphere reflectance.

Таблиця 1

### Канали 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 8А - 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).

	Windows 64-Bit	Mac OS X	Linux 64-bit
Sentinel Toolboxes	These installers contain the <b>Microwave</b> and <b>Optical</b> Toolboxes, download size is close to 1GB.		
	<a href="#">Main Download</a> <a href="#">Mirror Download</a>	<a href="#">Main Download</a> <a href="#">Mirror Download</a>	<a href="#">Main Download</a> <a href="#">Mirror Download</a>
SMOS Toolbox	These installers contain only the <b>SMOS Toolbox</b> , download size is close to 800MB. Download also the <a href="#">Format Conversion Tool</a> (Earth Explorer to NetCDF) and the <a href="#">user manual</a> .		
	<a href="#">Main Download</a> <a href="#">Mirror Download</a>	<a href="#">Main Download</a> <a href="#">Mirror Download</a>	<a href="#">Main Download</a> <a href="#">Mirror Download</a>
All Toolboxes	These installers contain the <b>Microwave</b> , <b>Optical</b> and <b>SMOS</b> Toolbox, download size is close to 1GB.		
	<a href="#">Main Download</a> <a href="#">Mirror Download</a>	<a href="#">Main Download</a> <a href="#">Mirror Download</a>	<a href="#">Main Download</a> <a href="#">Mirror Download</a>

Рис. 6.1. Сторінка з типами інсталяція програми SNAP

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

Запустіть інсталяцію програми, натиснувши на файл *esa-snap\_all\_windows-x64\_x\_0\_0.exe*. Не змінюючи параметрів, натискайте *Next* (*Наступний*) на всіх етапах інсталяції.

Після інсталяції відкрийте програму SNAP Desktop.

### 6.1. Вирізання фрагменту знімку

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.

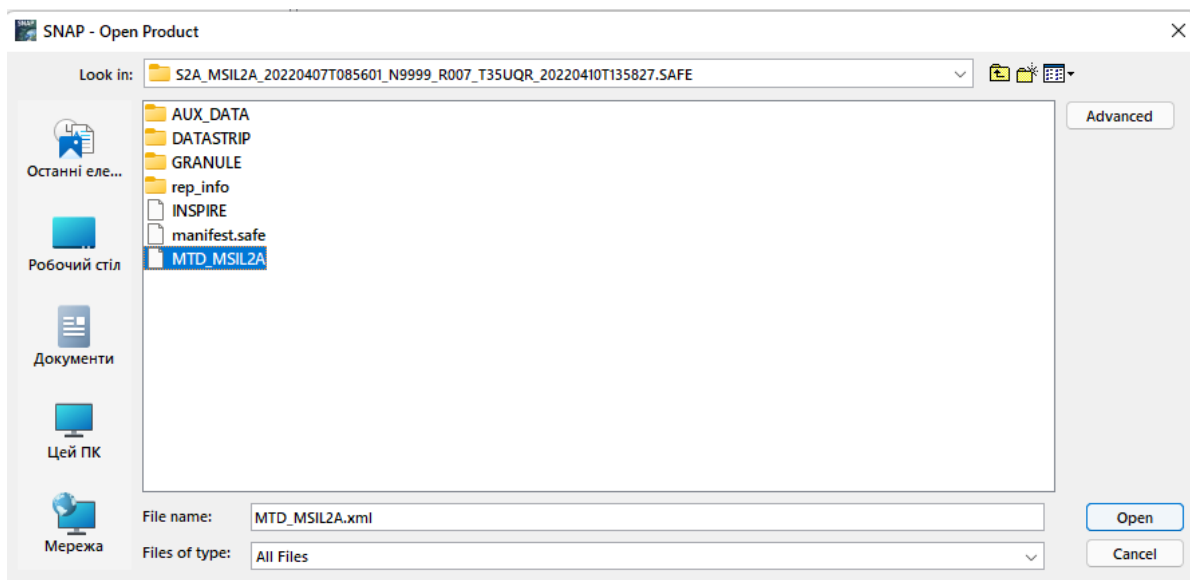


Рис. 6.2. Вікно вибору файлу для відкриття знімку

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).

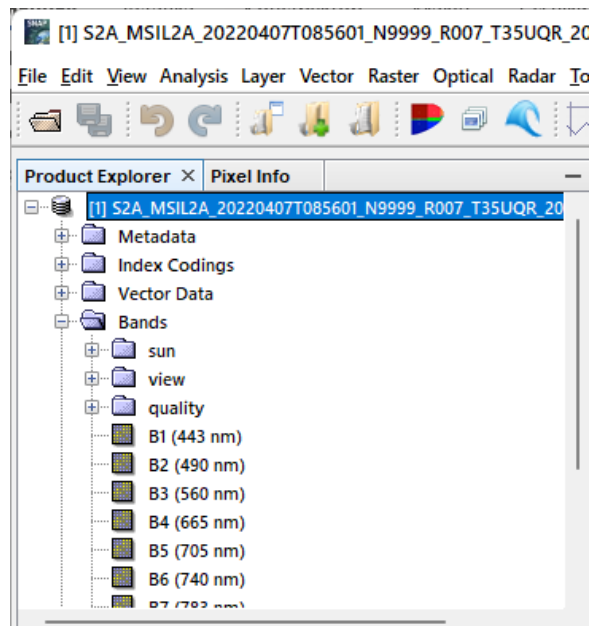


Рис. 6.3. Дерево папок та каналів, з яких складається інформація про знімок

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).

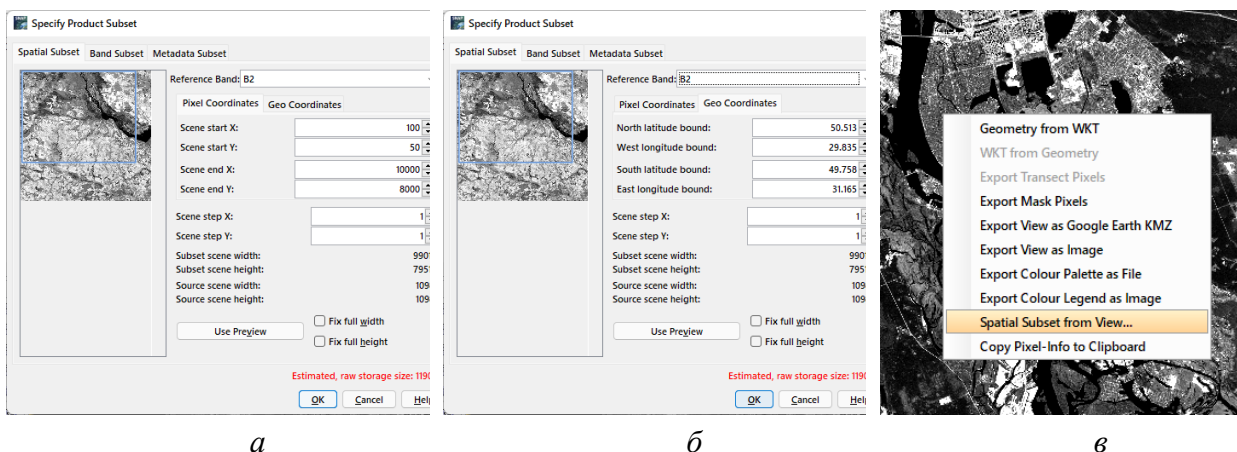


Рис. 6.4. Варіанти функцій вирізання фрагменту знімку

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).

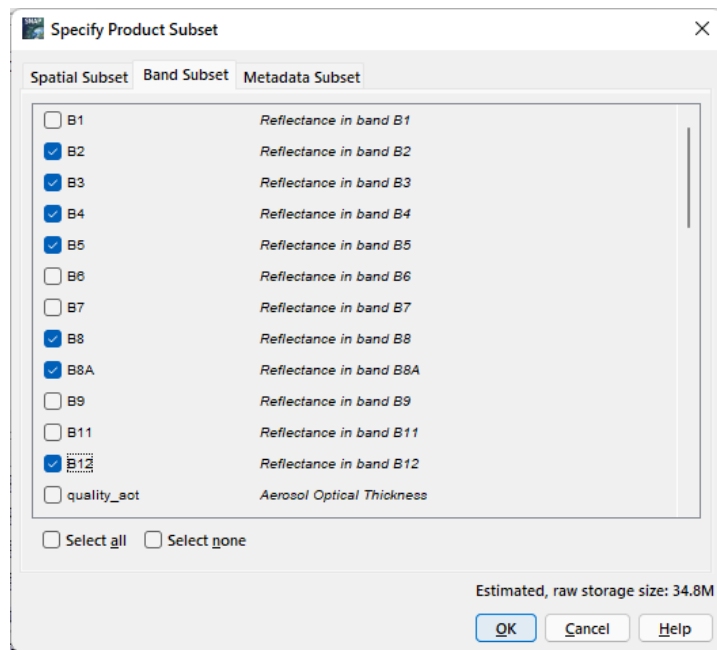


Рис. 6.5. Вікно вибору каналів знімку для вирізання

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

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.

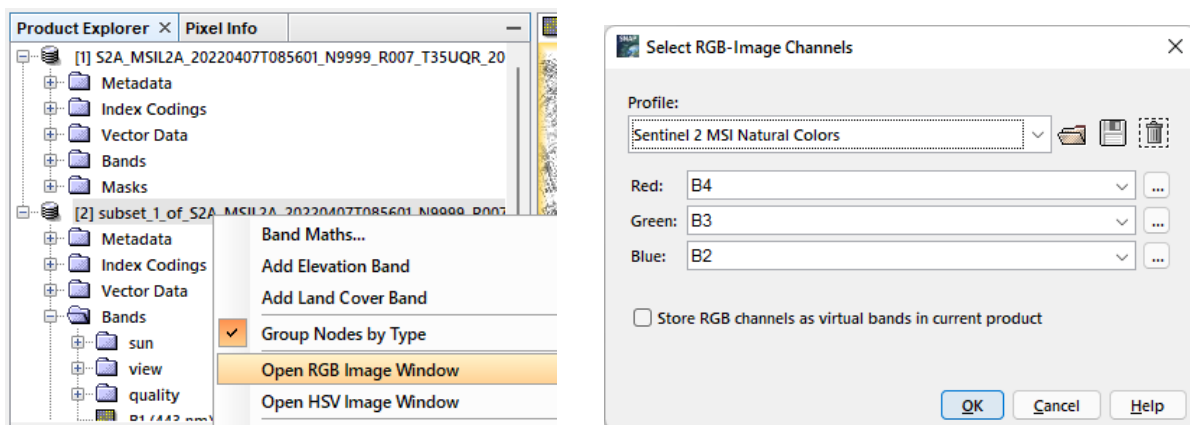


Рис. 6.6. Вибір каналів для відображення знімку

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...*)

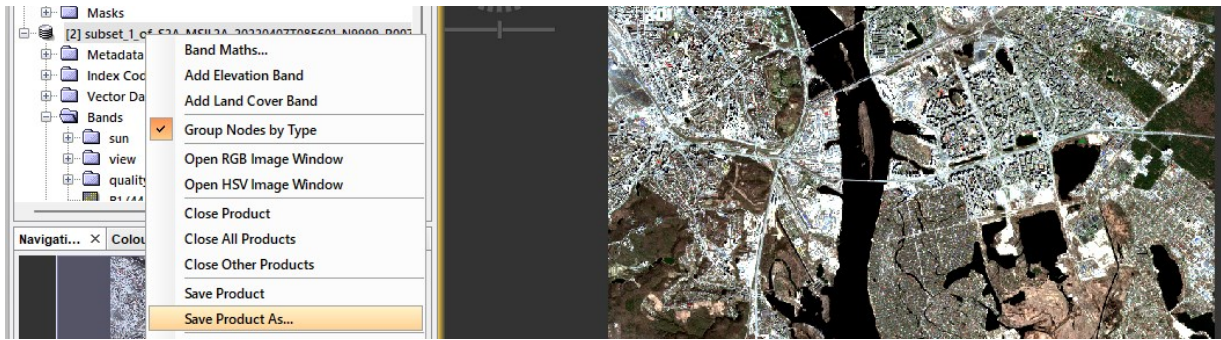


Рис. 6.7. Збереження вибраного продукту

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

## 6.2. 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.

Програма SNAP пропонує великий вибір індексів для автоматичного обчислення, 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. 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*).

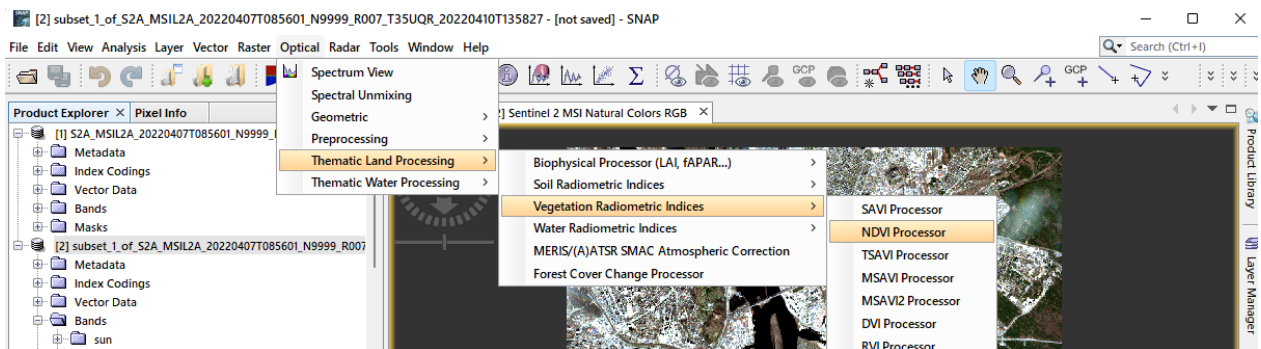


Рис. 6.8. Вибір вегетаційних індексів

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**.

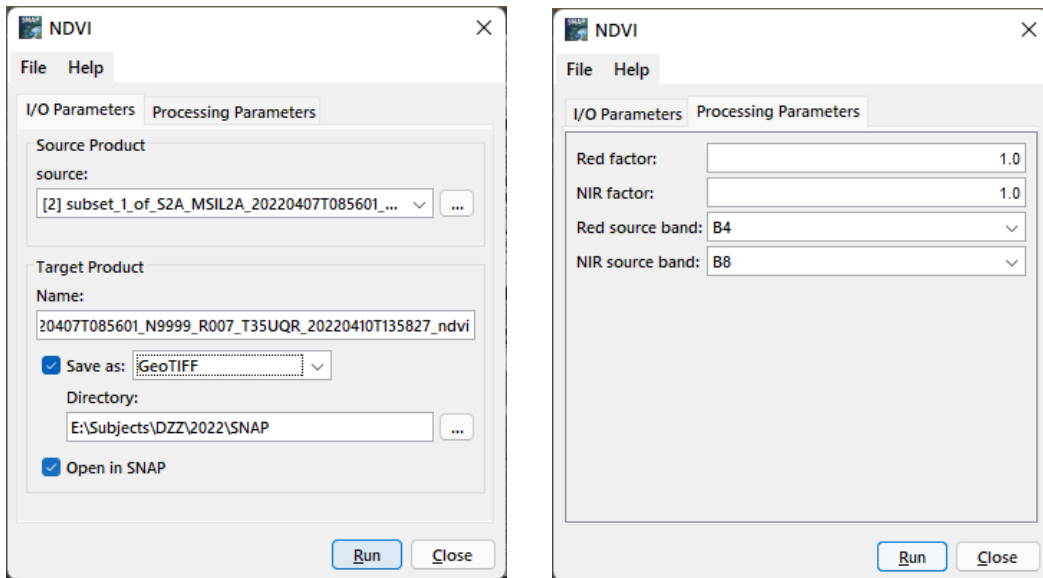


Рис. 6.9. Вікно задання параметрів для обрахунку індексу NDVI

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».

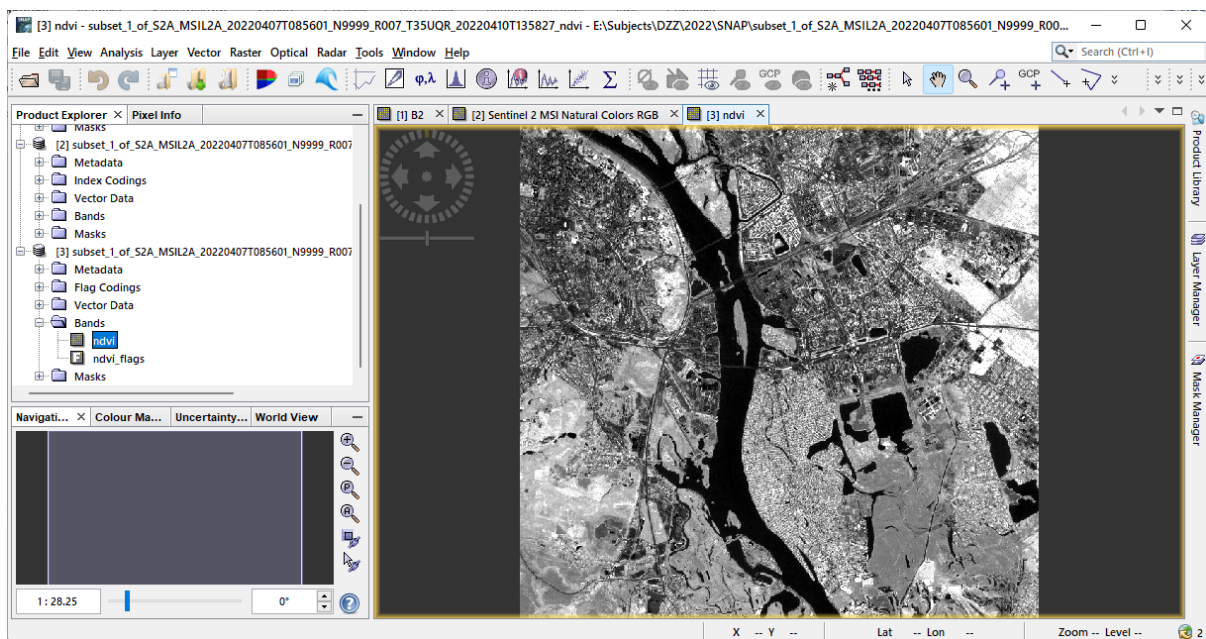


Рис. 6.10. Обраховане зображення NDVI

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.

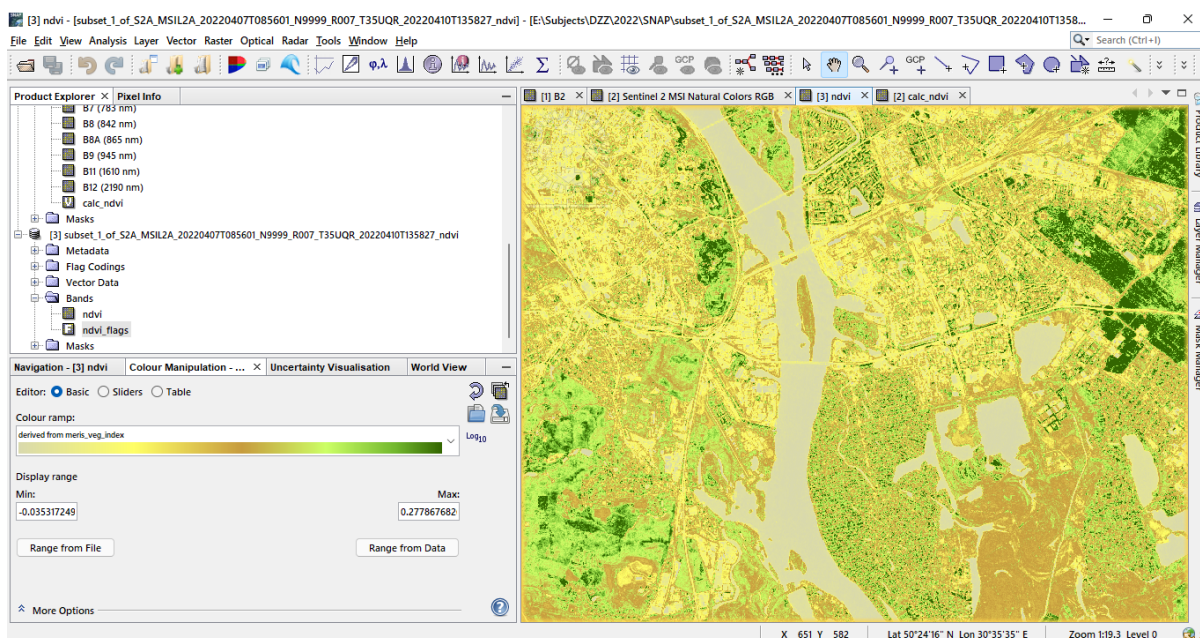


Рис. 6.11. Вибір кольорової шкали для зображення

### 6.3. Математика каналів.

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:

$$NDVI = \frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)},$$

де B8 – ближній інфрачервоний канал, NIR;

B4 – червоний канал, Red.

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

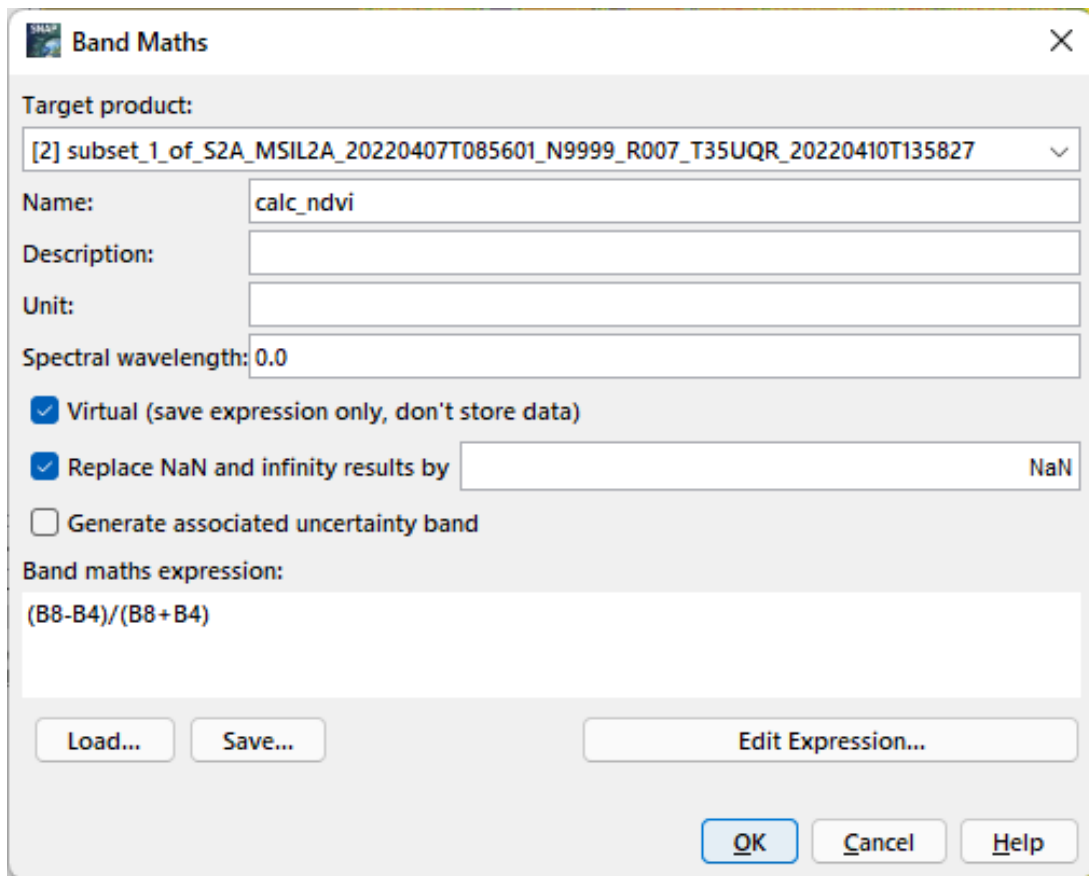


Рис. 6.12. Вікно запису формул для обрахунку

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.

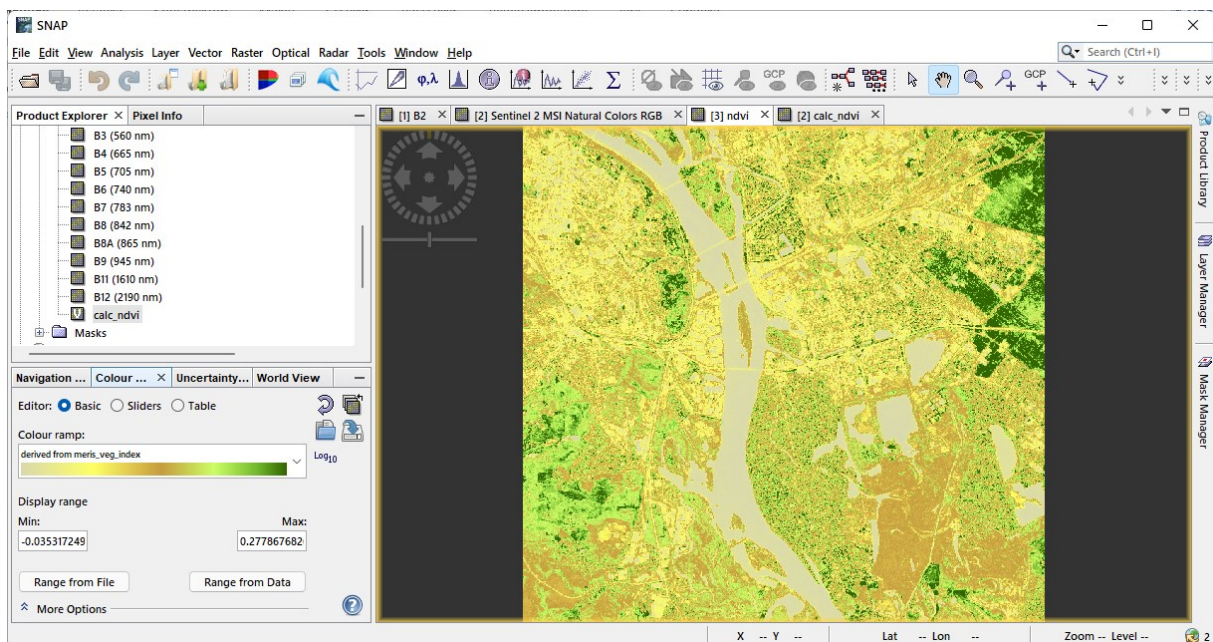


Рис. 6.13. Порахований NDVI за прописаною формулою

## 6.4. Некерована класифікація 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 спектральними характеристиками (кластери). Ці алгоритми потребують мінімум початкової інформації (число класів, кількість ітерацій).

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

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

***I/O Parameters*** (*вхідні/вихідні параметри*) виберіть:

- вхідний файл, який потрібно класифікувати (вирізаний фрагмент);
- формат збереження результату та шлях на вашому комп'ютері до відповідної папки.

***Processing Parameters*** (*Параметри обробки*) необхідно задати:

- кількість класів, на яку програма розділить пікселі зображення;
- максимальну кількість ітерацій, 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.

Виберіть канали знімку, що будуть брати участь у процесі класифікації зображення. На рис. 6. 13 показаний приклад, ви вибираєте номери каналів та їх кількість, яка потрібна вам.

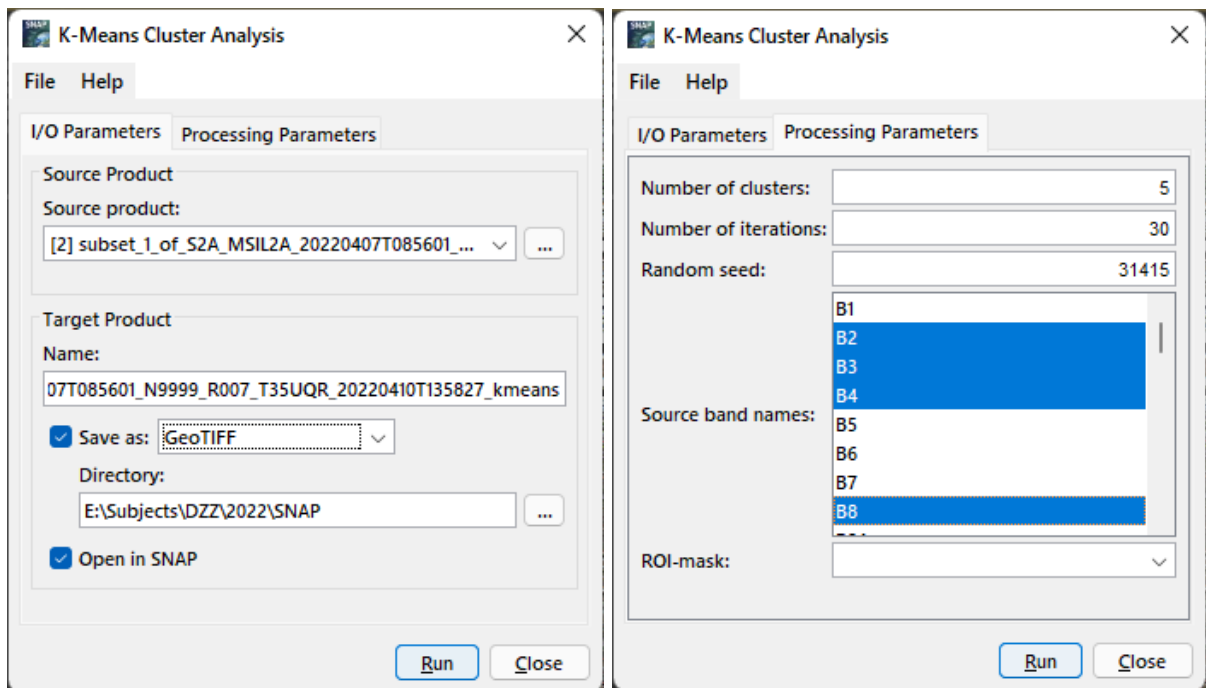


Рис. 6.14. Вікно вибору параметрів некерованої класифікації методом К-Means

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

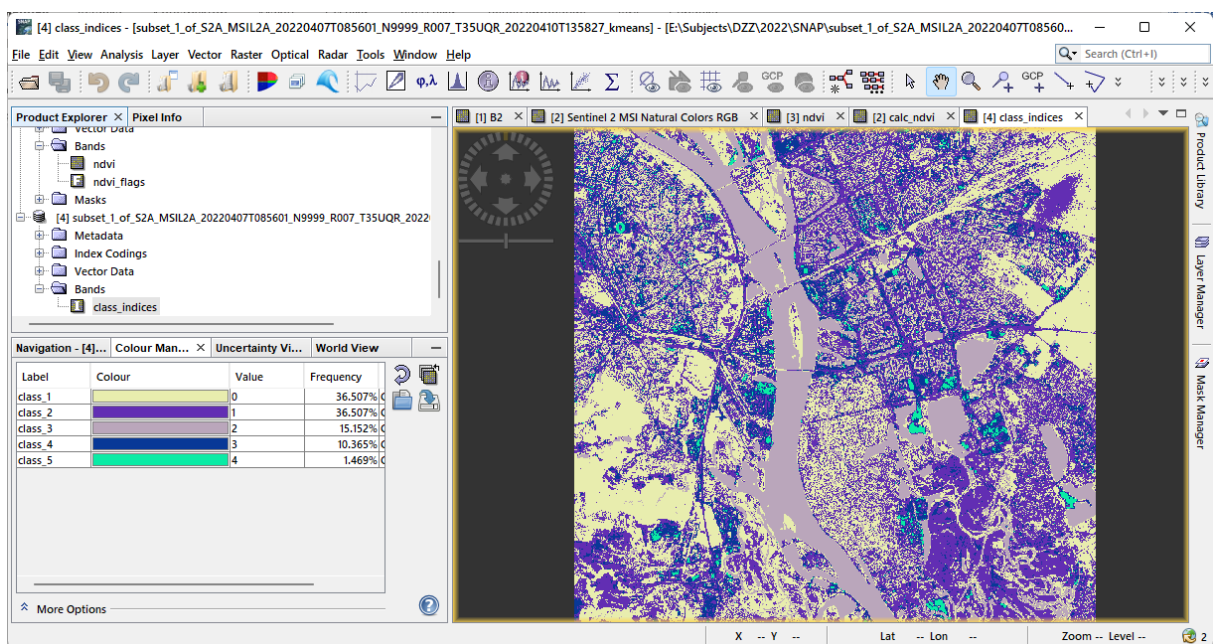


Рис. 6.15. Результат виконання некерованої класифікації зображення.

Самостійно ідентифікуйте до якого класу належать об'єкти землекористування на знімку після завершення класифікації.



Для звіту про виконання даної роботи вам необхідно підготувати:

1. Обрахований індекс *NDVI* для вирізаного фрагменту знімка на ваше місто.

2. Результат некерованої класифікації знімку з легендою.

3. Відповіді на такі питання:

а) чому потрібно вирізати фрагмент знімку на досліджувану територію, а не використовувати весь знімок?

б) як впливає на результат некерованої класифікації знімків кількість заданих класів?

в) які методи некерованої класифікації існують та як вони працюють?

---

## Бонус

### 7. Завантаження знімків з високим розрізненням через SAS.Planet

SAS.Планета – вільне програмне забезпечення для навігації, що поєднує в собі можливість завантаження, перегляду та аналізу карт і супутникових фотографій земної поверхні великої кількості картографічних online-сервісів.

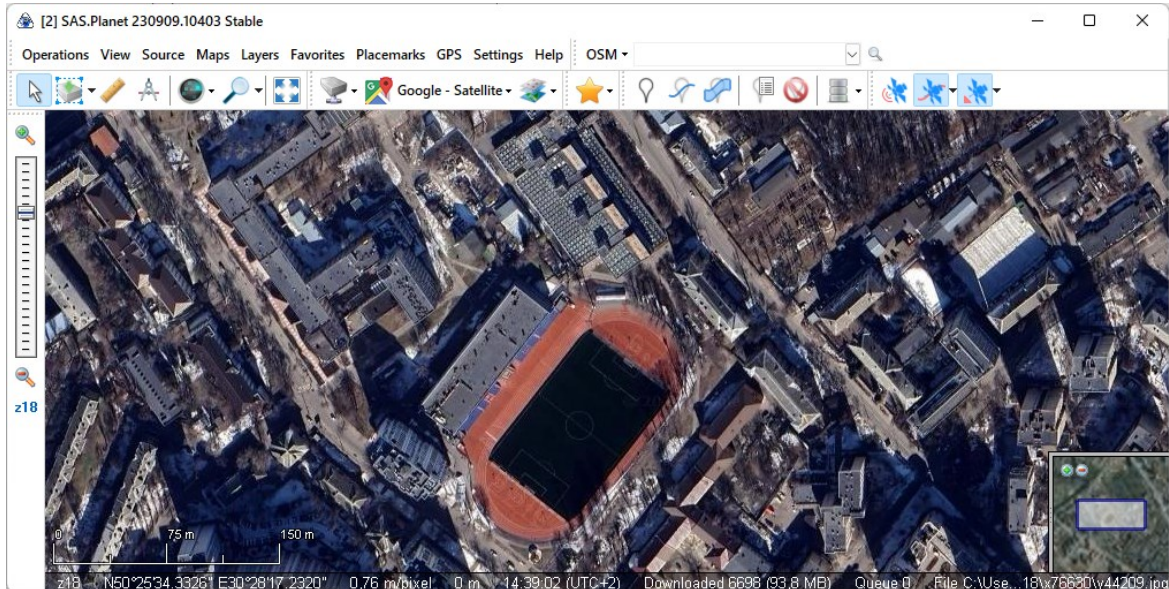


Рис.7.1. Вікно програми

Через меню *Maps* ви можете підключити будь-яку з наявних у переліку карт. Тут є можливість обрати супутникові знімки високої роздільної здатності, які, наприклад, використовує Google.

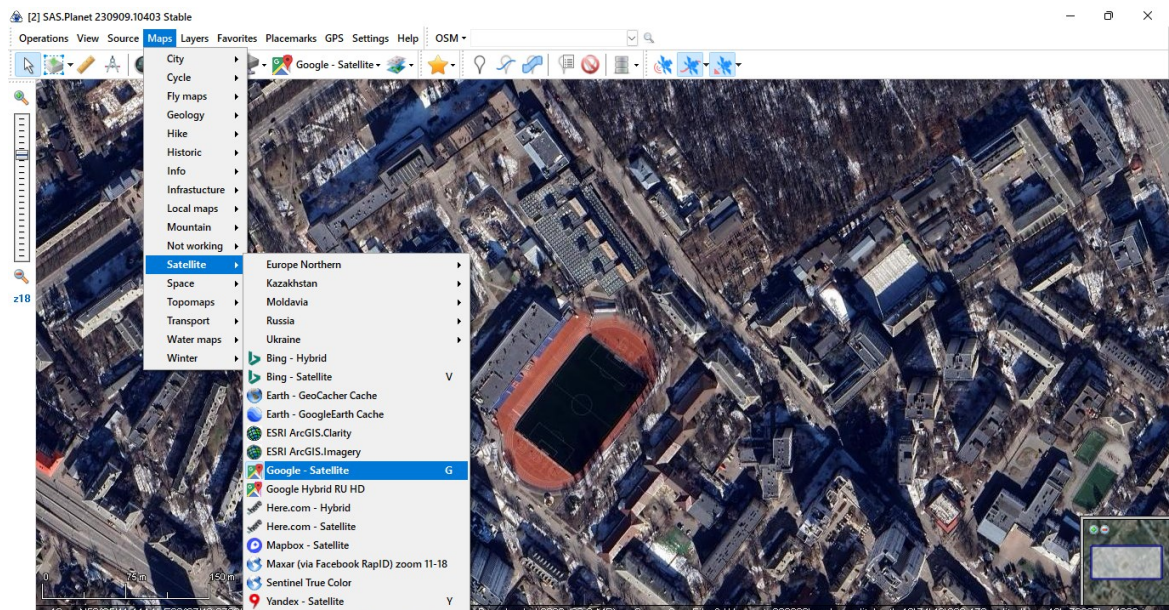


Рис. 7.2. Вибір набору карт

Після вибору території та джерела знімків ви можете завантажити потрібний фрагмент у відповідній якості. Інструмент вибору території знаходиться у правій частині панелі інструментів. Скористайтеся найбільш зручним для вас. При виборі території прямокутником необхідно вказати верхню ліву точку та нижню праву.

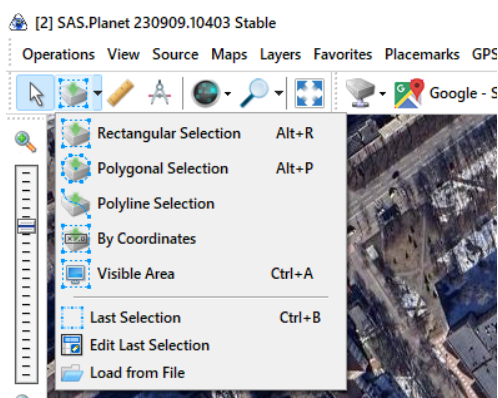


Рис. 7.3. Вибір інструменту виділення території

Коли ви виділили територію, автоматично з'явиться наступне вікно (рис. 7.4.), де ви маєте вказати яке наближення (*Zooms*) вам потрібне, тобто яка роздільна здатність фрагменту. Чим більший зум, тим детальніше зображення, але й розмір файлу буде більшим. Рекомендується обирати зум від 18 і більше для невеликих територій.

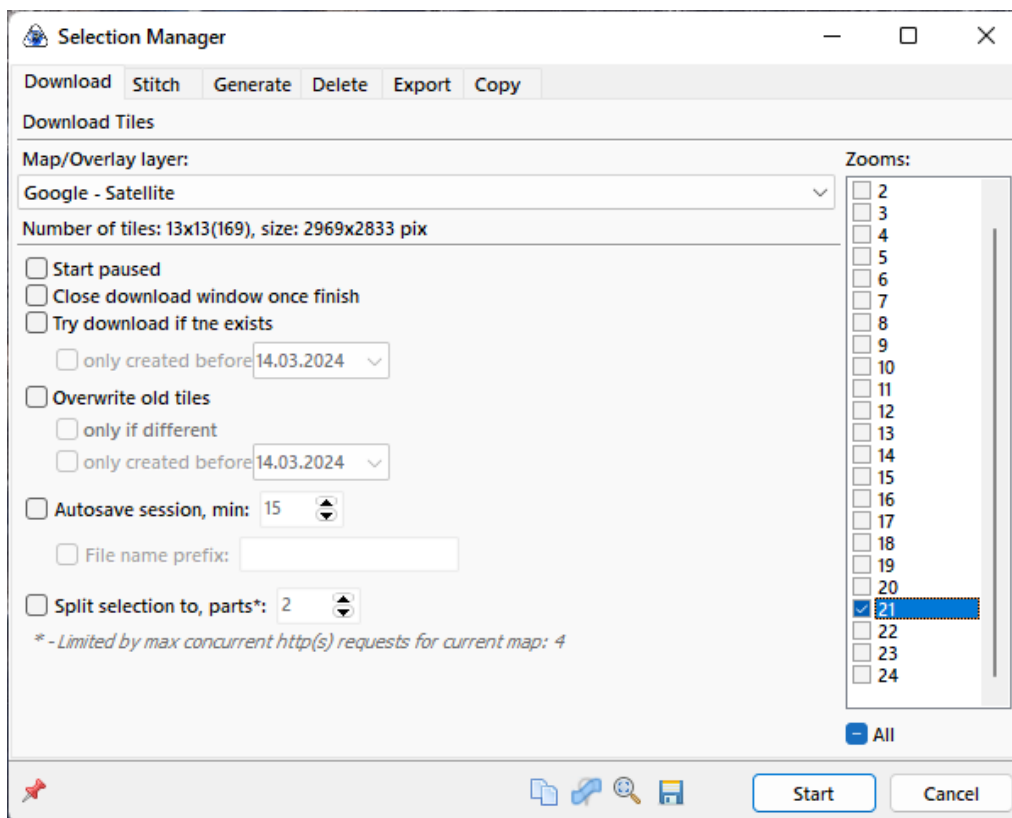


Рис. 7.4. Параметри завантаження фрагменту знімку

У вкладці *Stitch* оберіть вихідний формат збереження зображення, шлях і повторно вкажіть той же зум, що у попередній вкладці. Натисніть кнопку *Start*.

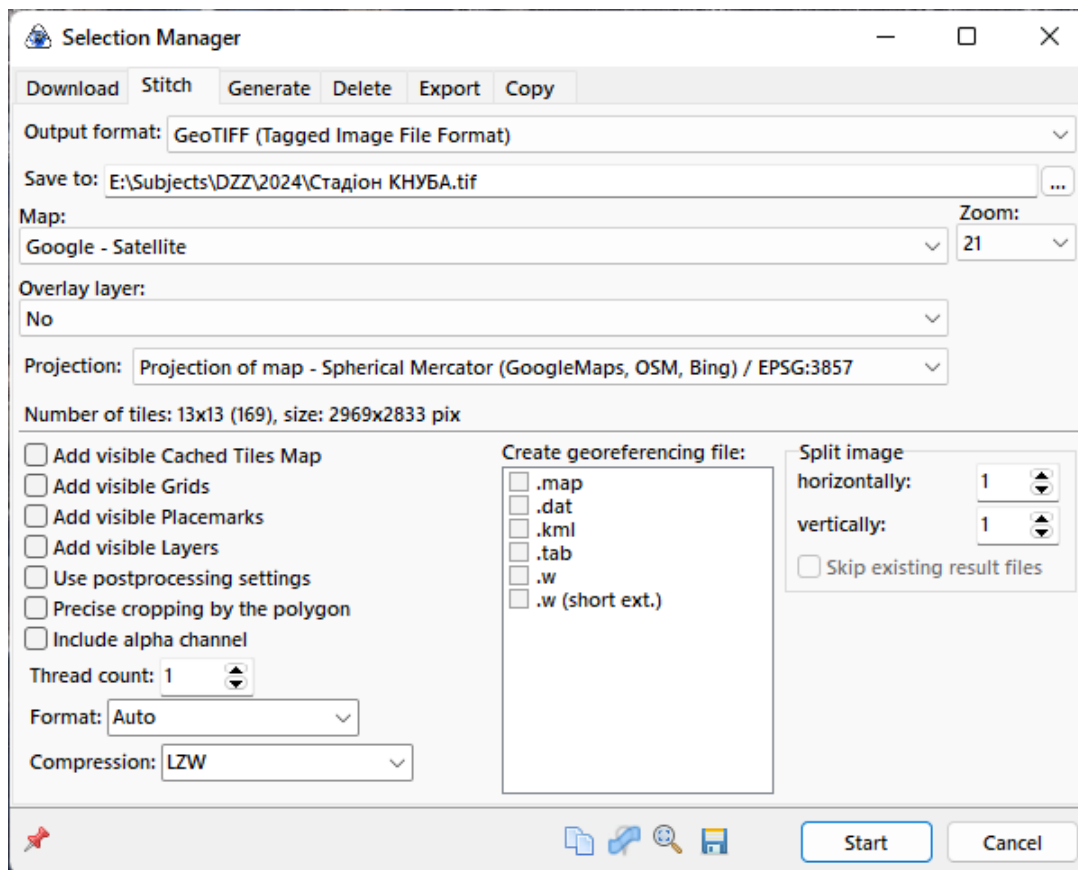


Рис. 7.5. Параметри завантаження фрагменту знімку

Після закінчення завантаження вибраного фрагменту, ви маєте знімок високої роздільної здатності, з яким можна далі працювати у ГІС програмах, наприклад, ArcGIS, QGIS, тощо.

## Список 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. Arun Gunasekaran. Tutorial in SNAP Desktop for Sentinel 2 Data Pre Processing Applications -GNU GPL Environment. Conference: Internal Works. 2020
4. End-to-End Google Earth Engine (Full Course). URL: <https://courses.spatialthoughts.com/end-to-end-gee.html> (дата звернення: 14.02.2024).
5. Giovanni User Guide. URL: [giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/doc/UsersManualworkingdocument.docx.html](https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/doc/UsersManualworkingdocument.docx.html) (дата звернення: 19.02.2024).
6. Introduction to my EOSDA LandViewer. URL: [https://eos.com/user-guide/landviewer/my\\_landviewer](https://eos.com/user-guide/landviewer/my_landviewer) (дата звернення: 10.02.2024).
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. Natural and False Color Composites. URL: [https://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP\\_216/lessons/composites.html](https://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/lessons/composites.html) (дата звернення: 10.09.2021).
10. Comparison of Sentinel-2 and Landsat. URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat> (дата звернення: 19.02.2024).

### Інформаційні ресурси:

1. <https://earthengine.google.com/>
2. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
3. <https://dataspace.copernicus.eu/>
4. <https://scihub.copernicus.eu/>
5. <https://www.usgs.gov>
6. <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>
7. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
8. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
9. <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
10. <https://eos.com/landviewer/>

Навчально-методичне видання

# ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Укладач **Плющ** Тетяна Миколаївна

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 4,88. Обл.-вид. арк. 5,25  
Електронний документ. Вид № 9/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