

МЕТОДИКА ОБРОБКИ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ

З. Рижок, к. е. н.

ORCID ID: 0000-0003-0733-5658

Львівський національний університет природокористування

<https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.178>

Рижок З. Методика обробки супутникових даних

Встановлено, що обробка даних дистанційного зондування Землі – це процес виконання операцій над космічними знімками, що охоплює їх корекцію, перетворення, поліпшення, дешифрування та візуалізацію. Основні етапи обробки даних космічних знімків передбачають попередню і тематичну обробки, де перша – це корекція й поліпшення супутникового зображення. У дослідженні представлено методику обробки каналів радарного супутникового знімка Sentinel-1 у програмі SNAP. Послідовність процедури обробки космічних знімків передбачає визначення інформативних спектральних каналів супутникових знімків; корекцію зображення (спектральну, геометричну, радіометричну); маскування хмар і втрачених даних на знімках у визначених каналах, атмосферну корекцію; визначення локальних спектральних особливостей поверхні, візуальне дешифрування; напівавтоматичне чи автоматичне дешифрування; уточнення результатів дешифрування з урахуванням локальних особливостей, а також застосування комплексних правил дешифрування; оцінку точності дешифрування; отримання результатів дослідження. Попередня обробка даних дистанційного зондування Землі передбачає геометричну, радіометричну, атмосферну корекцію зображення, географічну прив'язку знімка з ресурсу Copernicus Browser, одержаного із штучного супутника Sentinel-1, за часовий проміжок з 19.06.2024 по 19.07.2024 року для території Жовтанецької територіальної громади Львівської області. Для об'єкта дослідження у програмі SNAP видалено тепловий шум після виконання кроку *Thermal Noise Removal*. Зрівноважено файл орбіт за допомогою застосування інструменту *Apply Orbit File*. Для корекції рельєфу застосовано *SAR Simulation Terrain Correction*. Після обробки супутникового знімка території Жовтанецької територіальної громади Львівської області у програмі SNAP створено RGB-зображення для оцінки території за станом її використання відповідно до цільового призначення земель.

Ключові слова: обробка, супутниковий знімок, дистанційне зондування Землі, програма SNAP.

Ryzhok Z. Satellite data processing methodology

It is established that remote sensing data processing is the process of performing operations on satellite images, including their correction, transformation, improvement, decoding and visualization. The main stages of space image data processing include preliminary and thematic processing, where the first one is the correction and improvement of the satellite image. The study presents the method of processing the Sentinel-1 radar satellite image channels in the SNAP program. The sequence of the space image processing procedure involves the determination of informative spectral channels of satellite images; image correction (spectral, geometric, radiometric); masking of clouds and lost data in images in specified channels, atmospheric correction; determination of local spectral features of the surface, visual decoding; semi-automatic or automatic decryption; clarification of decryption results taking into account regional features, as well as application of complex decryption rules; assessment of decoding accuracy; obtaining research results. Pre-processing of Earth remote sensing data includes geometric, radiometric, and atmospheric correction of the image, geographic reference of the image from the Copernicus Browser resource, received from the artificial satellite Sentinel-1, for the period from June 19, 2024, to July 19, 2024, for the territory of Zhovtantsi territorial community of Lviv region. Thermal noise removal was performed for the research object in the SNAP program after performing the Thermal Noise Removal step. Aligned the orbit file using the Apply Orbit File tool. SAR Simulation Terrain Correction was used to perform terrain correction. After processing a satellite image of the territory of the Zhovtantsi territorial community of Lviv region, an RGB image was created in the SNAP program to assess the territory according to the state of its use following the intended purpose of the land.

Keywords: processing, satellite image, remote sensing, SNAP program.

Постановка проблеми. Обробка даних дистанційного зондування Землі – це процес виконання операцій над космічними знімками, що передбачає їхні корекцію, перетворення, поліпшення, дешифрування та візуалізацію. Основні етапи обробки даних космічних знімків передбачають попередню й тематичну обробки, де перша –

це корекція і поліпшення супутникового зображення. Однак деякі методи поліпшення зображень, до яких належить фільтрація чи зміна контрасту зображення, зумовлюють зміну спектральних характеристик знімка [2]. Тому у дослідженні представлено методику обробки космічних знімків відповідно до аналізу значень спектральної яскравості

пікселів, а також арифметичного перетворення каналів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дані дистанційного зондування Землі містять низку випадкових, системних і систематичних спотворень, пов'язаних із впливом атмосфери, кривизни Землі та руху знімального апарату щодо її поверхні в момент зйомки, фізичними характеристиками використовуваних датчиків і каналів зв'язку, що досліджено у працях Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. [4]. Для усунення цих та інших спотворень, з урахуванням їхньої специфіки, варто використовувати корекцію декількох видів, обробку космічних знімків, як от атмосферна, радіометрична, геометрична та калібрування.

Постановка завдання. Наше завдання – представити методику обробки каналів радарного супутникового знімка Sentinel-1 у програмі SNAP.

Виклад основного матеріалу. Програма SNAP (Sentinel Application Platform) – це платформа додатків, призначена для обробки даних із супутників Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, SMOS, PROBA V. Архітектура SNAP ідеально підходить для обробки та аналізу даних спостережень за земним покривом, оскільки має основні переваги щодо:

- швидкого відображення зображень і збереження навігації навіть для гігапіксельних знімків;
- застосування Graph Processing Framework (GPF) для створення користувацьких ланцюжків обробки космічних знімків;
- удосконаленого керування шарами, що дозволяє додавати та маніпулювати новими, наприклад такими, як знімки з інших діапазонів, зображення із серверів WMS, або шейп-файлів ESRI;
- різноманітного визначення областей інтересу для статистики та графіків;
- простого визначення та накладання бітових масок;
- використання довільних математичних виразів;
- точного відтворення та ортотрансформування у поширені картографічні проекції;
- геокодування та корекції з використанням наземних контрольних точок;
- автоматичного завантаження матриці висот SRTM та вибору тайлів;
- використання бібліотеки продуктів для ефективного сканування та каталогізації великих архівів;

– підтримки багатопотоковості та багатоядерних процесорів;

– інтегрованої візуалізації WorldWind [9].

Послідовність процедури обробки космічних знімків передбачає:

- 1) визначення інформативних спектральних каналів супутникових знімків;
- 2) корекцію зображення (спектральну, геометричну, радіометричну);
- 3) маскування хмар і втрачених даних на знімках у визначених каналах, атмосферну корекцію;
- 4) визначення локальних спектральних особливостей поверхні, візуальне дешифрування;
- 5) напівавтоматичне чи автоматичне дешифрування;
- 6) уточнення результатів дешифрування з урахуванням локальних особливостей, а також застосування комплексних правил дешифрування;
- 7) оцінку точності дешифрування;
- 8) отримання результатів дослідження [1].

Зазначені етапи обробки даних супутникових даних можна поділити на дві основні групи:

1. Попередня обробка – це комплекс операцій із космічними знімками, спрямований на усунення різних спотворень зображення, що можуть бути зумовлені недосконалістю реєструючої апаратури, впливом атмосфери, перешкодами, пов'язаними з передачею зображень каналами зв'язку, геометричними спотвореннями, пов'язаними з методом космічної зйомки, умовами освітлення підстильної поверхні, процесами фотохімічної обробки та аналого-цифрового перетворення зображень при роботі з матеріалами фотографічної зйомки та іншими факторами [3];

2. Тематична обробка – це розпізнавання об'єктів та явищ на космічних знімках на основі дешифрувальних ознак.

Попередня обробка даних дистанційного зондування Землі передбачає геометричну, радіометричну, атмосферну корекцію зображення, географічну прив'язку знімка з ресурсу Copernicus Browser [6], одержаного зі штучного супутника Sentinel-1, що має радар із синтетичною апертурою (SAR) на частотах С-діапазону C-SAR з рівнем обробки та типом продукту Level-1 GRD за часовий проміжок з 19.06.2024 по 19.07.2024 року для території Жовтанецької територіальної громади Львівської області. Результат відкріємо у програмі SNAP (рис. 1).

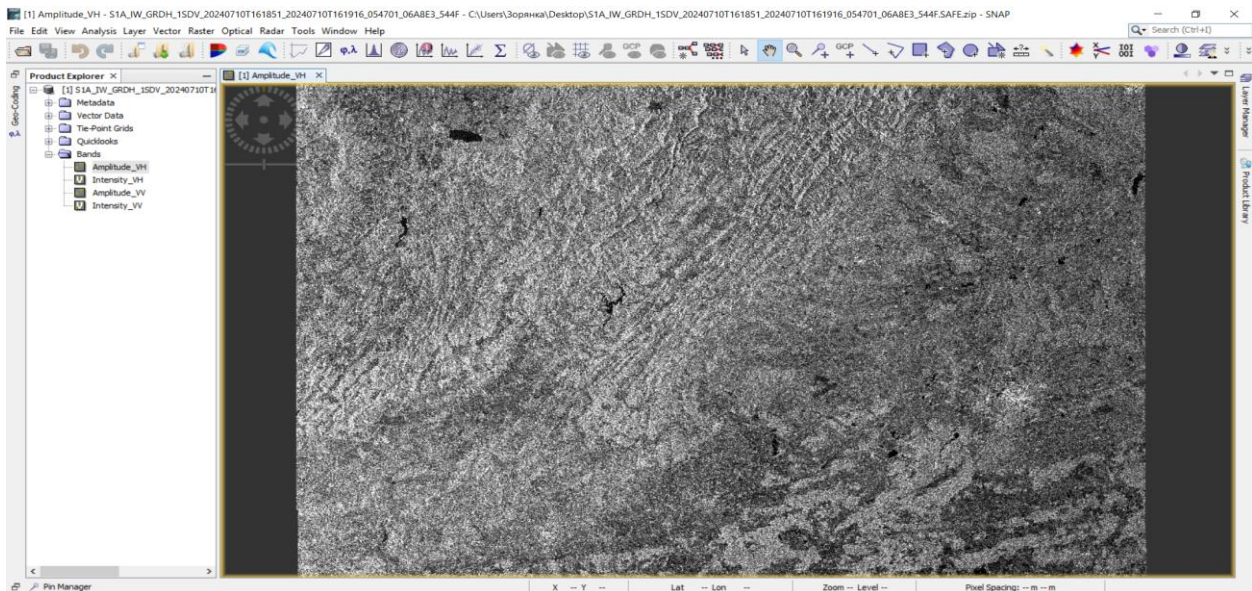


Рис. 1. Перегляд наявних каналів радарного супутникового знімка Sentinel-1, завантаженого з ресурсу Copernicus Browser у програмі SNAP

Для пришвидшення обробки радарного знімка, виріжемо з великого кадру частину території Жовтанецької територіальної громади Львівської області (рис. 2). Для цього на панелі інструментів

обираємо Raster → Subset та в головному вікні програми наближаємось до місця розташування об'єкта дослідження, яку хочемо вирізати із знімка.

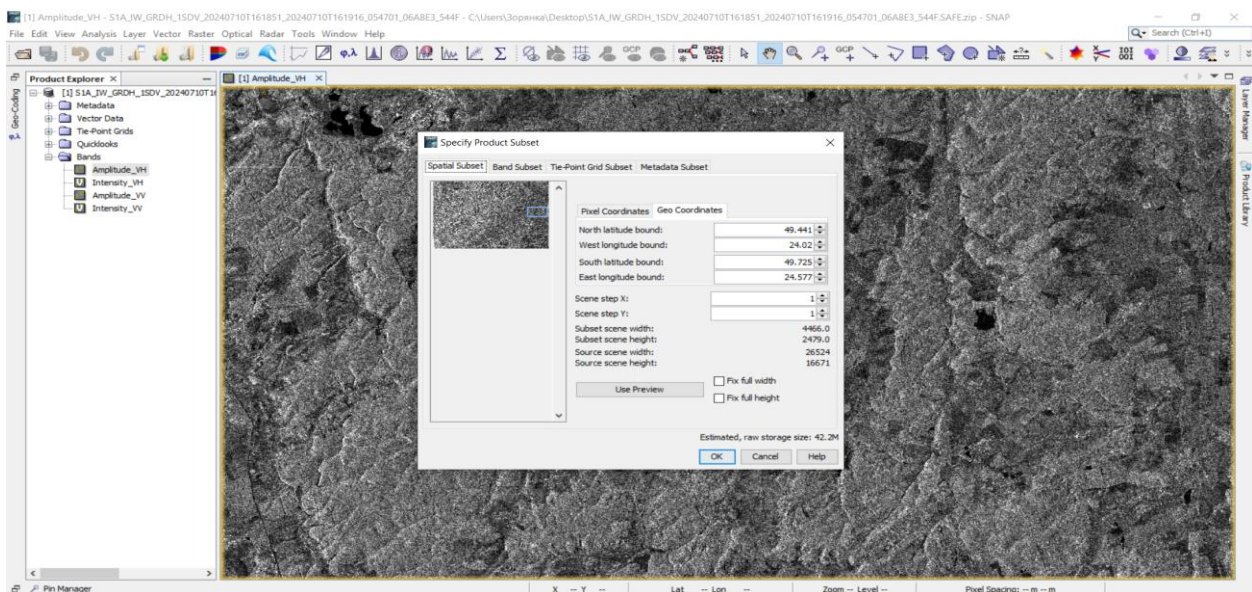


Рис. 2. Налаштування параметрів вирізання території Жовтанецької територіальної громади Львівської області у програмі SNAP

SNAP пропонує вибір щодо видалення теплого шуму із зображень Sentinel-1 після виконання кроку Thermal Noise Removal з обробки знімка (рис. 3) [8].

Вектори стану орбіти, надані в метаданих продукту SAR, як правило, не точні та можуть бути зрівноваженими за допомогою файлів точних орбіт, доступних у програмі SNAP за допомогою застосування інструменту Apply Orbit File (рис. 4). Файл орбіти надає точну інформацію про положення та швидкість руху штучного супутника Землі. На основі цієї інформації оновлюють дані

щодо вектора напрямку та швидкості його руху, що передбачає виконання основних етапів обробки супутникового знімка.

Щоб правильно працювати з даними SAR, їх потрібно спершу відкалібрувати. Це особливо актуально за підготовки даних для мозаїки, коли можна мати кілька продуктів даних під різними кутами падіння діапазонів електромагнітного випромінювання та з різними відносними рівнями яскравості. Радіометричне калібрування перетворює інтенсивність зворотного розсіювання, отриману сенсором, у нормовану радарну площу розсіювання

(Sigma0) як калібровану міру, що враховує глобальний кут падіння зображення та інших специфічних характеристик сенсора. Це робить радіолокаційні зображення, отримані на різні дати, за допомогою різних сенсорів, або геометрії зйомки, зіставними.

Ефективна площа розсіювання (Radar Cross-Section – RCS) у радіолокації – це характеристика відбивної здатності цілі, що визначається відношенням потужності електромагнітної енергії, яка відбивається цілком в напрямі приймача (радар), до поверхневої щільності потоку енергії падаючої плоскої хвилі. Sigma0 – відповідно, коефіцієнт зворотного розсіювання, необхідний для аналізу інтенсивності зворотного розсіювання.

Для того щоб відкалібрувати дані у меню Radar, переходимо до функції Radiometric і обираємо інструмент Calibrate, так, як це відображено на рис. 5.

Корекція рельєфу змінює початкове зображення, виправляючи геометричні спотворення SAR за допомогою цифрової моделі рельєфу DEM (ЦМР), щоб створити картографічний продукт. Ортофототрансформування перетворює зображення з геометрії похилої, або наземної дальності, в систему координат карти. Корекція рельєфу передбачає використання цифрової моделі рельєфу DEM (ЦМР) для корекції притаманних їй геометричних спотворень, таких як ракурс, перекриття та тінь, де:

- ракурс – це період часу, протягом якого схил освітлюється переданим імпульсом радіолокаційної енергії, визначає довжину схилу на радіолокаційному знімку, що призводить до вкорочення схилу місцевості на радіолокаційних знімках у всіх випадках, окрім тих, коли місцевий кут падіння дорівнює 90°;

- перекриття – якщо верхня частина схилу місцевості розташована ближче до радіолокаційної платформи, ніж нижня, то перша буде зафіксована раніше. Послідовність, в якій знімаються точки вздовж рельєфу, створює зображення, яке виглядає перевернутим. Через це радіолокаційне проходження залежить від різниці в похилій дальності між верхньою і нижньою точками об'єкта;

- тінь – це задній схил, закритий від скануючого променя, через, що не спостерігається зони повернення, або радіолокаційної тіні [5].

Для виконання корекції рельєфу на панелі інструментів обираємо Radar → Geometric → Terrain Correction → SAR Simulation Terrain Correction (рис. 6). За замовчуванням для корекції рельєфу використовують матрицю висот SRTM 3Sec, де відстань між пікселями становить 90 м. Також можна вибрати матрицю висот із вищою роздільною здатністю – SRTM 1Sec HGT (AutoDownload) з кроком пікселів у 30 м, коли програма SNAP автоматично визначить необхідні тайли для матриці висот

та автоматично завантажить їх з інтернет-серверів. За замовчуванням вихідною проєцією карти є географічна.

Щоб переглянути зображення в масштабі децибел у діапазоні Sigma0_HH, виправленому на місцевість, застосовують інструмент Linear to/from dB (рис. 7), що конвертує дані завдяки віртуальній смузі за допомогою виразу $10 \cdot \log_{10}(\text{Sigma0_HH})$ [7]. Функція log переводить значення пікселів у логарифмічну шкалу, що підвищує контрастність, оскільки яскраві значення зміщуються до середнього, тоді як темні – розтягуються на ширший діапазон кольору. Це дозволяє збільшити контрастність і розтягнутість зображення, роблячи його читабельнішим, з динамічнішим діапазоном, тоді як на лінійному зображенні значення яскравості пікселів обмежені діапазоном від 0 до 1 (рис. 8).

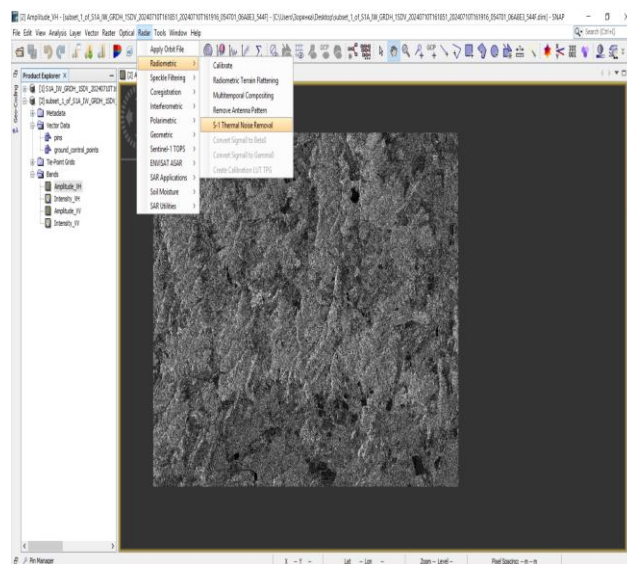


Рис. 3. Застосування інструменту Thermal Noise Removal у програмі SNAP

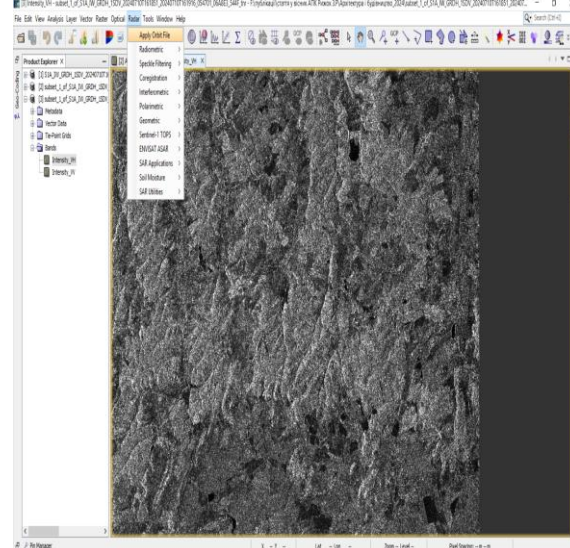


Рис. 4. Застосування інструменту Apply Orbit File у програмі SNAP

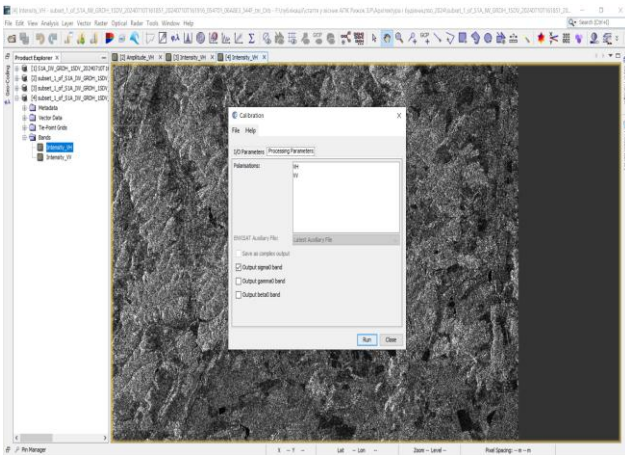


Рис. 5. Застосування інструменту Calibration у програмі SNAP

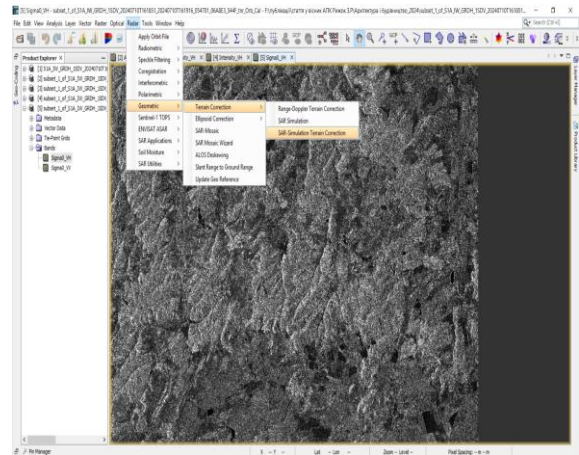


Рис. 6. Застосування інструменту Terrain Correction у програмі SNAP

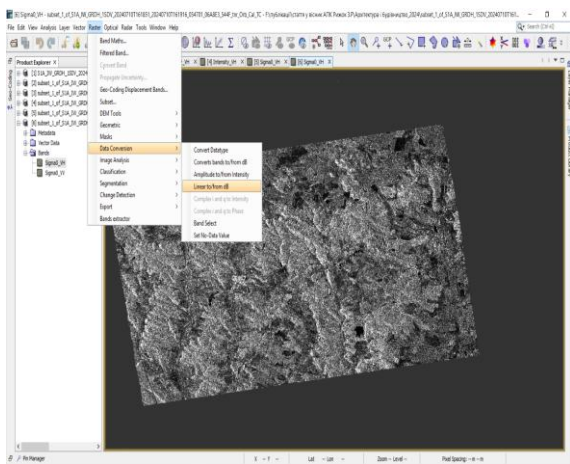


Рис. 7. Застосування інструменту Linear to/from dB у програмі SNAP

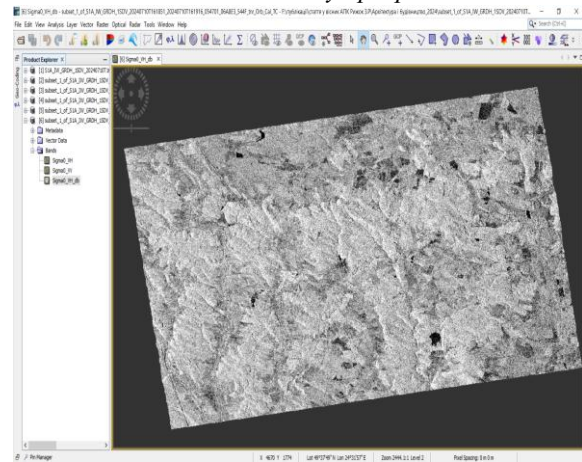


Рис. 8. Результат обробки у програмі SNAP

Після обробки супутникового знімка території Жовтанецької територіальної громади Львівської області у програмі SNAP відкриємо вікно RGB-зображення, де можливо налаштувати спосіб його створення, вибравши різні комбінації смуг із червоної, зеленої та синьої ділянок спектра, масштабувавши їх. На рис. 9 відображено три варіанти їх комбінації, де представлено особливості кожного,

для оцінки території за станом її використання відповідно до цільового призначення земель. Зображення порівняно за допомогою інструменту Split Window. Для цього на панелі інструментів обирають Window → Tile Evenly → Tile Horizontally, що дає змогу розмістити тайли горизонтально [8].

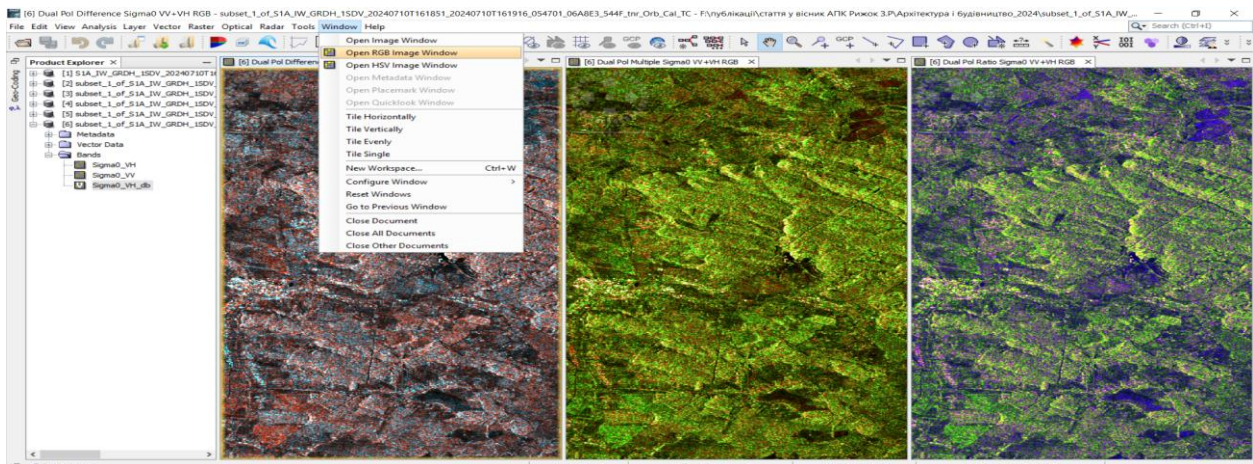


Рис. 9. Візуалізація частини території Жовтанецької територіальної громади Львівської області за допомогою інструменту RGB Image у програмі SNAP

Висновки. Підбір методів обробки супутникових даних передусім залежить від їхнього характеру даних, мети обробки, знання представленої на зображенні території та підготовленості, зокрема попереднього досвіду у проведенні робіт із поліпшення зображень. Проте в основі процесу покращання матеріалів дистанційного зондування Землі виділяють три основні напрямки корекції зображень, які передбачають геометричні, радіометричні та кольорові перетворення.

Бібліографічний список

1. Довгий С. О., Лялько В. І., Бабійчук С. М., Кучма Т. Л., Томченко О. В., Юрків Л. Я. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посібник. Київ, 2019. 316 с.
2. Касім М. М., Ясєнев С. О. Можливості обробки і використання даних дистанційного зондування землі на базі ГІС. *Екологічна безпека*. 2012. № 1. С. 156.
3. Прасул Ю. І., Копанішина К. М. Дистанційне зондування Землі. Робота з аеро- та космознімками (матеріали до модуля 2). Харків, 2009. 51 с.
4. Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Агроєкологічний супутниковий моніторинг. Київ: Аграр. наука, 2019. 204 с.
5. Babiichuk S., Davybidia L., Pikul S., Tomchenko O. Радарні дослідження в ДЗЗ. Практична робота 1. Радарні дані в EO Browser. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10436157>.
6. Copernicus browser. URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> (дата звернення: 10.07.2024).
7. Luis Veci. ALOS PALSAR Orthorectification Tutorial. URL: <https://step.esa.int/docs/tutorials/ALOS%20PALSAR%20Orthorectification%20Tutorial.pdf> (дата звернення: 10.07.2024).
8. SNAP. URL: <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap> (дата звернення: 10.07.2024).
9. STEP – Scientific Toolbox Exploitation Platform. URL: <https://step.esa.int/main/> (дата звернення: 10.07.2024).

Стаття надійшла 22.07.2024