

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВЕЛИКИХ ГЕТЕРОГЕННИХ ДАНИХ

Лабораторний практикум

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньо-науковою програмою «Математичні методи моделювання,
розпізнавання образів та комп'ютерного зору»
спеціальності 113 «Прикладна математика»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Методи аналізу великих гетерогенних даних. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 113 «Прикладна математика» / А. Ю. Шелестов, Н. М. Куссуль, Г.О. Куссуль; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10 897 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 57 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 5 від 26.05.2022р.)

за поданням Вченої ради Навчально-наукового Фізико-технічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (протокол № 4 від 18.04.2022 р.)

Електронне мережне навчальне видання

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВЕЛИКИХ ГЕТЕРОГЕННИХ ДАНИХ

Лабораторний практикум

Автори:

*Шелестов Андрій Юрійович, д. техн. наук, проф.
Куссуль Наталія Миколаївна, д. техн. наук, проф.
Яйлимова Ганна Олексіївна, д. філософії*

Відповідальний
редактор

Смирнов С.А., к.ф.-м.н., доц.

Рецензент

Лавренюк А.М., канд. техн. наук, доц. кафедри математичного моделювання та аналізу даних ФТІ, Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Навчальний посібник «Методи аналізу великих гетерогенних даних. Лабораторний практикум» присвячено вивченню методів та алгоритмів аналізу гетерогенних геопросторових даних здобувачами вищої освіти за спеціальністю 113 «Прикладна математика» та може бути корисним для студентів інших технічних спеціальностей. Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей засвоєння теоретичних положень, сучасних методів та алгоритмів аналізу гетерогенних і, зокрема, геопросторових даних, оволодіння практичними навичками використання сучасних підходів по використанню даних з різних джерел для розв'язання різних прикладних задач. Посібник містить необхідний теоретичний матеріал, приклади, а також завдання для виконання лабораторного практикуму.

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ОСНОВИ РОБОТИ З ГЕТЕРОГЕННИМИ ДАНИМИ	5
1.1. ДАНІ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	5
1.2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	5
<i>Про QGIS</i>	5
<i>Коротко про супутникові зображення</i>	7
1.3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	9
<i>Імпорт та попередня обробка супутникових зображень</i>	14
<i>Відображення растрових даних</i>	17
<i>Комбінації каналів</i>	17
<i>Базові операції з супутниковими зображеннями</i>	19
<i>Обрізання по замкненому векторному контуру (полігону)</i>	21
<i>Зміна проекцій векторного та растрового шарів</i>	21
<i>Робота з векторними даними</i>	23
<i>Робота з геопросторовими даними в Python</i>	26
1.4. ЗАВДАННЯ.....	27
1.5. ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ПОБУДОВА КАРТ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ NDVI	28
2.1. ДАНІ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	28
2.2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	28
2.3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	29
<i>Побудова карти NDVI засобами QGIS на основі супутникових даних Landsat-8</i>	29
<i>Побудова карти NDVI</i>	33
<i>Обчислення середнього значення індексу NDVI в розрізі полів господарства</i>	35
2.4. ЗАВДАННЯ.....	39
2.5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	40
2.6. ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	40
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТРЕНДІВ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИВУ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ	41
3.1. ДАНІ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	41
3.2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	41
3.4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	45
3.5. ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	46
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 СЦЕНАРІЇ ОБРОБКИ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ.....	47
4.1. ДАНІ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	47
4.2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	47

	4
4.3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	49
<i>Налаштування робочого середовища</i>	49
<i>Приклади коду</i>	51
4.4. ЗАВДАННЯ.....	54
4.6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	55
4.7. ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	55
ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	56

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ОСНОВИ РОБОТИ З ГЕТЕРОГЕННИМИ ДАНИМИ

Мета роботи: ознайомитися з основними можливостями програмного забезпечення QGIS для роботи з гетерогенними даними та оволодіти базовими навичками роботи з геоінформаційною системою (ГІС).

1.1. Дані та програмне забезпечення

Для виконання даної лабораторної роботи необхідно мати наступний перелік даних:

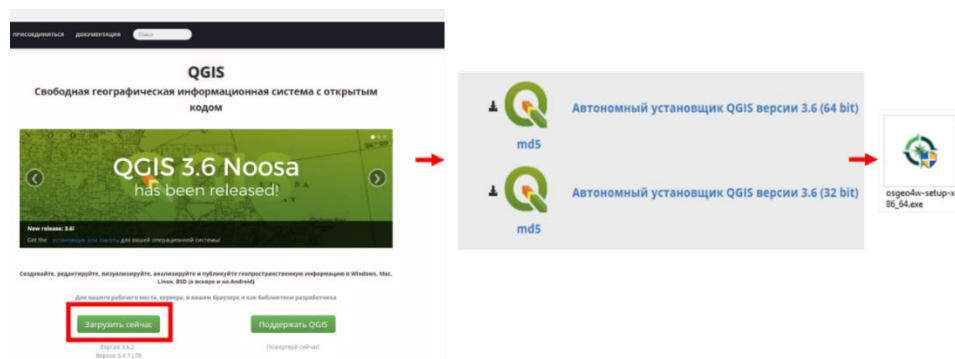
- Програмне забезпечення QGIS, який можна завантажити за посиланням: <https://qgis.org/>. В даному лабораторному практикумі всі приклади взяті на основі версії 3.6. Тому має сенс скористатися саме нею.
- Супутникові зображення супутнику Landsat-8 із <http://earthexplorer.usgs.gov/>. У випадку неможливості завантажити супутниковий знімок з вказаного джерела, можна використовувати знімок за [посиланням](#).
- Векторні контури районів України можна знайти за офіційним посиланням <https://atu.decentralization.gov.ua/#download-section> або [тут](#).

1.2. Теоретичні відомості

Про QGIS

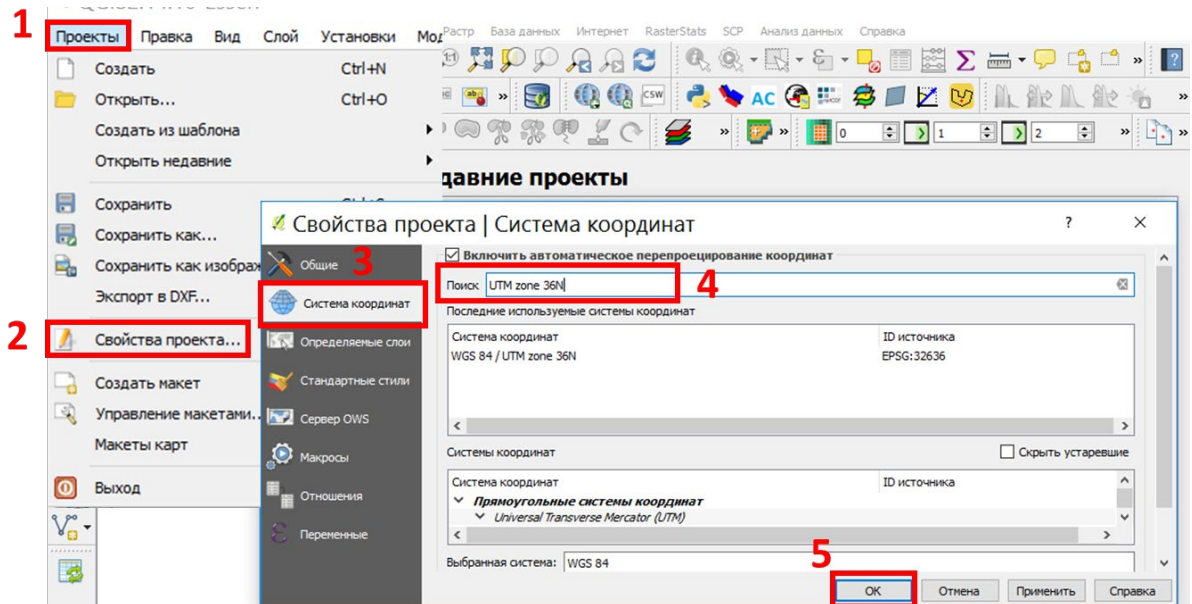
В комплект QGIS входить досить детальна документація. Більшість доступна лише англійською, але деякі документи, такі як посібник користувача, також перекладені іншими мовами. Для детального ознайомлення можна скористатись наступним посиланням: <https://www.qgis.org/uk/docs/index.html>.

Завантажити програмне забезпечення для роботи з геопросторовими даними можна за посиланням <https://qgis.org/>, натиснувши на посиланні «Завантажити зараз». Після цього необхідно обрати версію програми залежно від персонального комп'ютера (32 або 64-бітні системи). Завантажитись файл із розширенням .exe, після чого потрібно розпочати встановлення програми.



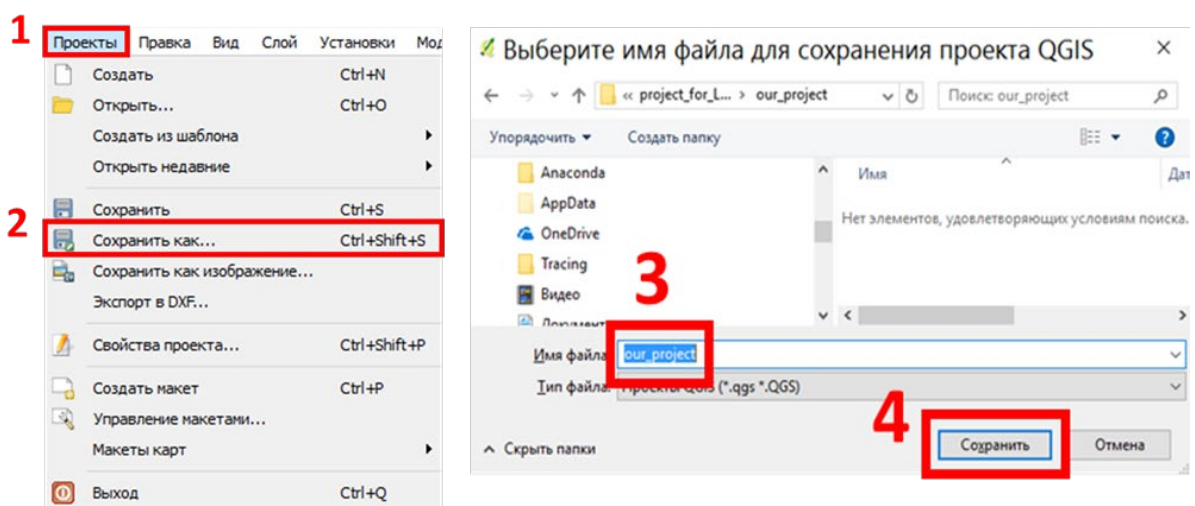
Для встановлення програми потрібно запустити завантажений файл та пройти всі кроки встановлення.

Після встановлення програми її необхідно запустити. Після запуску програми встановлюємо правильну проекцію для проекту, яка буде використовуватись (*Проекти – властивості проекту – система координат – UTM zone 36N - ok*).



Для збереження проекту потрібно виконати наступні дії

*Проекти – зберегти як – вказати директорію та назву проекту -
Зберегти*



Буде створено пустий проект, який можна наповнювати будь-якою інформацією, яка має геопросторову прив'язку.

Увага! Працювати із програмою QGIS можна і без збереження проекту, проте після закриття програми всі файли, які були в неї завантажені, закриваються і в наступний раз буде необхідно їх відкривати заново.

З коротким відеозаписом по встановленню програмного забезпечення можна переглянути за [посиланням](#).

Створення та збереження проекту можна переглянути за [посиланням](#).

Коротко про супутникові зображення

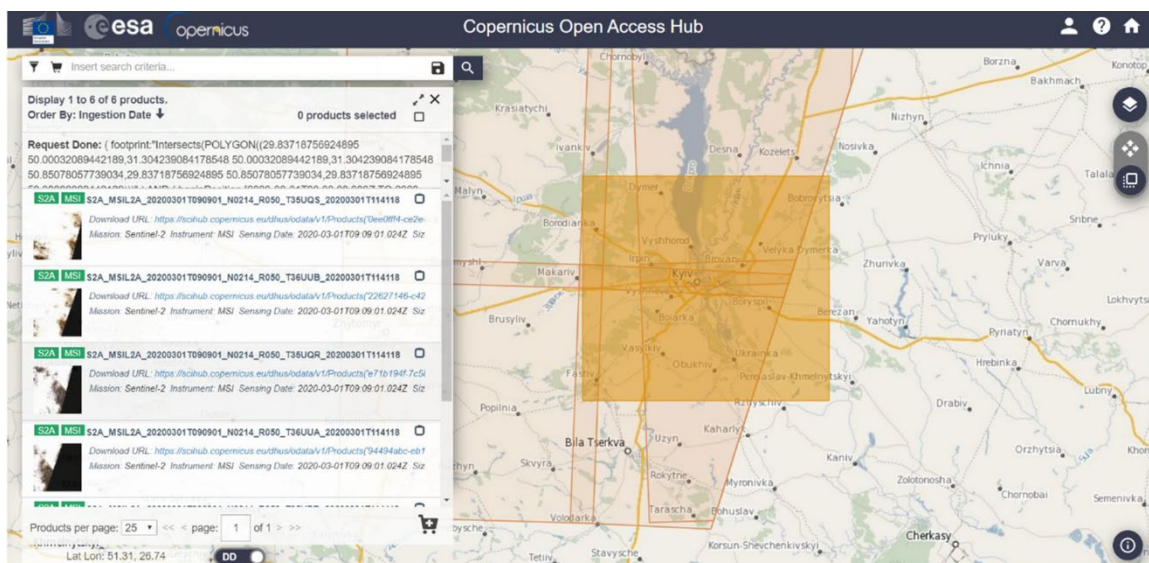
Супутникові зображення представляються кінцевим користувачам у вигляді продуктів певного рівня обробки вихідного сигналу сенсору космічного апарата. Повний перелік рівнів обробки даних, та їх номенклатура можуть відрізнятися у різних операторів даних ДЗЗ. Але міжнародним комітетом по супутниковим спостереженням Землі з космосу CEOS за основу прийнята класифікація рівнів обробки даних NASA [4].

В ході виконання лабораторної роботи ви ознайомитеся з продуктами обробки даних КА Landsat-8 та Sentinel-2. Вказані продукти розповсюджуються у вигляді архівів. Останні містять канали зображень, та супутню службову інформацію.

Завантажити дані Landsat-8 можна з геоportалу геологічної служби США USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Кожне зображення КА серії Landsat має унікальний ідентифікатор, структура якого наступна:

[Ідентифікатор сенсора та КА (3 символи)]+[Координати знімку в WRS-2 системі (Path, Row, 6 символів)]+[Year]+[DOY]+[Режим зйомки (5 символів)].

Провайдером даних місій Sentinel є програма Copernicus. Дані супутника Sentinel-2 можна отримати з ресурсу Copernicus Open Access Hub за адресою <https://scihub.copernicus.eu/>. Його можна використовувати для пошуку та завантаження даних. Також для зручної роботи з сервісом Copernicus Scihub у середовищі Python розроблено бібліотеку `sentinelhub`.

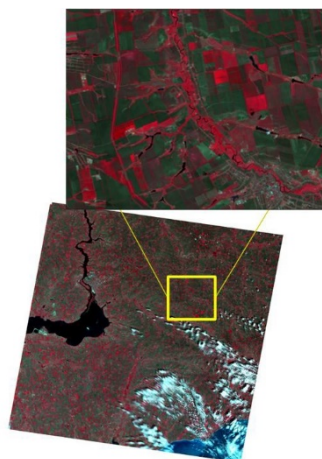


Пошук продуктів Sentinel-2 через сервіс Open Access Hub

В багатьох задачах тематичної обробки супутникових зображень часто виникають потреби в фотоінтерпретації отриманого зображення, зміні його роздільної здатності, перепроєктуванні зображення до вказаної (потрібної) системи координат, а також в обрізанні чи конкатенації зображень тощо. З деякими із вказаних задач пропонується ознайомитись в ході виконання лабораторної роботи.

Людське око здатне фіксувати навколишнє середовище в так званому RGB (true-color) композиті відбитого світлового випромінювання. В той же час багатоспектральні супутникові зображення складаються куди з більшої кількості зафіксованих спектральних каналів, ніж синій (Blue), зелений (Green) та червоний (Red). І це дає можливість проводити детальний аналіз відзнятої поверхні Землі. Наприклад на рис. 3.4. наведено приклад зображення КА Landsat-7 ETM+ в комбінації каналів Green, Red, NIR (color infrared). На зображенні території з більш насиченим червоним кольором відповідають поверхні, що відповідає рослинності, що більш вегетує.

Більш детальніше ознайомитись з фізичною інтерпретацією комбінацій каналів супутникових зображень КА Landsat можна у статті “Інтерпретація комбінацій каналів даних Landsat TM/ETM+” на ресурсі <http://gis-lab.info/>.



Композит Color InfraRed зображення КА Landsat-7 ETM+ (10.05.2000) над Запорізькою областю (Path 177 Row 027)

До основних характеристик супутникового зображення відносяться наступні:

- розміри зображення;
- кількість спектральних каналів зображення;
- просторова роздільна здатність зображення (розміри пікселя, вимірюються в метрах);
- система координат, з використанням якої спроектовано зображення;
- координати крайніх правого верхнього та нижнього, а також лівого верхнього та нижнього пікселів зображення як в заданій системі координат,

так і на поверхні Землі у вигляді значень широти/довготи.

1.3. Порядок виконання роботи

Для початку роботи потрібно запустити програму QGIS. Головне вікно QGIS можна розділити на кілька основних областей:

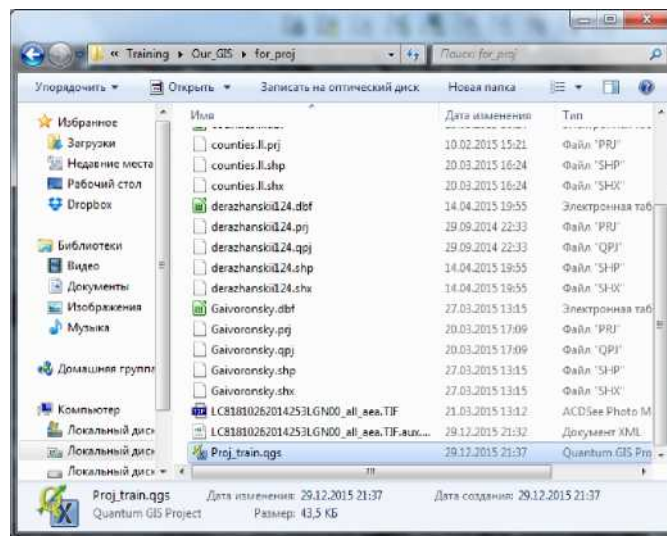
1. Головне меню (панель). Надає доступ до всіх основних можливостей системи.
2. Панель інструментів. За допомогою панелі можна отримати доступ до основних та додаткових функцій, які найбільш часто використовуються при роботі з ГІС-системою.
3. Панель керування шарами. Відповідає за додавання, видалення, редагування шарів з різних джерел.
4. Легенда шарів. Містить інформацію про всі шари проекту. За допомогою «прапорця» (мітки) навпроти кожного шару можна зробити його видимим, або невидимим на карті. Порядок розташування шарів в легенді (згори донизу) відповідає порядку накладання шарів на карті. Для більшої зручності шари можна групувати. В якості прикладу на малюнку згруповано райони (Чемероветський, Деражанський, Гайворонський).
5. Карта. В даній області відображаються всі шари (з увімкненим режимом відображення). За допомогою миші карту можна масштабувати, а також змінювати регіон огляду.

З самого низу робочого вікна системи знаходиться панель, на якій відображається поточна позиція вказівника миші в координатах карти.

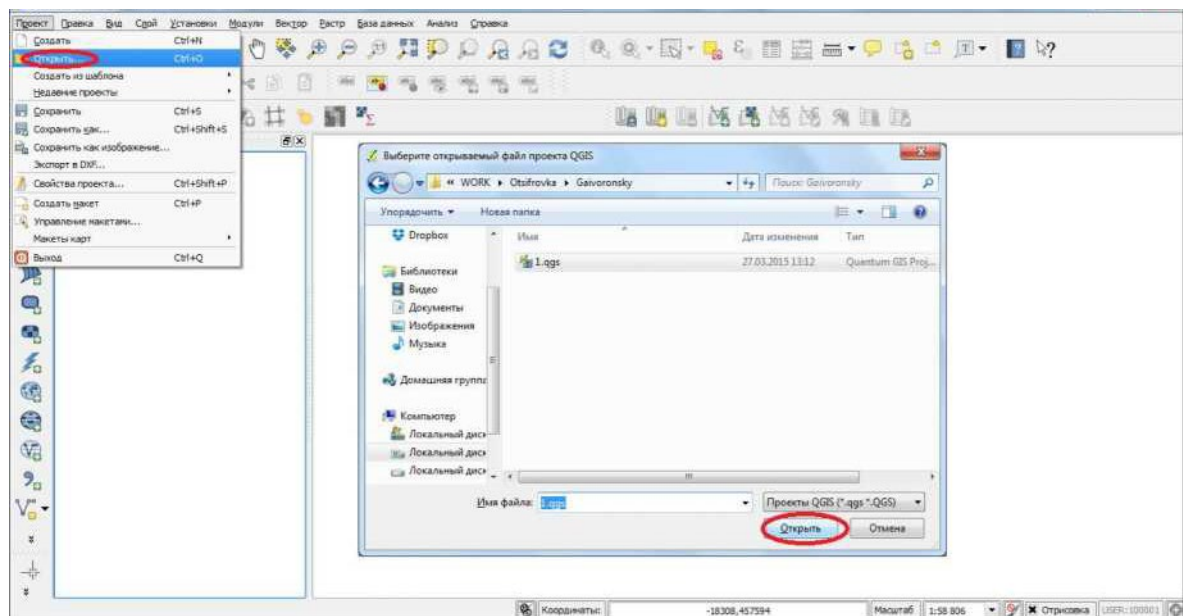


Починаючи роботу з ГІС-системою, необхідно відкрити або створити проект. Такий проект ми створили раніше. *Проект* - це файл в форматі

XML, що має розширення «.qgis». В ньому зберігається поточний стан сесії ГІС. За допомогою цього файлу можна відновити робочу сесію з того моменту, на якому було закінчено в минулий раз.

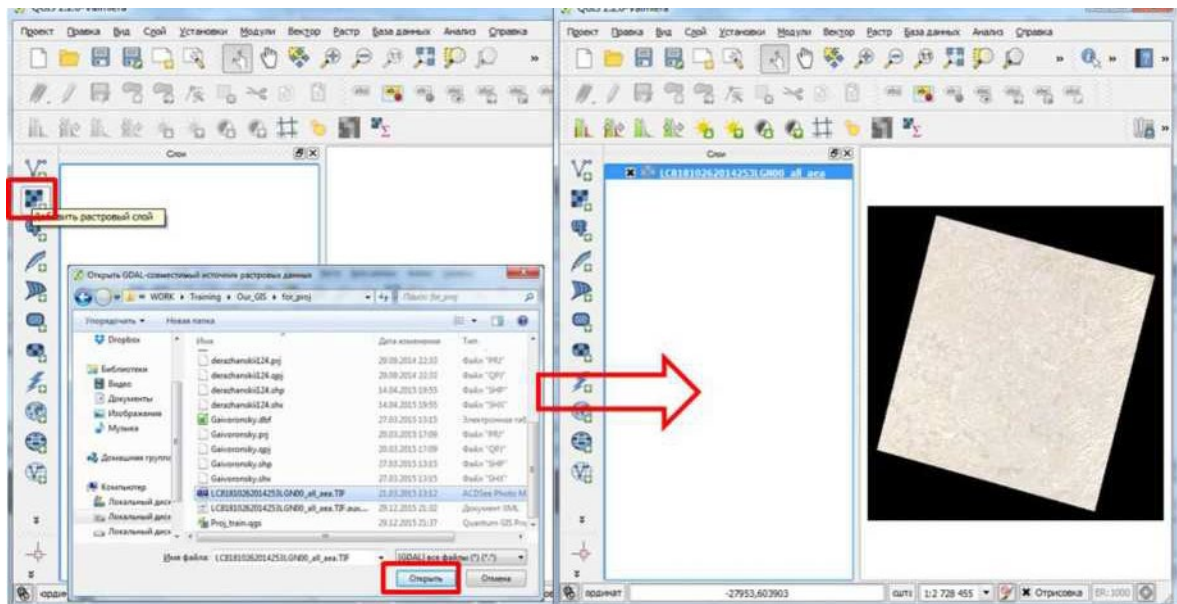


Для завантаження проекту в систему на панелі інструментів необхідно натиснути на пункт “Проект” >> “Відкрити”, після чого вказати шлях до папки з проектом, та відкрити сам проект.

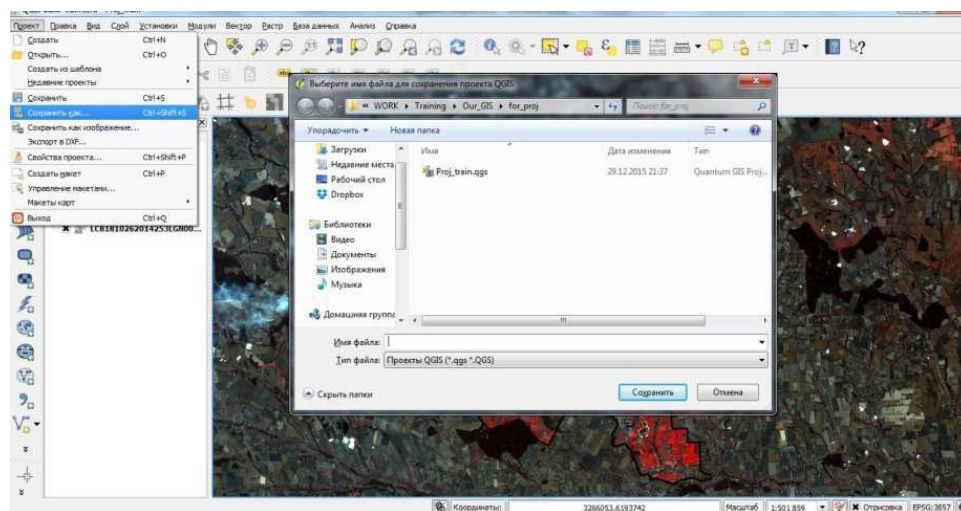


В тому випадку, коли немає готового проекту, його потрібно створити. Раніше пустий проект вже було створено. Тепер його можна відкрити та наповнювати інформацією, або ж можна відкрити декілька файлів і вже потім зберегти проект. Принципової різниці в порядку дій немає. Для прикладу розглянемо завантаження растрового шару в проект.

На панелі керування шарами натисніть на кнопку «Додати растровий шар». Після цього відкриється вікно, в якому необхідно обрати растрове зображення (TIF, JPEG, IMG,...). Далі слід натиснути на кнопку «Відкрити».

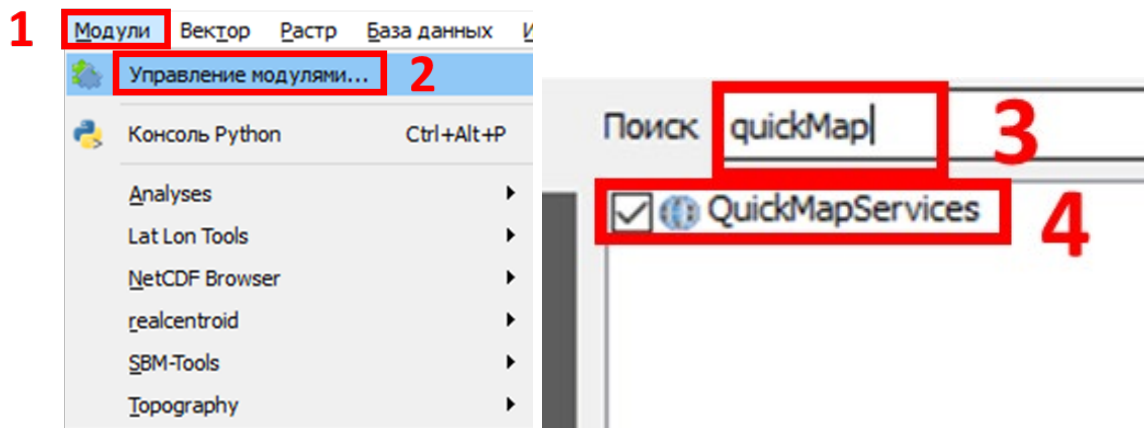


Після того, як в ГІС-проект додано всі необхідні шари, проведено редагування та налаштування, необхідно його зберегти. В меню «Файл» знайти пункт «Зберегти як», вказавши ім'я та шлях до відповідної папки, натиснути «зберегти».



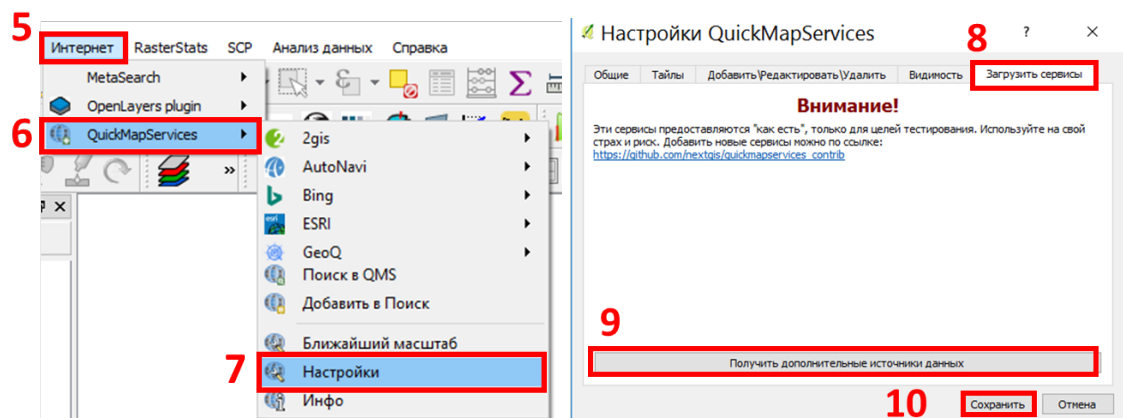
Щоб в проекті були доступними загальновідомі карти Google, Google Hibrid, Google Roads тощо, потрібно один раз встановити модуль QuickMapServices. Для цього в проекті робимо наступні дії:

Модулі – керування модулями – вводимо в пошуку QuickMapServices – ставимо галочку



Далі потрібно додати усі необхідні додаткові дані. Для цього перейдіть у вкладку

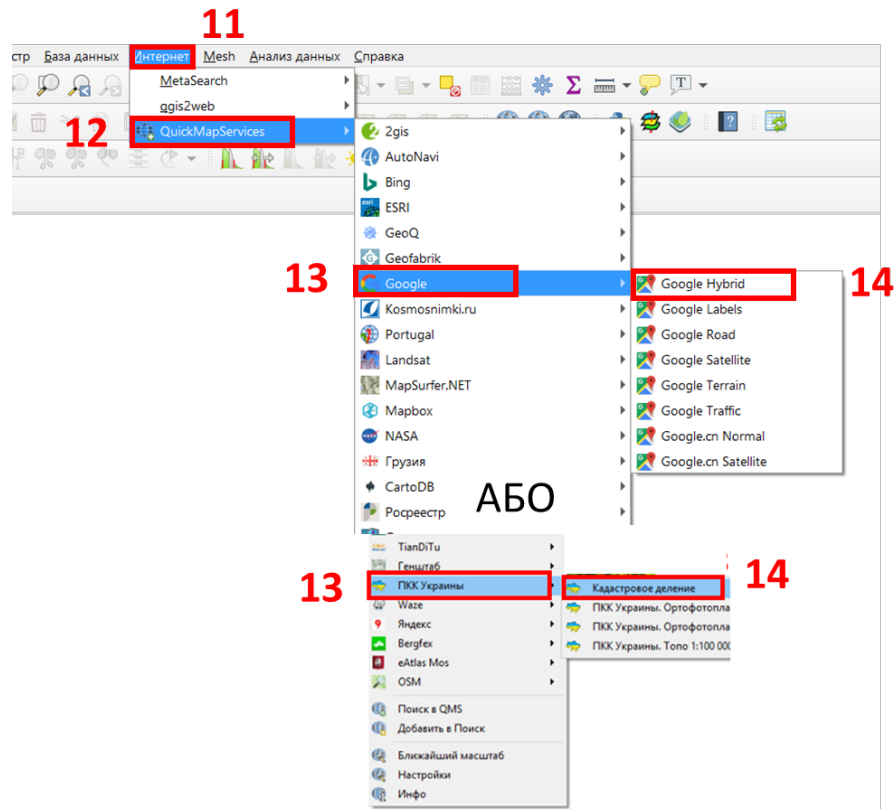
Інтернет – QuickMapServices – Налаштування – переходимо у вкладку «Завантажити сервіси» - Отримати додаткові джерела даних – Зберегти



Після встановлення цього модуля можна відкрити будь-яку карту (Google, OpenStreetMap, кадастрові межі тощо). Часто така можливість використовується для порівняння з іншими інформаційними продуктами, наприклад, картою класифікації.

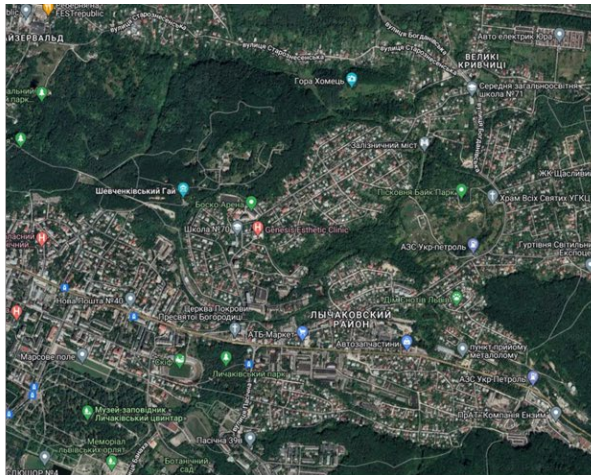
Інтернет – QuickMapServices – Google – Google Satellite
або

Інтернет – QuickMapServices – ППК України – Кадастровий розподіл
або будь-що із цього списку.

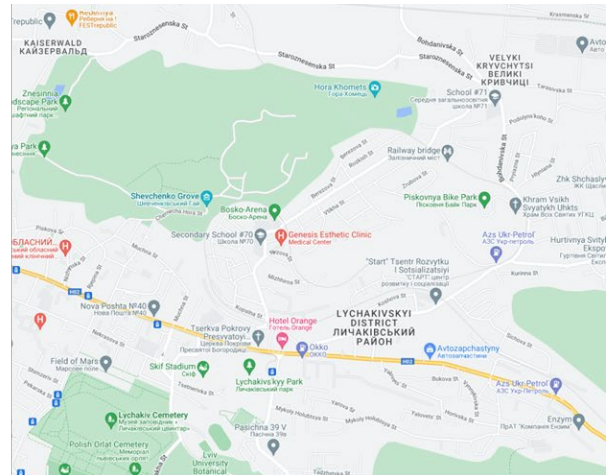


Увага! Бувають випадки, що за деяких причин не вдається завантажити одну із карт (поганий зв'язок або збій в системі). Не потрібно панікувати, просто відкрийте іншу підложку.

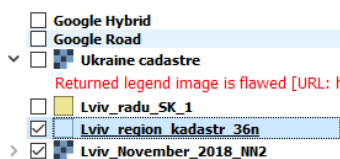
В результаті отримаємо декілька шарів для аналізу та порівняння.



Google Hybrid



Google Road



Для включення/виключення певного шару у програмі QGIS потрібно поставити або вимкнути галочку навпроти відповідного шару.

Імпорт та попередня обробка супутникових зображень

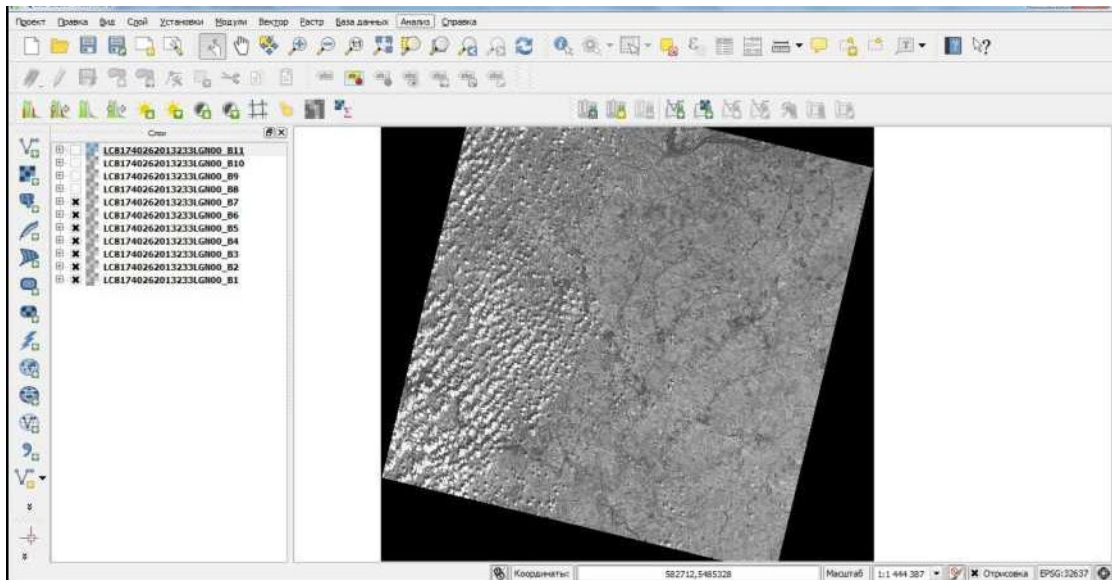
Конкатенація каналів в мультиспектральне зображення. Для того, щоб розпочати роботу з супутниковими знімками, необхідно привести їх до відповідного представлення. Геопортал геологічної служби США (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) надає у вільному доступі дані супутників Landsat. Користувач має змогу завантажити дані в “розібраному” — поканальному представленні в архіві подвійного архівування tar.gz.

Звичайно, QGIS не є єдиним інструментом по роботі з різнорідними даними. Близьку функціональність можна знайти також і в деяких пакетах мови Python. Цьому буде присвячена лабораторна робота № 4.



Кількість каналів (TIF файлів) знімка різна для кожного космічного апарату. Для коректного відображення знімка в ГІС необхідно з'єднати всі потрібні канали в єдине мультиспектральне зображення.

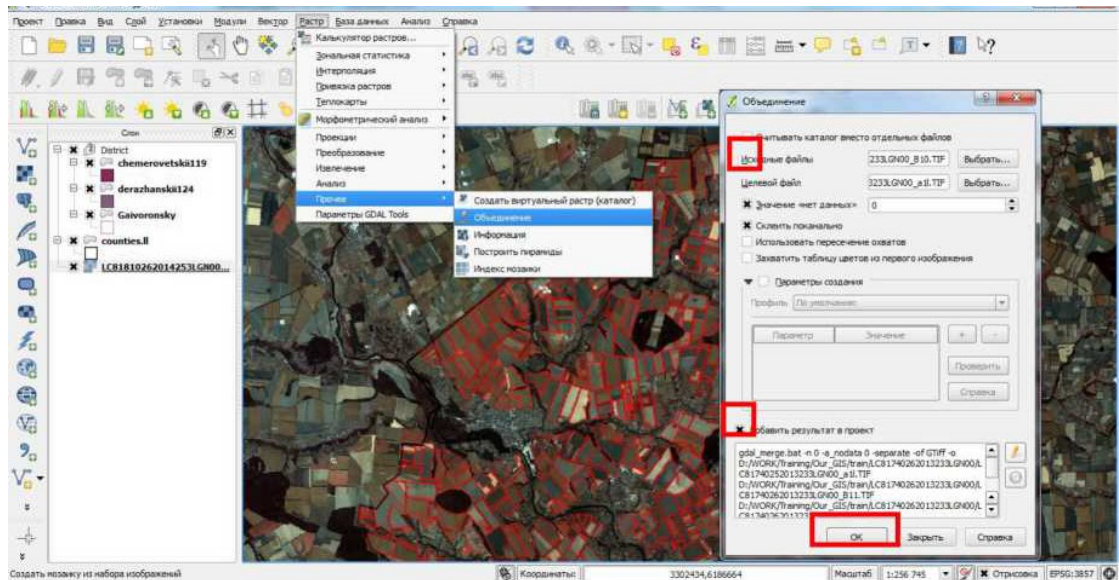
Проведемо конкатенацію каналів прикладі архіву даних Landsat-8, що має 11 каналів в окремих файлах. На рисунку представлено завантажені в ГІС-систему 11 каналів знімка (перші 4 неактивні. 7-й канал є верхнім шаром).



Спектральні канали супутникового знімку Landsat-8:

- Канал1 - Глубинний синій;
- Канал2 - Синій;
- Канал3 - Зелений;
- Канал4 - Червоний;
- Канал 5 - Близький ІЧ (NIR - Near Infrared);
- Канал 6 - Короткохвильовий ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 2);
- Канал 7 - Короткохвильовий ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 3);
- Канал 8 - Панхроматичний (PAN);
- Канал 9 - Маска перистих хмар (SWIR);
- Канал 10 - Термальний ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR1);
- Канал 11 - Термальний ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR2).

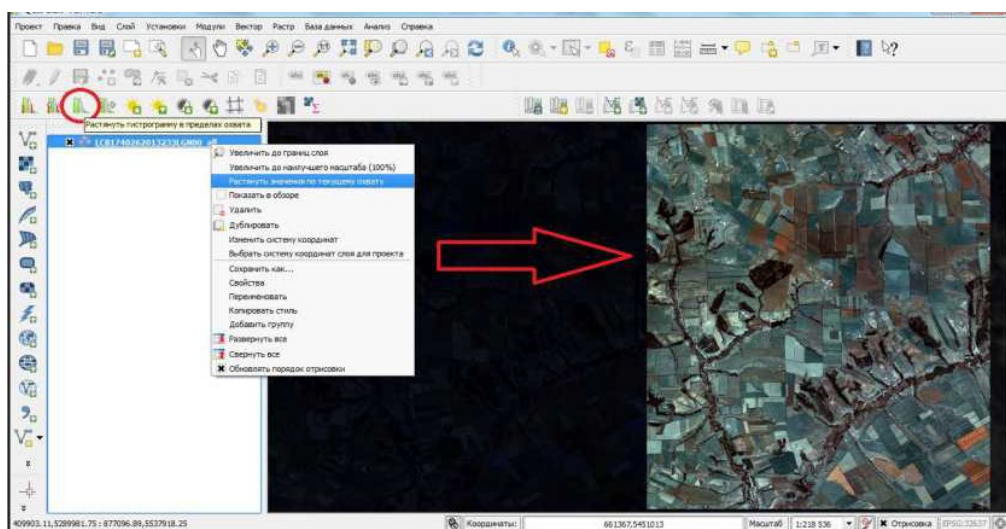
В результаті конкатенації буде отримане одне мультиспектральне зображення з 11-ма каналами. Для цього відкрийте меню «Растр» та виберіть пункт «Інше», «Об'єднати».



В полі «Вихідні файли» потрібно обрати канали, які будуть об'єднуватись. В «Цільовий файл» - вказати шлях до результуючого файлу. Також потрібно увімкнути опцію “об'єднати поканально”, щоб вийшов растр з 11-ма каналами. Результат конкатенації можна одразу додати до поточного проекту (вивести його на карту), виставивши мітку напроти відповідного пункту “Додати результат в проект”.

Для фотоінтерпретації знімка необхідно провести налаштування гістограми растрового зображення (змінити контрастність зображення). Це можна зробити двома шляхами:

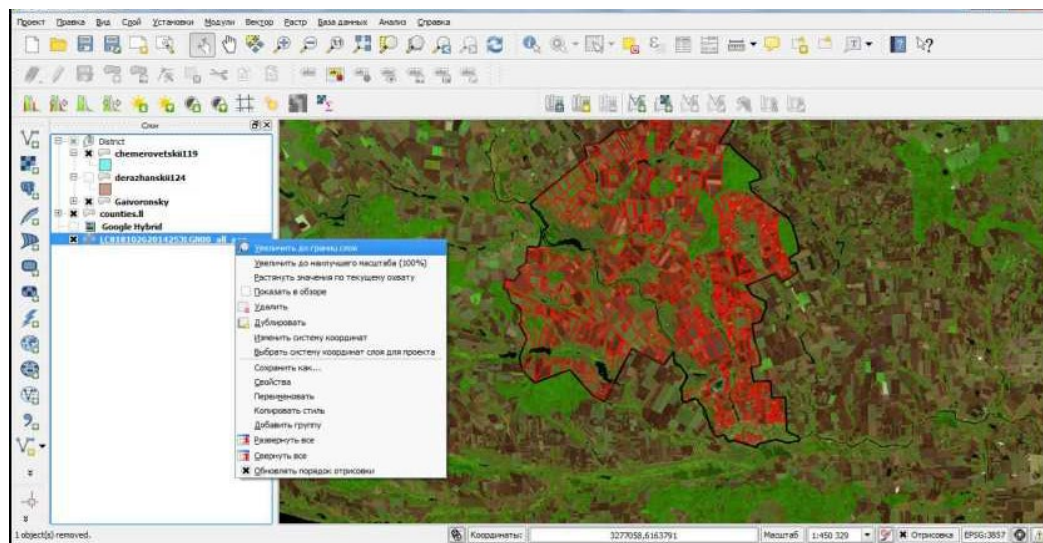
- 1) Натиснувши правою кнопкою миші на знімку, після чого на екрані з'явиться контекстне меню, в якому потрібно обрати пункт «розтягнути значення по поточному обсягу».
- 2) На панелі інструментів натиснути на іконку «Розтягнути діаграму».



В обох випадках буде отриманий один і той самий результат.

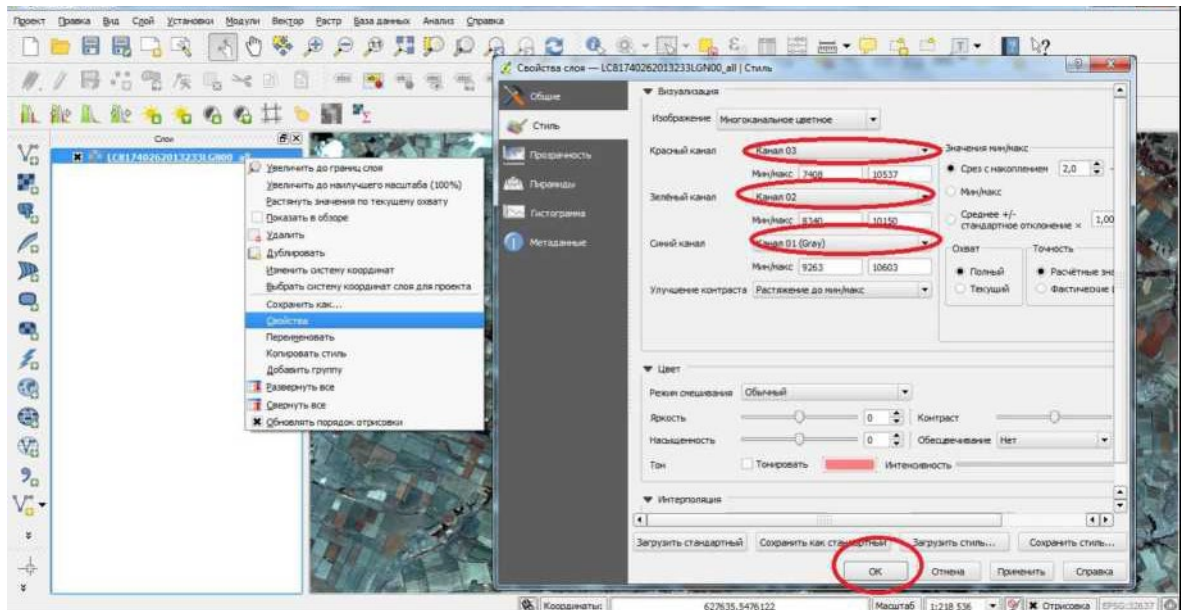
Відображення растрових даних

Завантаживши знімок в ГІС-систему, необхідно провести його налаштування для коректного відображення. Після натискання правої кнопки миші на растровому шарі з'явиться контекстне меню. В ньому містяться команди, які можна застосовувати для налаштування даних: збільшити до меж шару, збільшити до найкращого масштабу (100%), розтягнути значення по поточному обсягу, видалити, дублювати, змінити систему координат, зберегти як, перейменувати, копіювати та вставити стиль, додати групу, розгорнути або звернути все, оновити порядок відображення.

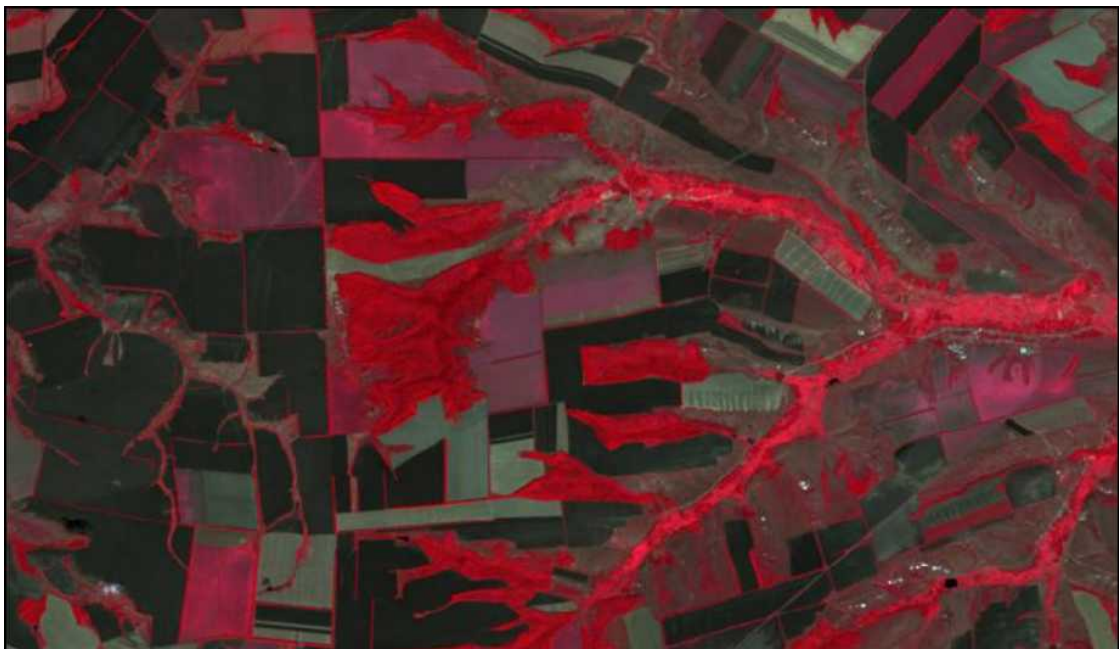


Комбінації каналів

Для фотоінтерпретації знімків можуть використовуватись різні комбінації спектральних каналів — композити. Наприклад, для натурального відображення кольорів, необхідно сумістити канали 4-3-2 (RGB). Здорова рослинність має зелений колір, прибрані поля — світлі, нездорова рослинність — коричнева і жовта, дороги — сірі, берегові лінії — біляві.



Комбінація 5-4-3 color Infrared найкраще підходить для дослідження стану рослинного покриву, моніторингу дренажу і ґрунтової мозаїки, а також для вивчення агрокультур. Рослинність відображається у відтінках червоного, міська забудова має зелено-блакитний колір, а колір ґрунту варіюється від темно до світло коричневого. Лід, сніг і хмари виглядають білими або світло блакитними (лід і хмари по краях). Хвойні ліси будуть виглядати більш темно-червоними або навіть коричневими в порівнянні з листяними.



Комбінація 5-6-4 дає можливість проаналізувати вологість і є корисною при вивченні ґрунтів і рослинного покриву. Чітко розрізняється межа між водою і сушею. Більш точно будуть відображатися водні об'єкти всередині суші. Рослинність відображена в різних відтінках і тонах коричневого, зеленого і оранжевого.

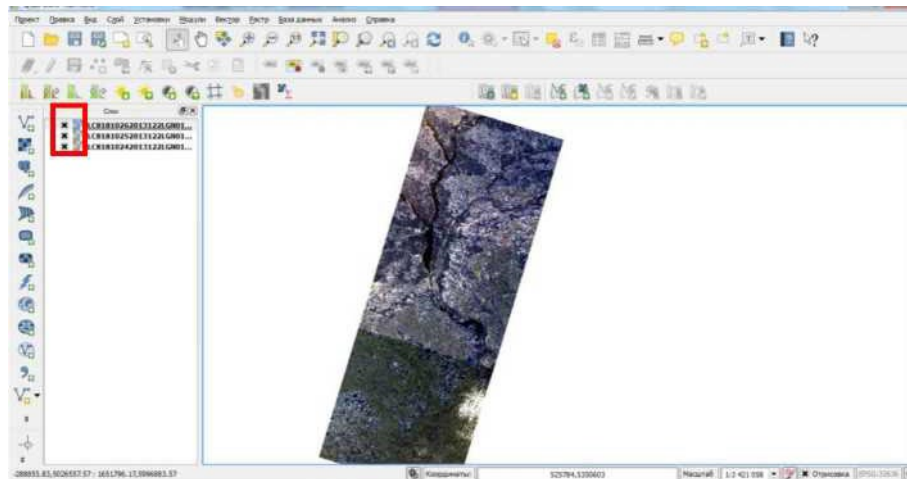


Комбінація каналів 6-5-2 використовується для відображення здорової рослинності в яскраво зелених тонах. Відтінки бурого і рожевого означають відкритий ґрунт, коричневі та оранжеві тони характерні для розрідженої рослинності. Суха рослинність має помаранчевий колір, а вода — блакитний. Пісок, ґрунт і мінерали можуть бути представлені дуже великим числом кольорів і відтінків. Дана комбінація використовується для аналізу стану сільськогосподарських культур.



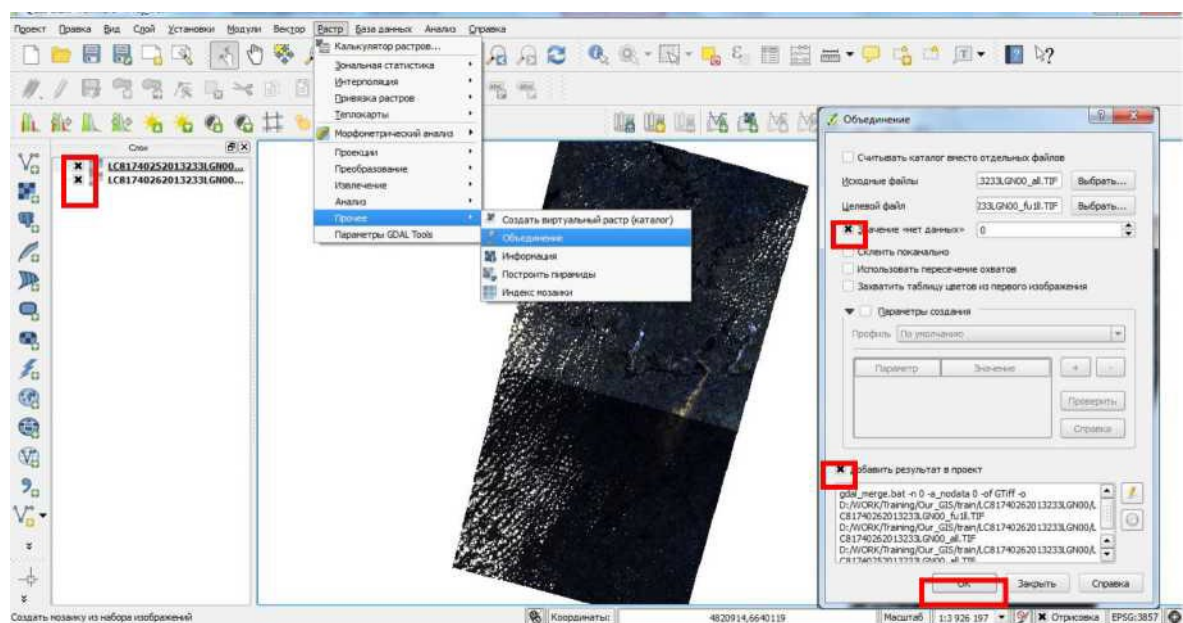
Базові операції з супутниковими зображеннями

Об'єднання зображень, відзнятих над різною територією часто проводиться для повного перекриття даними досліджуваної території. Щоб виконати об'єднання, спочатку необхідно завантажити растрові дані в середовище QGIS та налаштувати їх для коректного відображення, як це вже було розглянуто в попередньому підрозділі.



Інструмент створить мозаїку з набору зображень, що подаються на вхід. Всі знімки мають знаходитися в одній системі координат та співпадати по кількості каналів. Також дані мають знаходитися в одній папці на локальному диску. Цей інструмент використовується також для створення мультиспектральних зображень. Для виконання операції об'єднання слід перейти до пункту «Растр»-«Інше»-«Об'єднання».

В цільовий файл слід записати зображення, які будуть склеюватися, а в цільовий — назву результуючого файлу. Поставити мітку напроти поля значення «немає даних». Результуюче зображення можна додати одразу в ГІС-систему, поставивши відповідну мітку навпроти «Додати результат в проект».

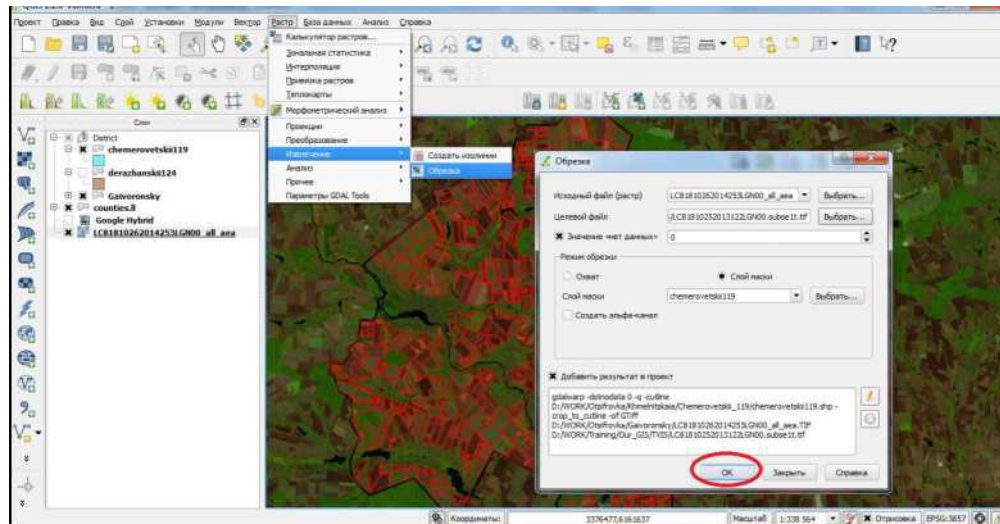


Також таку операцію можна виконати стандартними засобами Gdal з командної консолі OSGeoShell, виконавши наступну команду:

```
gdalwarp -srcnodata 0 -dstnodata 0 -tr 10 10 input1.tif input2.tif output.tif
```

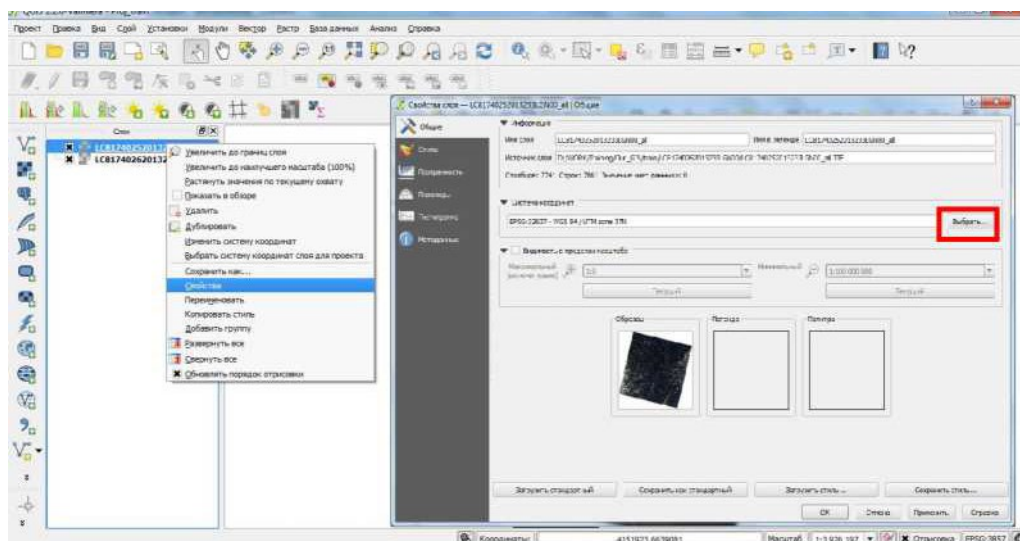
Обрізання по замкнутому векторному контуру (полігону)

Інструмент «Обрізка» дозволяє вирізати растрові зображення на основі існуючих векторних меж, що введено вручну або з карти, або меж, що містяться в векторному shp-файлі. Щоб виконати дану операцію необхідно пройти в пункт Растр - Вилучити - Обрізка. В «Вихідний файл» необхідно вибрати зображення, яке слід обрізати, а в «Шар маски» обрати shp-файл який містить межі, по яких треба вирізати зображення. З прикладом можна ознайомитись за [посиланням](#).

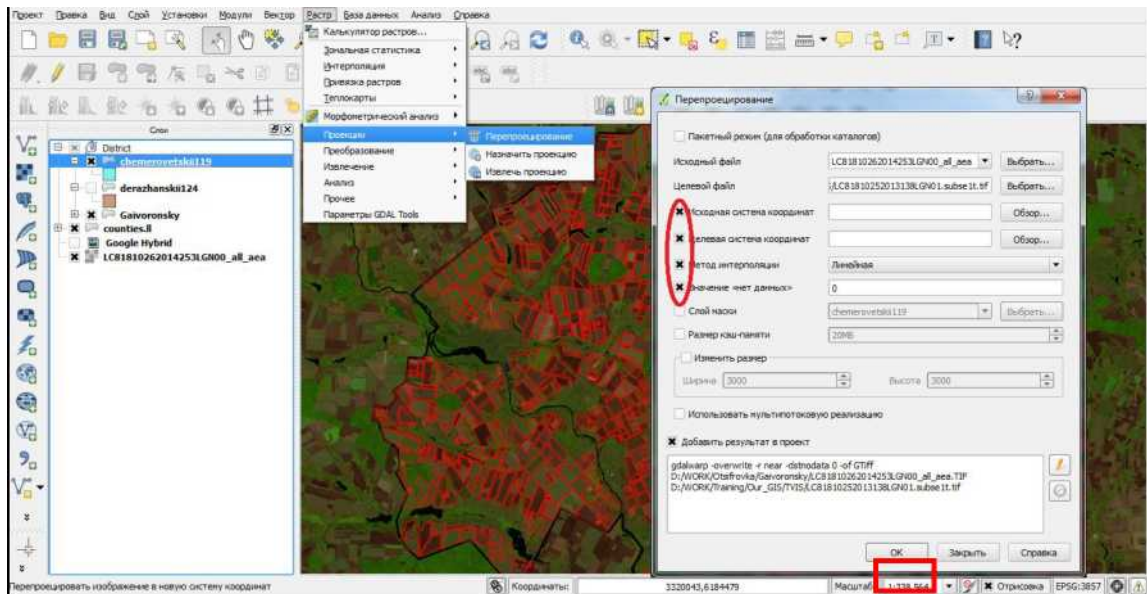


Зміна проекцій векторного та растрового шарів

За замовчуванням QGIS використовує систему координат EPSG:4326-WGS 84 (+proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs). Даний параметр можна змінити при необхідності. Для цього необхідно перейти в меню «Властивості» та натиснути «Обрати» навпроти пункту Система координат. Дана процедура дозволяє виключно змінити спосіб відображення знімка (систему координат, проекцію), але не вносить змін до метаданих.



зображення, що треба перепроекувати, а в цільовий вказати шлях результуючого.

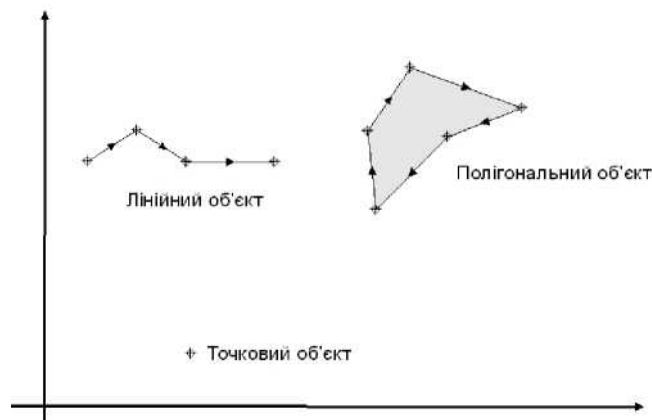


Для виконання поставлених задач потрібно завантажити дані із сайту Landsat-8 (кожний із студентів завантажує дані по області, узгоджений з викладачем).

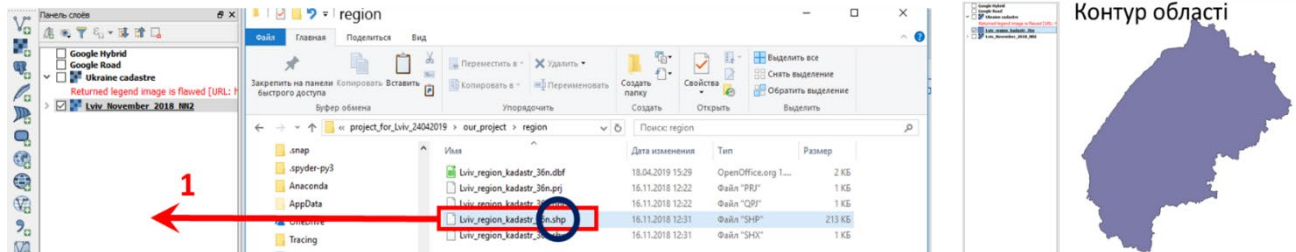
Робота з векторними даними

У ГІС подання географічних об'єктів виконують за допомогою відображення їх геометричної форми на двовимірній площині з використанням елементарних графічних примітивів:

- точок (нуль-мірних векторів)
- ліній (поліліній, утворених плоскими двовимірними векторами)
- областей (форм, обмежених полігонами — замкнутою послідовністю двовимірних векторів); географічні об'єкти, що представляються областями, називають також полігональними об'єктами.

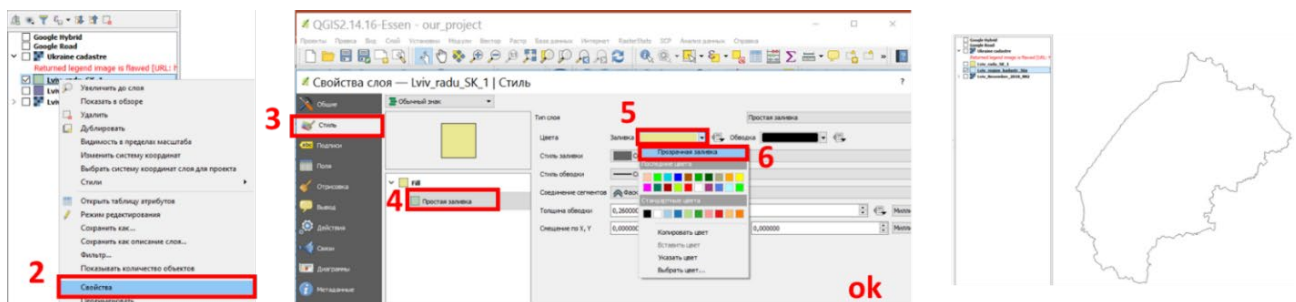


Найпопулярнішим форматом даних при роботі з геопросторовою інформацією є .shp файли. Структура .shp – файлу: набір файлів, що містять в собі інформацію про проекцію (.prj), базу даних (.dbf) та інше. Для того, щоб відкрити .shp – файл необхідно перетягнути файл із розширенням .shp до простору QGIS (лівою клавішею миші).



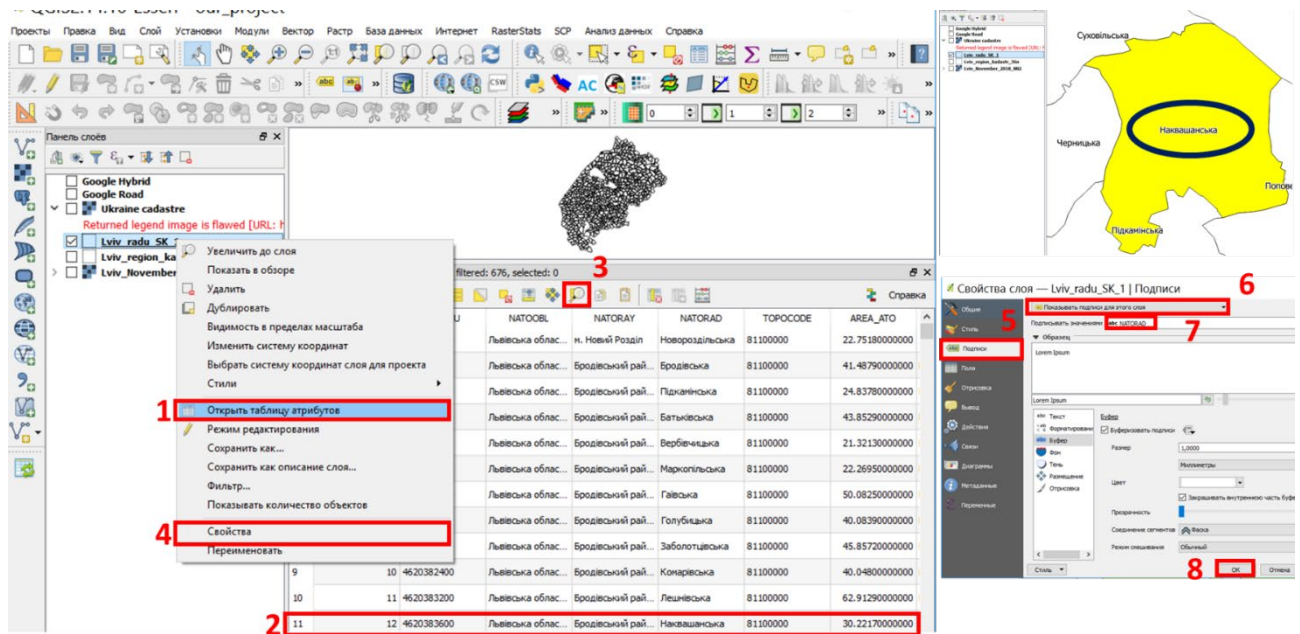
Для більш зручного використання меж потрібно зробити прозорим фон. Для цього необхідно виконати наступні кроки.

Властивості вектору – стиль – обираємо прозорий фон - ок

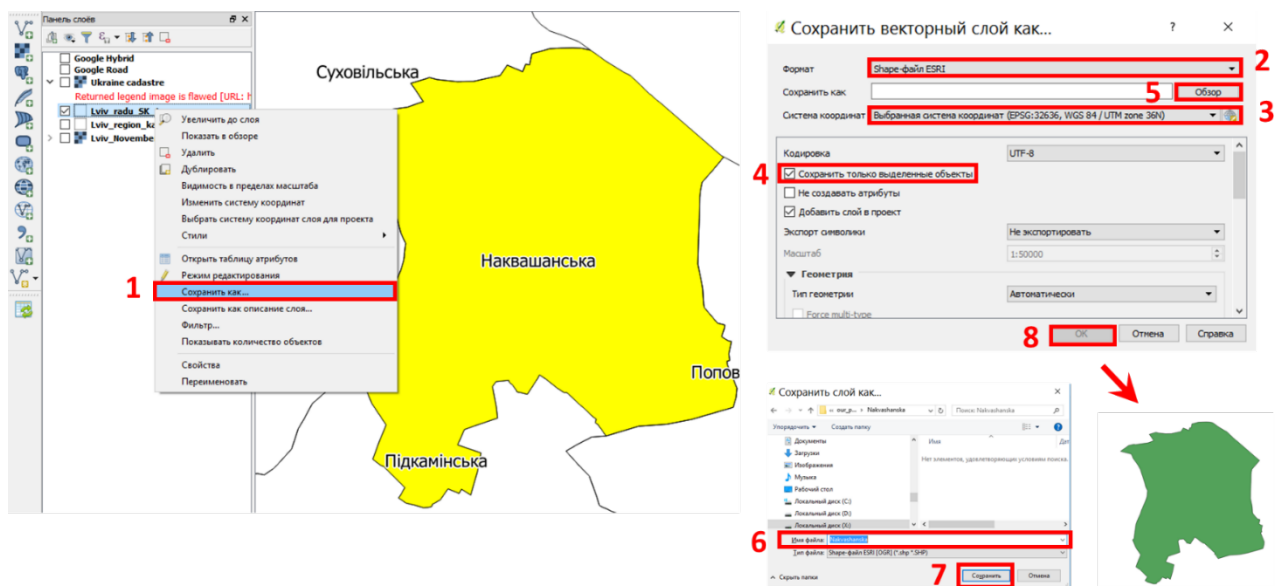


Таку операцію можна робити з будь-яким вектором (не залежно від того чи це сільські ради, чи область, чи райони, чи контур одного поля).

На наступному зображенні показані кроки, які необхідно виконати для того, щоб зробити вектор із прозорим фоном, а також вивести на екран назву сільської ради/району тощо. Це зручно для роботи, оскільки фон не заважає візуально аналізувати карту класифікації, а назви адміністративних одиниць допомагають орієнтуватись географічно.



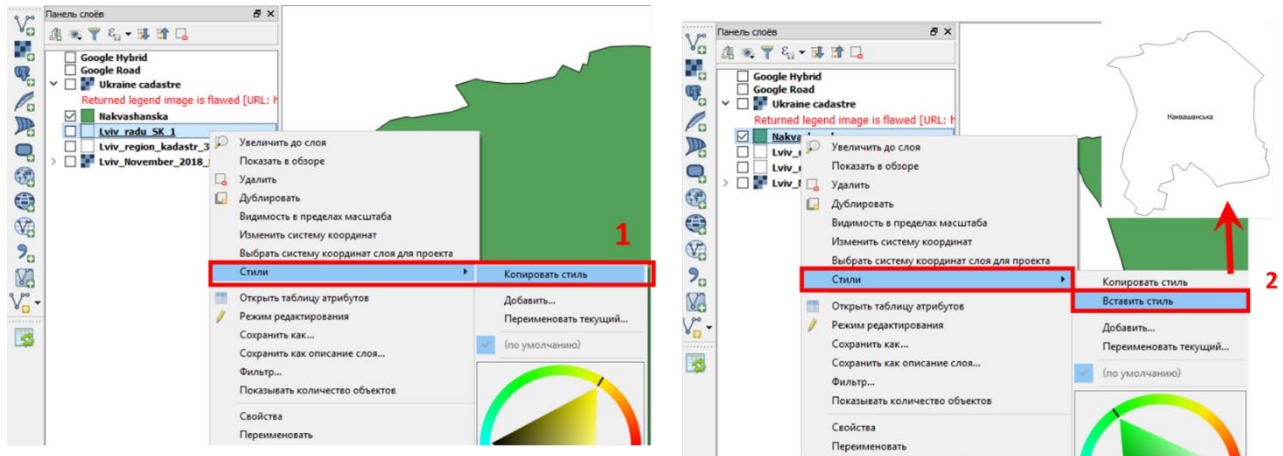
Якщо необхідно працювати в межах однієї сільської ради, то немає сенсу навантажувати комп'ютер та витратити час на роботу із всією областю. Потрібно з усієї карти виділити саме цю сільську раду і працювати лише із нею. Для цього виконуємо наступні кроки, що показані на наступному рисунку.



В результаті будуть отримані межі однієї територіальної одиниці в окремому векторному файлі і далі працюватимемо із нею.

Увага! Немає принципового значення, з якою конкретно територіальною одиницею працювати. Всі подальші кроки можна виконувати для будь-якої з них.

Увага! Не потрібно кожен раз задавати стиль для вектору. Його можна скопіювати із вже готового шару.



Векторні контури районів України можна знайти за офіційним посиланням <https://atu.decentralization.gov.ua/#download-section> або [тут](#). Перші кроки роботи з векторними даними можна переглянути [тут](#).

Робота з геопросторовими даними в Python

Зчитування векторного файлу в Python:

```
import geopandas as gpd
import pandas as pd

gdf = gpd.read_file('vector.shp')
gdf_shp = pd.DataFrame(gdf)
```

Надалі зі змінною `gdf_shp` можна працювати як із об'єктом `DataFrame`.

Зчитування растрового файлу в Python:

```
import gdal
import os, osr
import sys

path = r'C:\Users\Desktop'
input_image_name = 'My_data.tif'
image = gdal.Open(os.path.join(path, input_image_name))
image_1band = image.GetRasterBand(1).ReadAsArray()
# GetRasterBand(1) обирає відповідний канал з порядковим номером
```

Надалі зі змінною `image_1band` можна працювати як із `Numerical Array`. Для візуалізації даних можна використовувати бібліотеку [matplotlib](#).

1.4. Завдання

1. Оволодіти основними навиками роботи з QGIS-проектами (створення/редагування/збереження/відкриття).
2. Провести попередню обробку та підготовку до використання растрових даних, на прикладі зображення Landsat-8.
3. Виконати базові операції над растровими зображеннями: обрізка зображення по векторному контуру, об'єднання зображень різних територій, перепроєктування.

1.5. Додаткові джерела інформації

1. <https://www.qgis.org/uk/docs/index.html>
2. <https://gis-lab.info/docs/qgis/>
3. https://docs.nextgis.ru/docs_ngqgis/source/intro.html
4. Можливі операції над векторами:
https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems/s11-geospatial-analysis-i-vector-o.html
5. Тематика використання правильної системи координат та картографічної проекції є дуже важливою для роботи з геопросторовими даними. Ця тема є доволі великою, з нею можна ознайомитися за посиланням, с. 172-200. В. Д. Шипулін Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник / В. Д. Шипулін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 313 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ПОБУДОВА КАРТ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ NDVI

Мета роботи: ознайомлення з процесом побудови тематичних карт вегетаційного індексу NDVI засобами QGIS та навчитись формувати зональну статистику на основі побудованих карт.

2.1. Дані та програмне забезпечення

Для виконання даної лабораторної роботи необхідно мати наступний перелік даних:

- Супутникові зображення завантажені у попередній роботі (з <http://earthexplorer.usgs.gov/>). Детальніше про завантаження та обробку супутникових даних див. лаб. № 1.
- Векторний набір даних із полігонами «FILED.SHP». Детальніша інформація, щодо його створення наведена нижче.
- Для перегляду та візуалізації даних використовуємо програмне забезпечення QGIS.

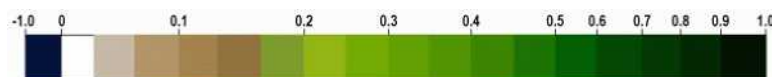
2.2. Теоретичні відомості

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — це стандартизований вегетаційний індекс, який широко використовується для моніторингу стану посівів, оцінки ризику посух та прогнозування врожайності.

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

Індекс NDVI обраховується по формулі:
де *NIR* — відображення в ближній інфрачервоній області спектра; *RED* — відображення в червоній області спектра.

Значення індексу NDVI змінюються в діапазоні від -1,0 до 1,0. Негативні значення в основному відповідають хмарам, воді та снігу, а значення, близькі до нуля - схилам скель та відкритому ґрунту. Помірні значення (від 0,2 до 0,3) відповідають чагарникам та лукам, в той час як великі значення (від 0,6 до 0,8) вказують на помірні і тропічні ліси.



Для відображення індексу NDVI використовується стандартизована дискретна шкала, що показує значення в діапазоні від -1..1 (або в масштабованій шкалі в діапазоні від 0 до 255, якщо для кодування використовують 8-бітну систему).

В межах даної роботи будуть використані векторні геопросторові дані. Зокрема «шейп-файл» (англ. Shapefile) — популярний векторний формат географічних файлів. Розробляється і підтримується компанією Esri з метою інтероперабельності між продуктами Esri та іншими програмами. Формат «Шейп-файл» дозволяє зберігати такі різні типи геометричних об'єктів: точки (політочки), лінії (полілінії), полігони та інші об'єкти. Окремий файл може зберігати об'єкти тільки одного типу. Кожен запис в *SHP-файлі* також може мати кілька атрибутів для опису своєї геометрії, наприклад: назва, температура, глибина. Вони містяться в окремому файлі атрибутів, який зберігається в папці проекту з розширенням .dbf. Щоб переглянути таблицю атрибутів потрібно натиснути на значок таблиці:



2.3. Порядок виконання роботи

1. Побудувати карту NDVI на основі супутникового зображення (користуючись даними попередньої роботи).
2. Побудувати карту NDVI для окремих полів.
3. Обчислити середнє значення індексу в розрізі полів, які використовуються.

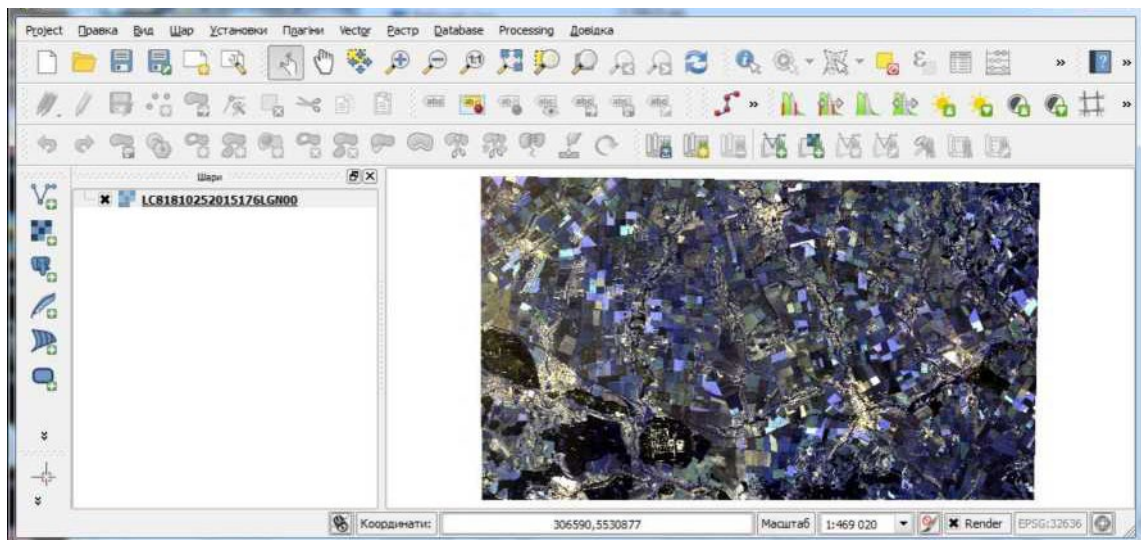
Побудова карти NDVI засобами QGIS на основі супутникових даних Landsat-8

1. Для побудови карти NDVI запустимо QGIS.
2. В якості даних, використаємо супутникові дані Landsat-8. Нам потрібні червоний та ближній інфрачервоний спектральні канали (**NIR** та **RED**).

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 — Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30

Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
Band 11- Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

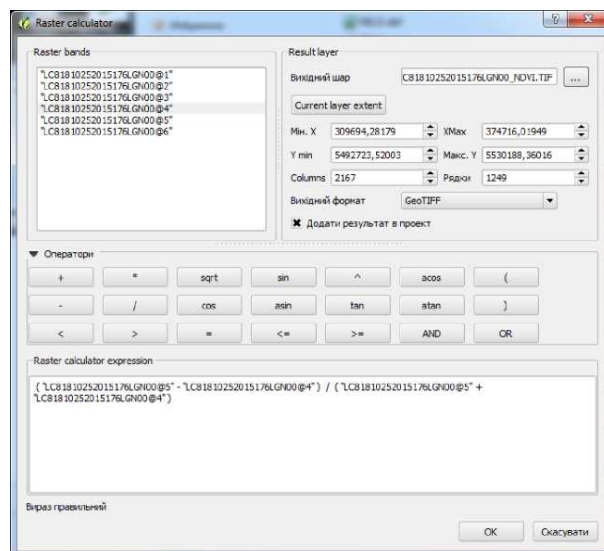
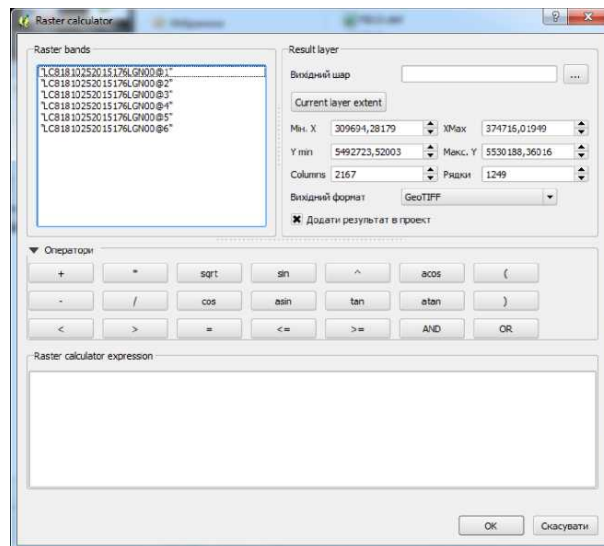
3. Завантажимо супутникове зображення в середовище QGIS.



1. Для проведення побудови карти NDVI відкриємо: *Меню Растр -> Калькулятор растрів.*

2. В поле «Вираз» пишемо формулу NDVI:
 («LC8xxxxxx20xxxxxLGN00B5@5» - «LC8xxxxxx20xxxxxLGN00B4@4») /
 («LC8xxxxxx20xxxxxLGN00B5@5» + «LC8xxxxxx20xxxxxLGN00B4@4»).

Формат виводу GeoTIFF.



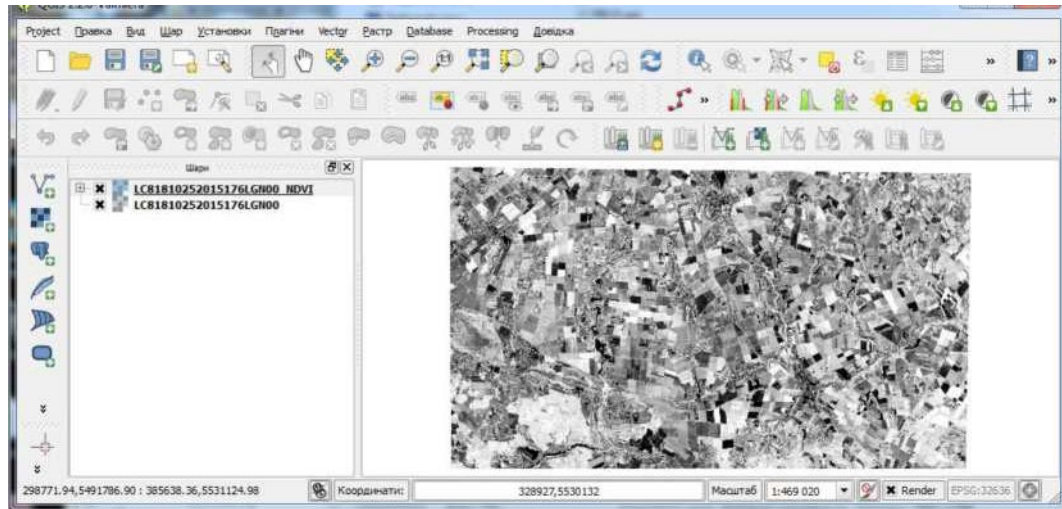
Примітка! Під час збереження результатів уникайте використання кирилиці, пробілів та інших розділових знаків в іменах файлів.

Створити карту NDVI також можна за допомогою мови Python. Для того щоб відкрити та зберегти растровий файл, можна скористатися однією із бібліотек пакетів *rasterio*, *GDAL* або ін. Приклад підрахунку NDVI засобами Python показаний нижче.

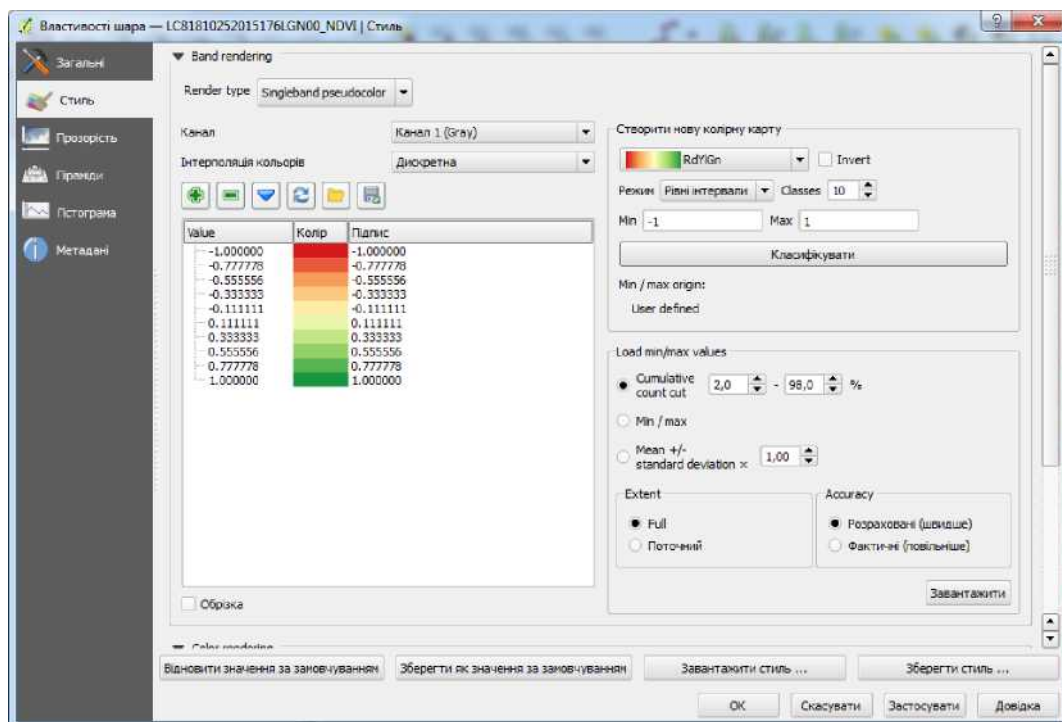
```
#Підключення необхідних додаткових модулів
#Завантаження даних (див. лабораторну роботу № 1)
# Підрахунок NDVI
ndvi = (band_nir.astype(float) -
band_red.astype(float)) / (band_nir + band_red)
```

`band_nir` та `band_red` – попередньо вичитані відповідні канали (NIR та RED) супутнику для обчислення вегетаційного індексу.

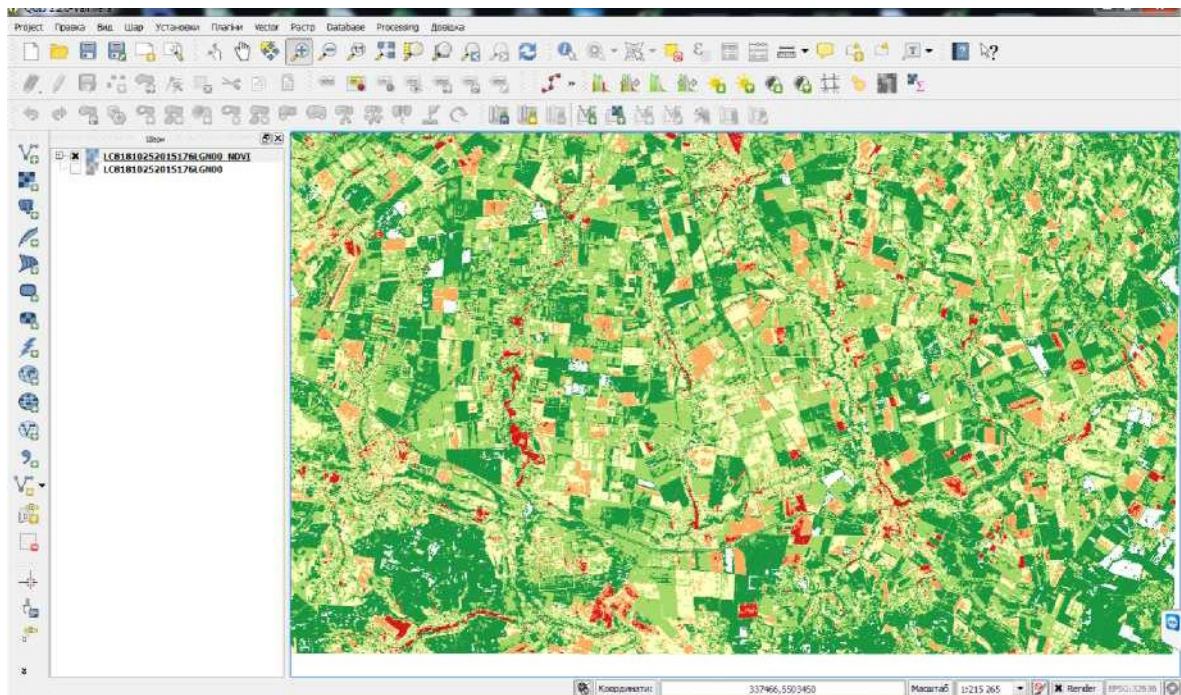
3. Створену карту завантажуюмо в проект. За замовчуванням отримана карта NDVI відображатиметься в режимі Grayscale.



4. Щоб побачити карту в зручній палітрі, заходимо у *Властивості шару* - > *Псевдо колір*. Задаємо стиль у зручному вигляді.



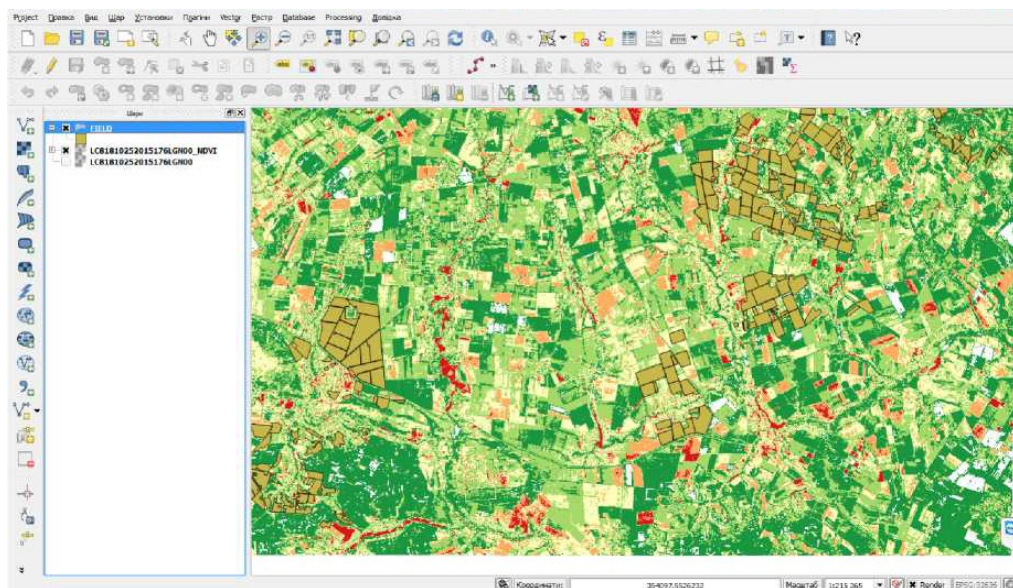
8. Розглянемо побудовану карту, та проаналізуємо її.

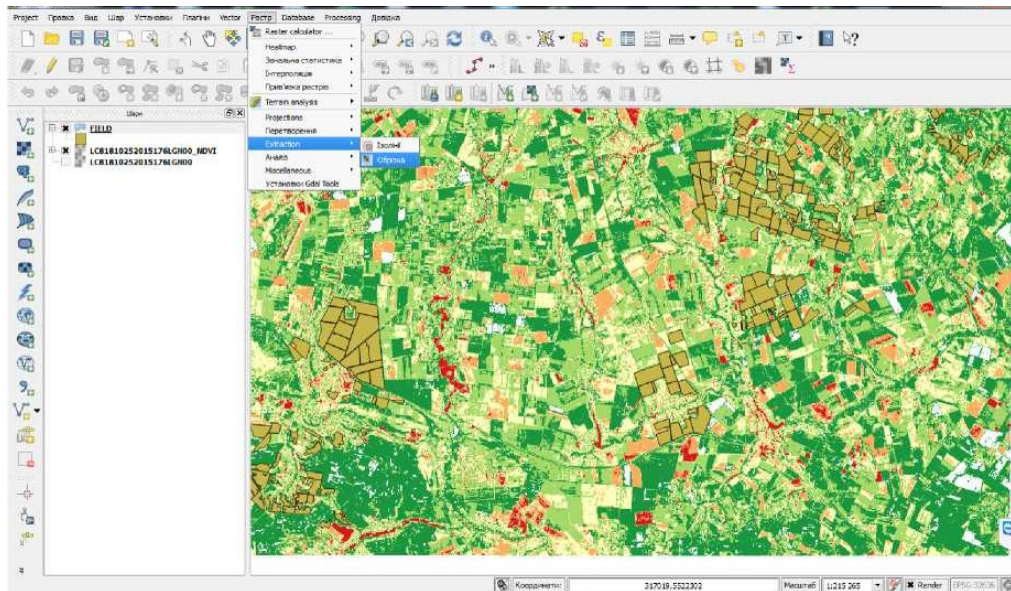


Побудова карти NDVI

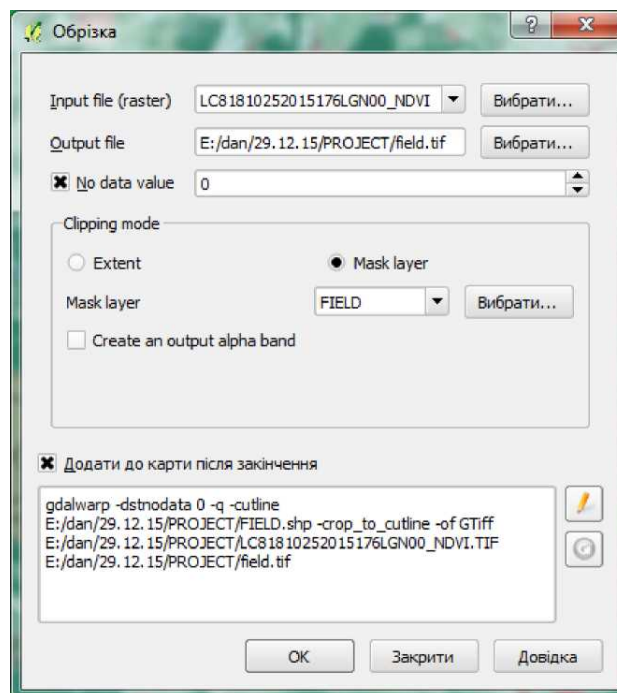
Для побудови карти NDVI в розрізі окремих полів господарства, використаємо векторні дані — контури полів. Розглянемо приклад. Додамо контури полів в проект. Для цього, натиснемо кнопку «Додати векторний шар» та вкажемо шлях до файлу «FILED.SHP».

Обріжемо карту згідно доданих векторних полів (запустимо «Обрізка» із меню: *Растр->Вилучення (Extraction) ->Обрізка*).



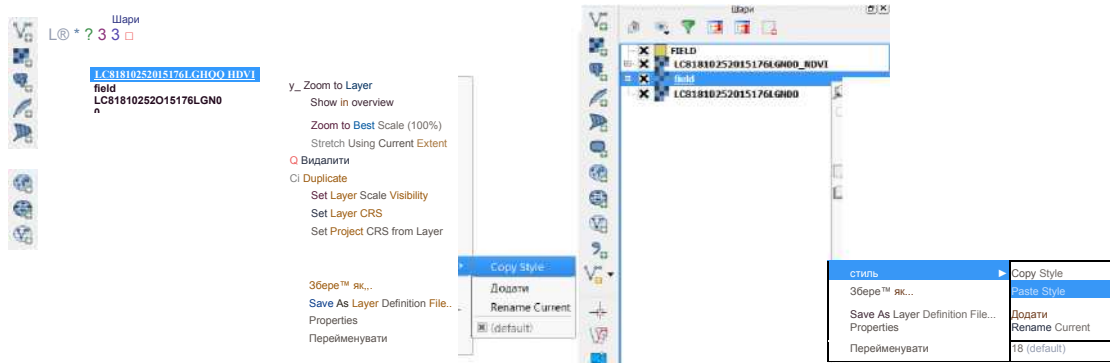


Задаємо ім'я вихідного файлу, та оберемо векторний файл? на основі якого буде виконана обрізка карти. В даному випадку це файл із межами полів «FIELD».

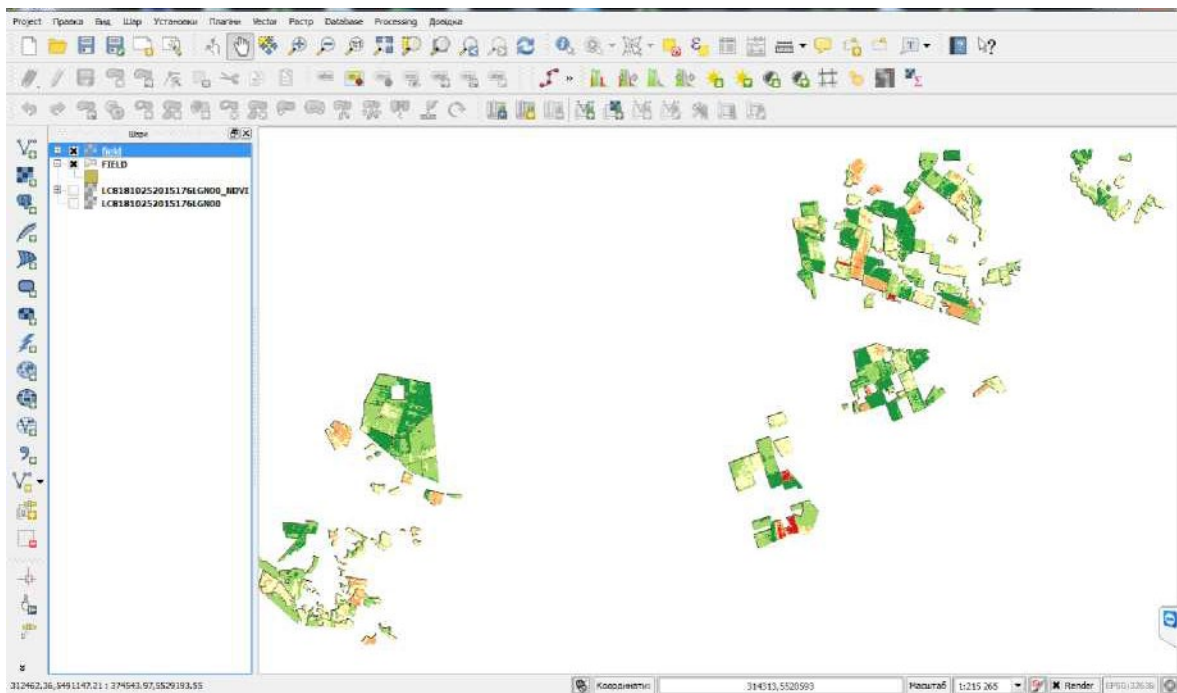


Завантажимо отриманий файл у проект, (він автоматично буде доданий до проект у випадку встановлення відмітки «Додати до карти після закінчення»).

Завантажимо стиль з карти «LC81810252015176LGN00 NDVI» та задамо його для щойно отриманої. Для цього відкриємо меню правою кнопкою миші на знімку «LC81810252015176LGN00NDVI», оберемо *Стиль->Copy Style*. Аналогічно відкриємо меню на вирізаній карті «FIELD.TIF» та оберемо стиль: *Стиль->Paste Style*.



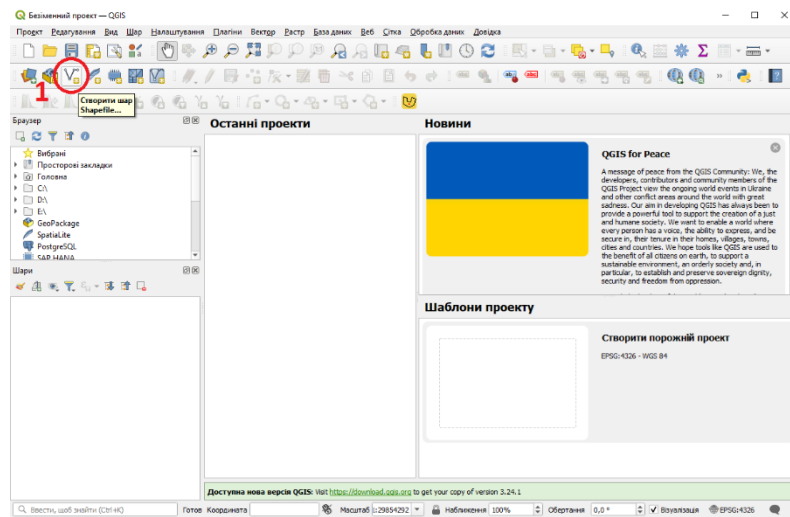
Проаналізуйте отриманий результат. Порівняйте вегетацію полів із супутниковим знімком.



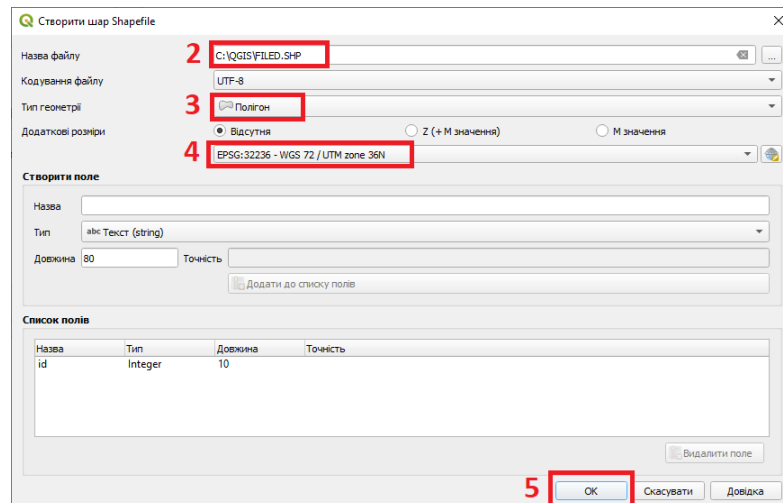
Обчислення середнього значення індексу NDVI в розрізі полів господарства

Створення векторного файлу «FIELD.SHP» в QGIS

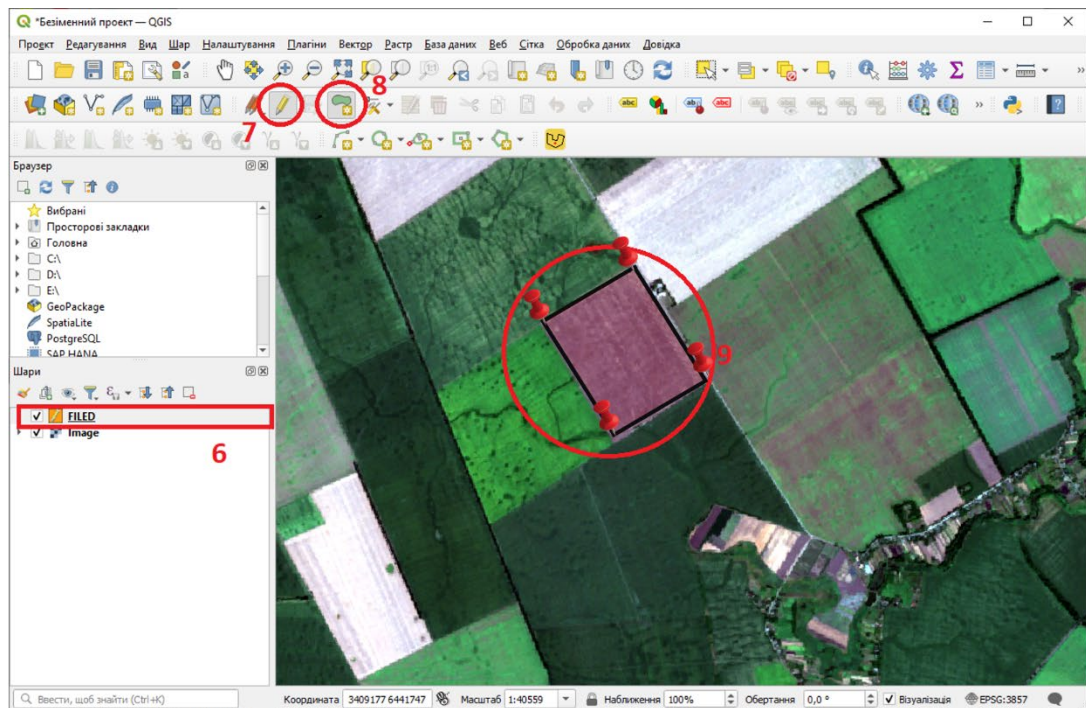
1. Відкрийте ПЗ QGIS та на головній панелі клікніть на піктограму *Створити шар Shapefile* (1).



2. У вікні що відкриється потрібно вказати назву файлу та шлях для його збереження (2), обрати тип геометрії «полігон» (3), встановити проекцію як у вашого растрового зображення (4) та клікнути на кнопці ОК (5).

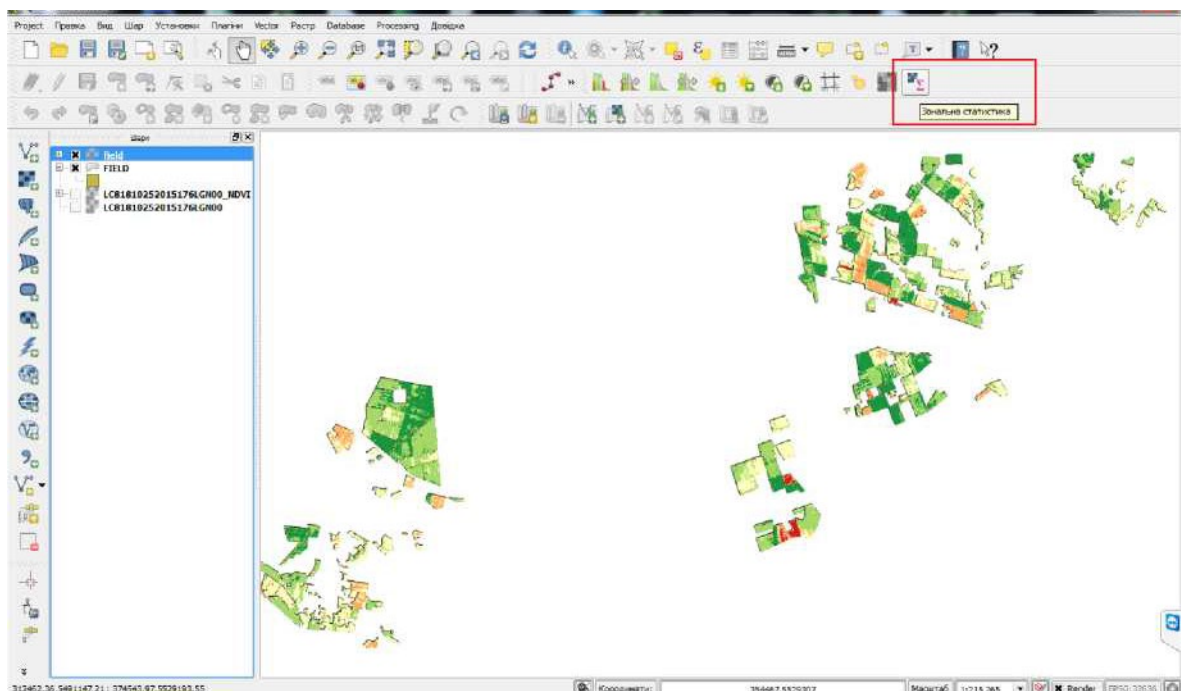


3. Відкрийте ПЗ QGIS та на головній панелі клікніть на піктограмі «Створити шар Shapefile» (1).
4. Створений файл буде доданий на панель із шарами. Він буде без полігонів. Щоб додати в нього полігон: виділяємо шар (6), переключаємося в режим редагування (7) та обираємо «додати полігональний об'єкт» (8). Щоб нарисувати полігон ставимо точки на краю полігона та клікаємо на праву клавішу миші.



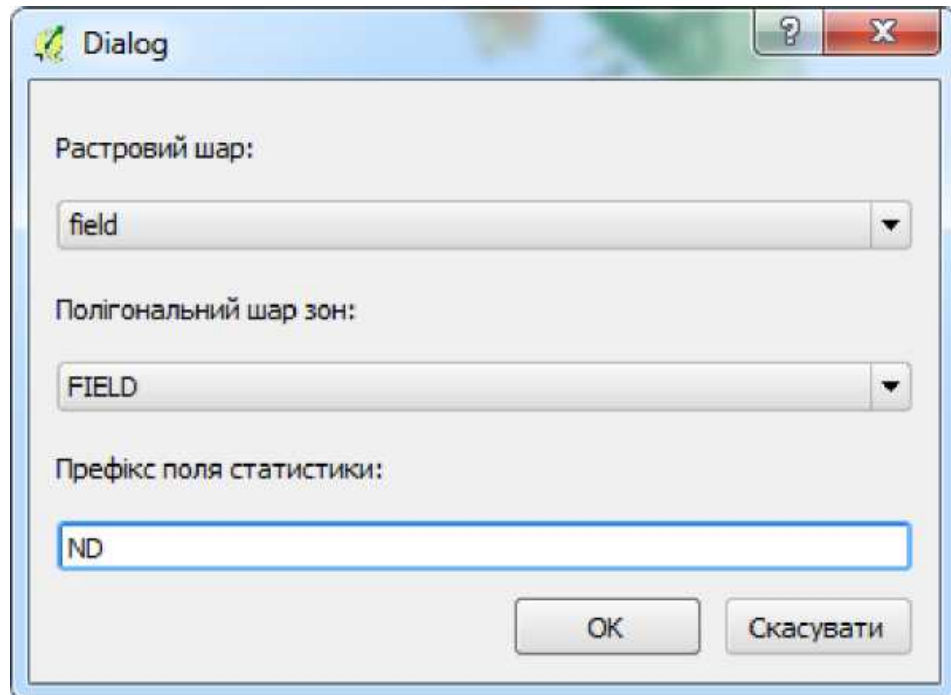
5. При обчисленні середнього значення індексу NDVI в розрізі полів господарства спробуйте додати 20-30 полігонів для отримання в подальшому цікавих результатів.

Після створення контурів полів, обрахуємо статистичні значення для полів, а саме, середні значення NDVI та їх суму для кожного полігону. Для цього використаємо інструмент «Зональна статистика».



В діалоговому вікні зональної статистики, вибираємо растровий та векторний шар. Задаємо префікс для статистики. В даному випадку «ND»

(натискаємо «Ок»).



Відкрийте вікно із таблицею атрибутів для заданого векторного шару, в якому автоматично будуть додані три колонки.

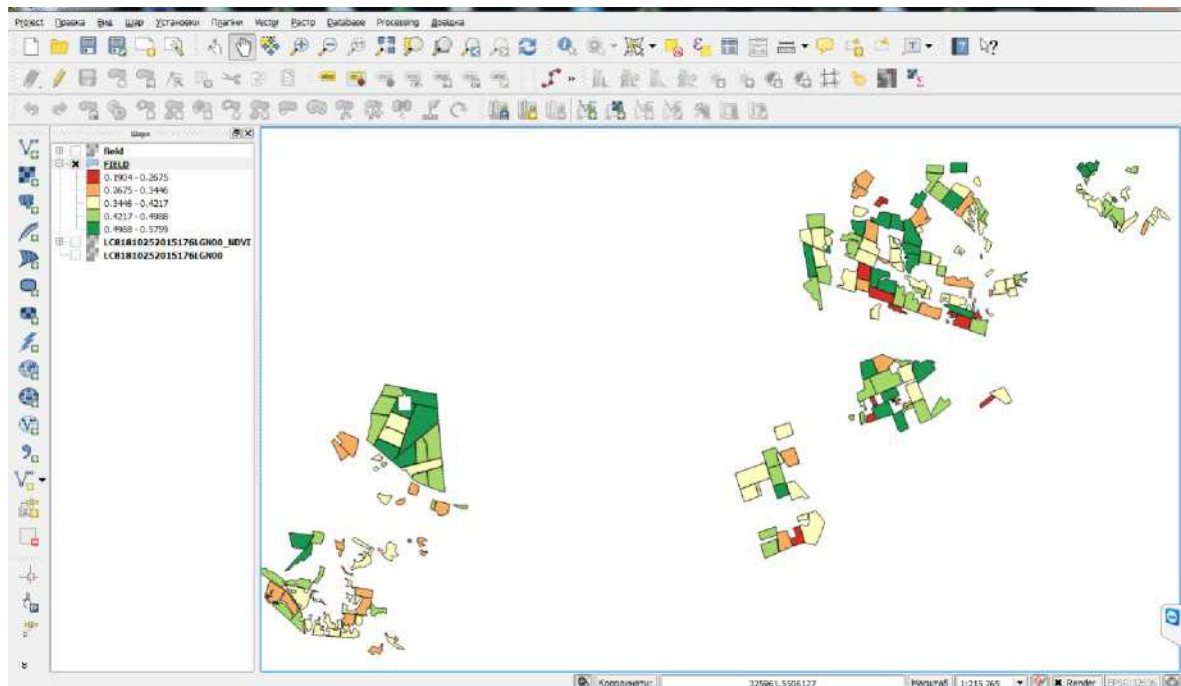
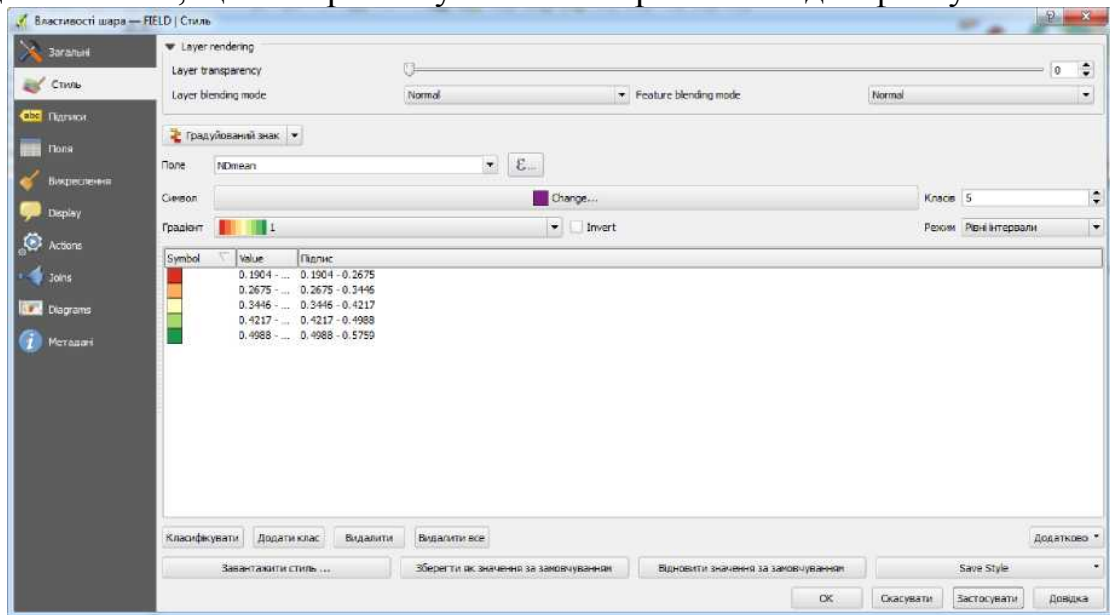
Attribute table - FIELD :: Features total: 224, filtered: 224, selected: 0

	id	NDcount	NDsum	NDmean
0	0	279.0000000000...	116.4336006343...	0.417324733456...
1	1	1219.0000000000...	477.1369139850...	0.391416664466...
2	2	903.0000000000...	495.3445316255...	0.548554298588...
3	3	1268.0000000000...	614.1119282245...	0.484315400808...
4	4	1179.0000000000...	435.3184296786...	0.369226827547...
5	5	2815.0000000000...	1114.352088838...	0.395862198521...
6	6	227.0000000000...	85.87229168415...	0.378292033850...
7	7	1207.0000000000...	399.3850895166...	0.330890712109...
8	8	1133.0000000000...	424.5605857074...	0.374722494004...
9	9	227.0000000000...	100.7312259376...	0.443749893998...
10	10	95.0000000000...	39.70712998509...	0.417969789316...
11	11	36.0000000000...	11.99948963522...	0.333319156534...
12	12	323.0000000000...	77.88009735941...	0.241114852505...
13	13	1324.0000000000...	746.0519988834...	0.563483382842...
14	14	210.0000000000...	47.12863370776...	0.224422065275...
15	15	1036.0000000000...	550.4627302587...	0.531334681716...
16	16	204.0000000000...	94.50651314854...	0.463267221316...
17	17	1314.0000000000...	639.8923629820...	0.486980489331...
18	18	2615.0000000000...	1253.465933442...	0.479336877033...
19	19	1298.0000000000...	709.7578660845...	0.546808833655...
20	20	1359.0000000000...	445.2150838524...	0.327604918213...
21	21	1470.0000000000...	712.4002032876...	0.484625988631...
22	22	929.0000000000...	445.6665061116...	0.479727132520...
23	23	1162.0000000000...	445.7994822859...	0.383648435702...

Show All Features

Задаємо стиль для колонки із середнім значенням вегетаційного індексу. Для цього, обираємо: *Стиль -> Градуирований список*. В формі *Поле* оберіть стовбчик із середнім значенням NDVI. Задаємо градієнт із представленого списку або створюємо власний.

Перегляньте отриманий результат та проаналізуйте побудовану карту та вхідний знімок, що використовувався. Створіть стиль для файлу:



2.4. Завдання

1. Побудувати карту NDVI на основі завантаженого супутникового зображення.
2. Побудувати карту NDVI для окремих полів господарства.
3. Визначити середнє значення вегетаційного індексу NDVI для кожного поля в господарстві (результати представити у вигляді векторної карти зі стилем).

2.5. Контрольні запитання

1. Що таке вегетаційний індекс NDVI?
2. Опишіть процес побудови карти NDVI засобами QGIS, за допомогою мови Python.
3. Яким чином, можна побудувати карту NDVI для окремих полів господарства?
4. Як визначити середнє значення NDVI для конкретного поля?

2.6. Додаткові джерела інформації

1. <https://www.qgis.org/uk/docs/index.html>
2. <https://gis-lab.info/docs/qgis/>
3. <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html>

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

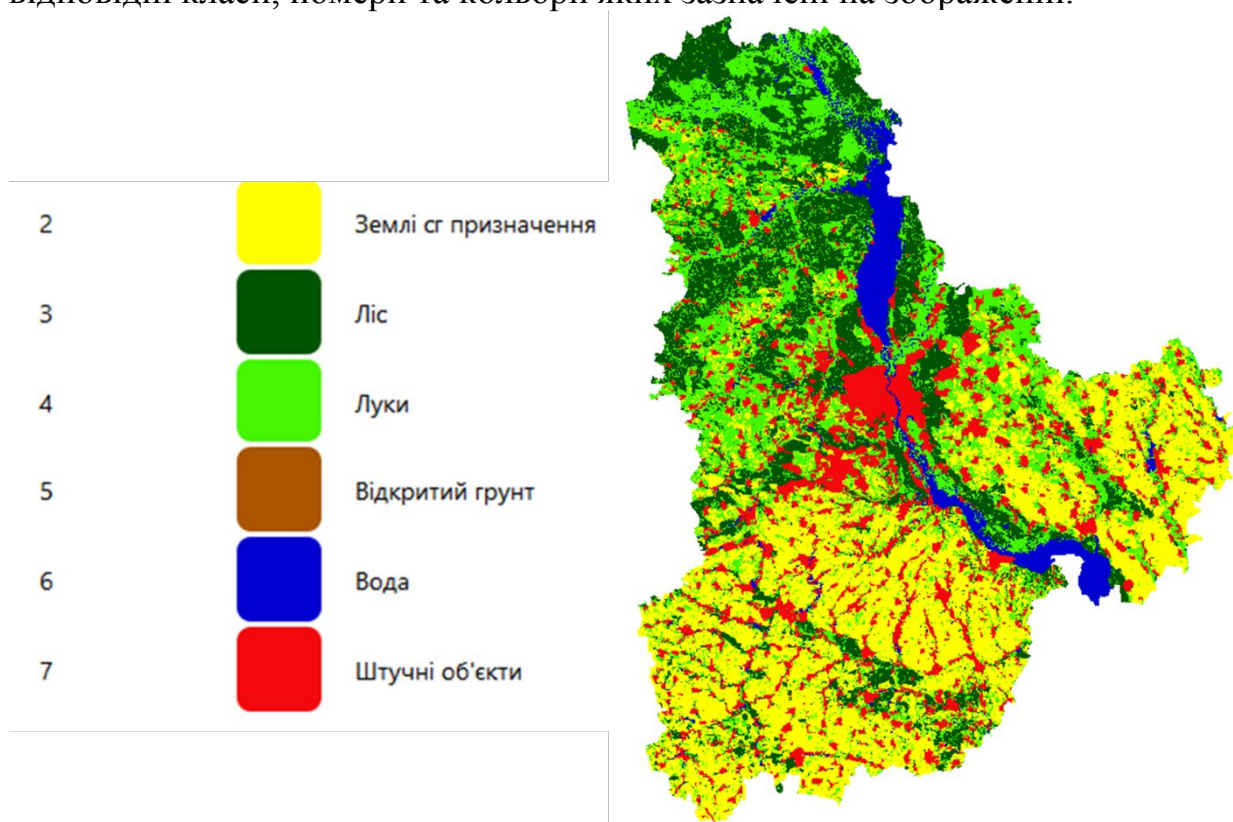
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРЕНДІВ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИВУ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Мета роботи: отримати навички аналізу змін земного покриття для значних проміжків часу.

3.1. Дані та програмне забезпечення

1. Карти класифікації за 2000 та 2010 роки для території Київської області – [посилання](#).

Візуально карта земного покриття виглядає наступним чином та містить відповідні класи, номери та кольори яких зазначені на зображенні.



2. Глобальна карта земного покриття WorldCover 2020 – [посилання](#).

Векторні контури районів України можна знайти за офіційним посиланням <https://atu.decentralization.gov.ua/#download-section> або [тут](#).

3. Карти лісу та вирубок за дослідженнями університету штату Меріленд з 2000 по 2020 – [посилання](#).

3.2. Теоретичні відомості

Тренди змін земного є одним із важливих індикаторів, які дозволяють оцінити ступінь деградації ґрунтів, і є однією із важливих змінних відповідно до міжнародних програм (Essential Variables). Цей показник забезпечує всебічне висвітлення стану земельних ресурсів в масштабі країни на основі

часових рядів супутникових даних. Карти земного покриття є джерелом інформації для індикації перших змін рослинного покриття.

Серед індикаторів, які дозволяють оцінити ступінь деградації земель, відповідно до методики UN CCD виділяють зміни типів земного покриття, які визначаються за картами земного покриття, що будуються на регулярній основі. Деградаційні процеси визначаються на основі аналізу змін типів земного покриття - переходи лісових масивів в луки, в землі, на яких ведуться сільськогосподарські роботи та у голу землі. Саме такі переходи свідчать про зниження загального рівня продуктивності землі в термінах її спроможності підтримувати зелену вегетацію.

Значну роль у оцінці деградаційних процесів відіграє і вразливість ґрунтів до вітрової чи водяної ерозії. Відповідно до законодавства України у сфері охорони ґрунтів (Закон України «Про охорону земель», стаття 47 «Охорона земель від ерозії та зсувів») мають місце певні обмеження у веденні сільськогосподарської діяльності на схилах. Фактично забороняється розорювання схилів крутизною понад 7 градусів (крім ділянок для залуження, залісення та здійснення ґрунтозахисних заходів). На схилах крутизною від 3 до 7 градусів обмежується розміщення просапних культур, чорного пару тощо. Із використанням цифрової моделі рельєфу (Digital elevation Map — ЦМР) можна визначити вагомість тих чи інших змін землекористування на ерозійні процеси. Зокрема, розміщення лісових насаджень в значній мірі сприяє укріпленню ґрунтів на схилах.

Геоінформаційні системи відрізняються від інших інформаційних систем тим, що володіють ефективними можливостями аналізу просторових даних і дозволяють виконувати просторове моделювання об'єктів і явищ. ГІС є інструментом просторового аналізу. Просторовий аналіз є основою ГІС. Розвинені ГІС мають багатий набір засобів для виконання просторового аналізу. Аналітичні можливості ГІС дозволяють отримати відповіді на множину просторових запитів, вирішити велику кількість просторових завдань в різних предметних областях. Множину завдань просторового аналізу можна розділити на 5 узагальнених категорій.

1) Аналіз місця розташування.

Цій категорії відповідає просторовий запит: що існує в конкретному місці на поверхні Землі? Щоб побачити, де розташований і як виглядає об'єкт, який цікавить, використовують карти. На карті наочно представлений характер просторового розподілу об'єктів, а це дозволяє проявити зв'язки між ними і краще зрозуміти досліджувану область. Тільки побачивши місця розташування об'єктів, можна зрозуміти деякі причини просторових взаємозв'язків. Для того, щоб досліджувати закономірності в розподілі даних, потрібно певним чином відображувати об'єкти, які досліджуються, спираючись на значення їх характеристик. Наприклад, а) еколог може оцінити вплив особливостей рельєфу або інших чинників на просторовий розподіл рослинних співтовариств, використовуючи картографічні дані; б) містобудівник планує розміщення певного об'єкта відповідно до генерального плану міста, плану існуючої забудови і плану інженерної

інфраструктури; у) відділ міліції створює карту розподілу злочинів різного типу, щоб бачити, чи повторюються вони в окремих районах.

2) *Задоволення просторових умов.*

Цій категорії відповідає просторовий запит: де задовольняються конкретні просторові умови? Простий запит про місце розташування об'єкта складається з однієї умови. Для здобуття відповіді досить виконати одну штатну операцію. Складний запит про місце розташування об'єкта може включати певний набір умов. Для здобуття відповіді вже потрібне використання ряду операцій просторового аналізу. Наприклад, а) де знаходиться майданчик для будівництва площею 2 га. у відстані до 200 м. від дороги районного значення, з ґрунтами несучої здатності до 1 кг на кв.см.? б) обґрунтувати місце розташування торговельного, чи навчального закладу або бізнес-центру з врахуванням багатьох, в т.ч. просторових чинників; в) знайти оптимальну трасу трубопроводу або шляхопроводу, який проектується.

3) *Часовий аналіз.*

Цій категорії відповідає запит: що просторово змінилося за вказаний період? Відповідь на це питання є спробою визначити зміни, події у просторі та часі, тенденції цих змін на певній території. Наприклад, яка тенденція поширення грипу в місті, які нові об'єкти побудовані за останній рік, яке зростання урбанізованих територій? Зберігаючи і зіставляючи карти різних дат, ГІС може виконувати часовий аналіз.

4) *Виявлення структури.*

Цій категорії відповідає просторовий запит: які просторові структури або розподіли існують? Наприклад, скільки є аномалій, не відповідних нормальному розподілу, де вони знаходяться? Який розподіл населення в місті? Які ділянки дороги є найбільш небезпечними? Який розподіл вартості нерухомості на території? Виділення просторових структур - складне питання, що вимагає використання арсеналу потужних засобів просторового аналізу.

5) *Оцінка різних сценаріїв.*

Сценарій потенціалу є результатом запитань типу "Що станеться, якщо....". Наприклад, що станеться, якщо інтенсивність дощу буде критичною? Які будуть витрати, якщо вулицю розширити на 14 м.? Як зміниться транспортне сполучення, якщо прибрати трамвай з вулиці Пушкінської? У таких випадках користувач використовує модель для прогнозування і карти потенційної дії. Вживання такої моделі дозволяє побудувати гіпотетичну ситуацію і прогнозувати розвиток й наслідки соціологічних та економічних ситуацій, стихійних лих і аварій природного техногенного характеру у просторі й часі. При цьому як правило повинні використовуватися гетерогенні дані з різних джерел та різної природи.

Останнім часом спостерігається помітне зростання ролі аналітичних і моделюючих функцій ГІС. Наприклад, система ArcGIS (ESRI) включає доступні в освоєнні модулі Spatial Analyst, 3D Analyst, Network Analyst, Geostatistical Analyst.

Приклад

Операції із растрами можуть бути виконані у середовищі Matlab, Python, R чи в безкоштовній ГІС-системі QGIS.

Корисним може бути курс по роботі з геопросторовими даними з використанням мови програмування Python:
<https://www.futurelearn.com/courses/artificial-intelligence-for-earth-monitoring>

Відкрити геопросторовий растровий файл з використання мови програмування Python (додатковий модуль gdal, принципи використання пакету rasterio розглядаються в лабораторній роботі № 4):

```
import gdal
import os, osr
import sys
```

```
path = r'C:\Users\Desktop'
input_image_old = 'Kiev_region_2000.tif'
image_old = gdal.Open(os.path.join(path,
input_image_old))
```

Відкрити визначений канал зображення:

```
band_old = image_old.GetRasterBand(1).ReadAsArray() #
растровий знімок у numerical array
```

Детальніше про вичитування растрових геопросторових даних з використанням мови програмування Python можна ознайомитися за посиланням.

Порівняння двох зображень (замінити на старому знімку на значення «4» всі ті пікселі, які на новому знімку дорівнюють значенню «2», для прикладу):

```
band_old[band_new==2] = 4
```

Створення порожнього файлу, який за розміром та метаданим відповідає вхідним файлам:

```
band_rez = output_image.GetRasterBand(1).ReadAsArray()
```

Записати у результуючий файл ті пікселі, які у старому файлі дорівнюють значенню «10», а також присвоїти цим пікселям значення «1», для прикладу.

```
band_rez [band_old==10] = 1
```

Запис метадати для результуючого файлу output_image

```
output_image = 'Result.tif'
form = "GTiff"
driver = gdal.GetDriverByName(form)
raster_srs = osr.SpatialReference()
output_image=driver.Create(os.path.join(path,
output_image), im_old.RasterXSize, im_old.RasterYSize,
1, gdal.GDT_Byte)
raster_srs.ImportFromWkt(im_old.GetProjectionRef())
output_image.SetProjection(raster_srs.ExportToWkt())
output_image.SetGeoTransform(im_old.GetGeoTransform())
```

Запис результуючої змінної band_rez у геопросторовий файл.

```
output_image.GetRasterBand(1).WriteArray(band_rez)
output_image.FlushCache()
```

3.4. Порядок виконання роботи

1. Проаналізувати карти земного покриття Київської області, надані для виконання практичної роботи (30 м для 2000 та 2010 pp.). Завантажити глобальну карту земного покриття WorldCover з 10-метровим просторовим розрізненням для Київської області.
2. Дослідити переходи лісів у землі сільськогосподарського призначення, лісів у луки та лісів у відкритий ґрунт.
Для цього варто враховувати номери класів, які відповідають за відповідні типи земного покриття. Зокрема, перехід сільськогосподарських земель у луки можна визначити таким чином: на карті земного покриття за 2000 рік шукаємо всі пікселі, які мають значення 2 (сільськогосподарські землі (див. легенду на початку лабораторної роботи)), а на карті 2010 року – всі пікселі, які мають значення 4 (луки). Перетин цих двох множин і буде шуканою територією переходу сільськогосподарських територій у луки. З іншими класами аналогічно.
3. Дослідити переходи сільськогосподарських земель в луки, штучні об'єкти.
4. Агрегувати результати в межах адміністративних одиниць Київської області (на рівні районів).
5. Завантажити ліс Меріленду для України. Визначити площі вирубок з 2000 по 2020 роки на рівні адміністративних районів (використати зональну статистику).
6. Результати аналізу оформити у вигляді звіту.

3.5. Додаткові джерела інформації

1. M. S. Lavreniuk, S. V. Skakun, A. J. Shelestov, B. Y. Yalimov, S. L. Yanchevskii, D. J. Yaschuk, and A. I. Kosteckiy, "Large-Scale Classification of Land Cover Using Retrospective Satellite Data", *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 52, no. 1, pp. 127-138, 2016.
2. N. Kussul, G. Lemoine, F. J. Gallego, S. V. Skakun, M. Lavreniuk, and A. Y. Shelestov, "Parcel-Based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data", *IEEE J. of Select. Topics in Appl. Earth Observ. and Rem. Sens.*, vol. 9, no. 6, pp. 2500-2508, 2016.
3. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, M. Lavreniuk, B. Yailymov, and O. Kussul, "Regional Scale Crop Mapping Using Multi-Temporal Satellite Imagery", *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W3, pp. 45-52, 2015. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-45-2015
4. M. Lavreniuk, N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, and B. Yailymov, "Regional retrospective high resolution land cover for Ukraine: Methodology and results", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 3965-3968, 2015.
5. Cloud Approach to Automated Crop Classification Using Sentinel-1 Imagery Andrii Shelestov, Mykola Lavreniuk, Vladimir Vasiliev, Leonid Shumilo, Andrii Kolotii, Bohdan Yailymov, Nataliia Kussul, Hanna Yailymova *IEEE Transactions on Big Data – 2020. – Vol. 6, No. 3. – 572-582 pp. DOI: 10.1109/TBDATA.2019.2940237.*
6. Азарсков В.М., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С., КуССуль Н.Н. Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления // К.: НАУ, 2004. — 500 с.
7. N. Kussul, A. Shelestov, M. Lavreniuk, I. Butko and S. Skakun, "Deep learning approach for large scale land cover mapping based on remote sensing data fusion," 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 198–201.
8. N. Kussul, N. Lavreniuk, A. Shelestov, B.Yailymov, I. Butko Land Cover Changes Analysis Based on Deep Machine Learning Technique.- *Journal of Automation and Information Sciences.* — 2016. — PP. 42–54.
9. КуССуль Н.Н., Шелестов А.Ю. Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии // К.: "Наукова думка", 2008. — 452 с.
10. <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
11. <http://www2.unccd.int/>

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 СЦЕНАРІЙ ОБРОБКИ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Мета роботи: ознайомитися з основними принципами обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та можливостями мови Python для обробки геопросторової інформації, а саме, багатоспектральних супутникових зображень засобами бібліотеки абстракції супутникової інформації (GDAL).

Основні поняття: дані ДЗЗ (remote sensing data), супутникові зображення (satellite imagery), обробка зображень (image processing).

4.1. Дані та програмне забезпечення

1. Дані для виконання лабораторної (у випадку неможливості завантажити їх з офіційних джерел): <https://drive.google.com/file/d/1eklS69gYlwm2dB26Se8SC4Mf7LJzu-RX/view?usp=sharing>
2. Програмне забезпечення QGIS, яке було встановлене в 1 лабораторній роботі: <http://qgis.org/downloads/>
3. Посилання для встановлення sentinelhub <https://github.com/sentinel-hub/sentinelhub-py>

4.2. Теоретичні відомості

Космічні апарати (КА) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є одним з основних джерел інформації про навколишнє середовище. Неперервний розвиток космічних технологій є однією з рушійних сил в прогресі розв'язання задач глобального моніторингу океану, суші та атмосфери. Дані ДЗЗ оперативно використовуються в різноманітних соціально-економічних сферах: сільському та лісовому господарствах, екологічному моніторингу, картографуванні та земельному кадастрі, а також в задачах прогнозування та моніторингу надзвичайних ситуацій.

Одним з широко розповсюджених видів даних ДЗЗ є супутникові зображення поверхні Землі. Останні вважаються багатоспектральними (мультиспектральними), якщо отримані в результаті обробки вихідної інформації сенсору КА, який здатний проводити зйомку в видимому (Синій, Зелений, Червоний) та інфрачервоному (ближній, короткохвильовий та тепловий) спектральних діапазонах.

Для успішної тематичної обробки супутникових зображень, чи їх фотоінтерпретації, потрібно володіти не тільки знаннями в предметній області, але й вміннями оперативно оброблювати великі об'єми даних та працювати зі спеціалізованими програмними бібліотеками. Для попередньої підготовки до обробки даних ДЗЗ використовують бібліотеку абстракції геопросторової інформації GDAL [1]. Дана бібліотека є вільно

розповсюджуваною та часто оновлюваною. Багато програмних продуктів використовують GDAL і надають графічний інтерфейс доступу до сценаріїв бібліотеки, зокрема, до них належать наступні: QGIS, ArcGIS, OpenEV, MapServer, Google Earth та ін.

gdal - rasterio - зручний Python-інтерфейс для роботи з растровими даними на основі бібліотеки *gdal*. Модуль Rasterio – інструмент роботи з геопросторовим абстракціями шляхом використання функціоналу та типів даних Python. За рахунок цього досягається висока продуктивність, менше когнітивне навантаження, чистіший та прозоріший код.

```
import rasterio # import rasterio
dataset = rasterio.open('tif_path') # відкриття растру
number_of_bands = dataset.count # кількість каналів
xsize = dataset.width # кількість пікселів за x
ysize = dataset.height # кількість пікселів за y
band1 = dataset.read(1) # вчитати перший канал в масив
all_bands = dataset.read() # вчитати всі канали в масив
/* В результаті all_bands є трьохвимірний масивом, з розміром (number_of_bands, xsize, ysize) */
```

Іноколи виникає потреба створити віртуальний растр, який є, наприклад, об'єднанням (комполитом) з інших растрів. Файл розширення *.vrt* містить метадані та не займає багато місця, відкривається за допомогою *gdal*, *rasterio*, *qgis*, *arcgis* як звичайний растр. Перевагою такого файлу є те, що можливо, наприклад, зробити віртуальний композит для всієї країни, що буде займати набагато менше місця ніж реальний композит.

```
# VRTNodata - значення no data для растру

vrt_opt = gdal.BuildVRTOptions(VRTNodata = 0)

# raster_list - список растрів для віртуального
# композитування, hidenodata - не використовувати
# значення no data (у випадку True пікселі no data
# будуть замінені на пікселі із значеннями в нижніх
# растрах)
# out_name - шлях до віртуального растру

vrt = gdal.BuildVRT(out_name, raster_list, options =
vrt_opt, hidenodata = True)

# Зміна vrt дає можливість використовувати растр як і
# будь-який інший. Файл із розширенням .vrt можна
# відкривати як і звичайний растр з розширенням .tif за
# допомогою ГІС-систем, gdal, rasterio
```

```
#separate визначає, чи зберігати растри в окремі канали
# (True) або в один (False)

vrt_options = gdal.BuildVRTOptions(separate = True,
VRTNodata = 0)
gdal.BuildVRT(vrt_path, raster_list, options =
vrt_options)
```

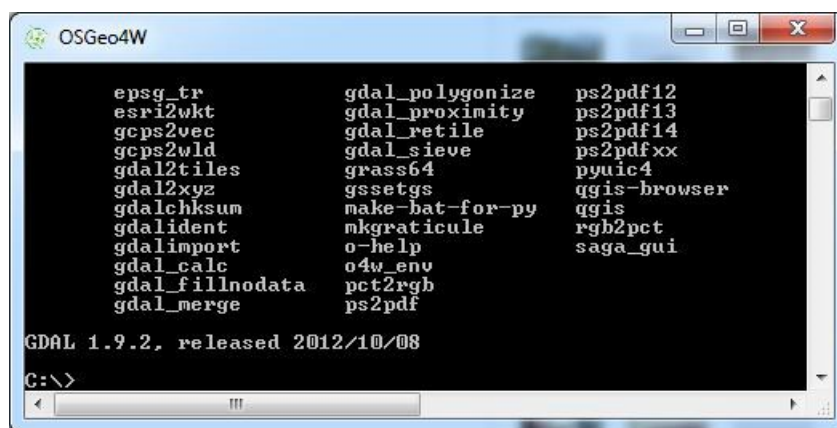
4.3. Порядок виконання роботи

Налаштування робочого середовища

Перед тим як безпосередньо перейти до роботи з растровими зображеннями, варто сказати кілька слів про встановлення бібліотеки GDAL. В межах виконання лабораторної роботи Ви можете встановити бібліотеку GDAL як мінімум двома різними варіантами.

Варіант перший. Встановлення програмного продукту, що містить готові бінарії (скомпільований код) бібліотеки GDAL, наприклад QGIS (Quantum GIS). Даний продукт є геоінформаційною системою та розповсюджується вільно. Завантажити його можна за електронною адресою: <http://qgis.org/downloads/> (в якості рекомендації, пропонується завантажити та використовувати версію 3.12.0, яка використовувалась при розробці методичних вказівок). У випадку, якщо Ви користуєтесь ОС Windows, потрібно також додати директорію встановленої QGIS до системних шляхів та перезавантажити систему (модифікувавши системну змінну PATH, аналогічно тому, як описано у лабораторній роботі № 1).

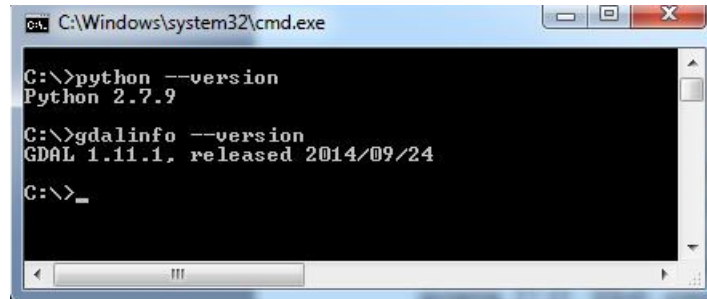
Виконавши всі вказані кроки, запускаємо OSGeo4W.bat – інтерфейс командного рядка Windows для роботи з сценаріями GDAL.



GDAL OSGeo4W interface

Варіант другий. Якщо у Вас на робочому ПК вже встановлений Python (рекомендована версія Python 3.6), то Ви маєте можливість використовувати GDAL як бібліотеку Python. Для цього потрібно приєднати шлях до бібліотеки одним із запропонованих шляхів [2, 3]. Для отримання доступу до бінаріїв бібліотеки в перелік системних змінних обов'язково потрібно

додати змінні **GDAL_DATA** зі значенням `C:\Program Files (x86)\GDAL\gdal-data\` та **GDAL_DRIVER_PATH** з значенням `C:\Program Files(x86)\GDAL\gdalplugins\`. Майте на увазі, значення змінних можуть відрізнятися, в залежності від місця розташування файлів бібліотеки на Вашому ПК. Також не забудьте модифікувати системну змінну **PATH**, додавши до неї записи `C:\Program Files (x86)\GDAL` та `C:\Python27`. Після перезавантаження системи в командному рядку Windows Ви зможете користуватись сценаріями бібліотеки GDAL.



Python GDAL – Windows command line interface

Варіант третій. (самий простий). У разі, якщо Python надається в межах дистриб'юції Anaconda, то установка модуля `gdal` зводиться до використання наступної команди:

```
conda install -c conda-forge gdal
```

Установка `sentinelhub`. Для зручного завантаження продуктів Sentinel рекомендується використовувати модуль `sentinelhub` для Python. Інструкція з установки та використання можна знайти за посиланням на Github-проект <https://github.com/sentinel-hub/sentinelhub-py>.

Отримати зазначені характеристики зображення можна, викликавши команду **gdalinfo** *<input.tif>*, де *input.tif* — зображення, що розглядається. Нижче наведено неповний вивід команди **gdalinfo** до знімку KA Landsat-8 з ідентифікатором LC81810252013106LGN01.TIF

Driver: GTiff/GeoTIFF	#драйвер обробки зображення
Files: LC81810252013106LGN01.TIF	#ідентифікатор зображення
Size is 7911, 7711	#розміри зображення
Coordinate System is:	
PROJCS["WGS 84 / UTM zone 36N",	#система координат
Origin =	
(220785.0000000000000000, 5687415.0000000000000000)	
Pixel Size = (30.0000000000000000, -30.0000000000000000)	

...

```

Corner Coordinates:           #координати кутових пікселів
Upper Left ( 220785.000, 5687415.000) ( 28d59'48.89"E,
51d16'10.38"N)
Lower Left ( 220785.000, 5456085.000) ( 29d10' 2.19"E,
49d11'38.05"N)
Upper Right ( 458115.000, 5687415.000) ( 32d23'55.42"E,
51d20'11.31"N)
Lower Right ( 458115.000, 5456085.000) ( 32d25'27.81"E,
49d15'21.95"N)
Center ( 339450.000, 5571750.000) ( 30d44'48.29"E,
50d16'33.70"N)

```

```

#далі для кожного каналу
#зображення приводитиметься
#статистика спектральної
#яскравості (значень пікселів)

```

```

Band 1 Block=7911x1 Type=UInt16, ColorInterp=Gray
Min=0.000 Max=22196.000
Minimum=0.000, Maximum=22196.000, Mean=6250.302,
StdDev=4752.830

```

```

Metadata:

```

```

STATISTICS_MAXIMUM=22196
STATISTICS_MEAN=6250.302386522
STATISTICS_MINIMUM=0
STATISTICS_STDDEV=4752.8300813332

```

Приклади коду

Детальні інструкції по використанню бінаріїв GDAL можна отримати безпосередньо на офіційному інтернет ресурсі <http://www.gdal.org/>

Основні команди, які Вам доведеться використовувати, наведено нижче.
Розархівування каналів зображення. Ви вільні вибрати зручний архіватор. Якщо ви користуєтесь архіватором “7z”, тоді розпакувати всі архіви, що містяться в заданій папці, можна шляхом виклику з неї наступного сценарію (bat файл):

```

for /f "tokens=1 delims=." %%d in ('dir /b /d *tar.gz')
do (
md %%d
@echo Directory %%~nd Created
7z x %%d.tar.gz
7z x -o%%~nd %%d.tar
del /S %%d.tar
@echo Archive %%~nd %%d.tar.gz uncompressed
break)

```

де в якості параметра %%d виступатимуть імена всіх файлів з формату tar.gz.

Конкатенація каналів зображення. В архіві tar.gz. містяться канали супутникового зображення в окремих файлах GEOTIFF. Для їх конкатенації потрібно викликати наступну команду:

```
gdal_merge.py -o <output.tif> -separate <input_1.tif>
<input_2.tif> ... <input_N.tif>
```

де <output.tif> – результат конкатенації, <input.tif> – канали зображення, взяті з відповідного архіву.

Більш детальну інформацію можна знайти за адресою https://gdal.org/programs/gdal_merge.html.

Перепроєктування зображення. Для зміни географічної проекції зображення потрібно скористатися командою gdalwarp, наприклад:

```
gdalwarp -tr xSize ySize -t_srs "[projection
parameters]" <input.tif> <output.tif>
```

де xSize, ySize – розміри пікселя результуючого зображення; [projection parameters] – параметри проекції, в яку буде здійснюватися перепроєктування, наприклад “+proj=utm +zone=36” – параметри проекції UTM Zone 36N. Для подальшого обрізання зображення по векторному контуру, потрібно буде звести растр з векторним контуром до єдиної проекції. Детальніше — <https://gdal.org/programs/gdalwarp.html>

Конкатенація зображень з різними Path Row. Для конкатенації зображень, що не співпадають територіально (повністю або частково), слід використовувати наступну команду gdalwarp:

```
gdalwarp -of GTIFF -ot UInt16 -srcnodata <value> -
dstnodata <value>
<input_1.tif> <input_2.tif> ... <input_N.tif>
<output.tif>
```

де значення параметрів srcnodata та dstnodata відповідають значенням пікселів вхідних та результуючого зображень з відсутніми даними відповідно. Значення параметру -of відповідає формату вихідного файлу, а значення параметру -ot – його типу.

Відмінність в конкатенації зображень командами gdal_merge та gdalwarp полягає в наступному:

- за допомогою gdal_merge можна об'єднати тільки зображення однакового розміру (Size). При цьому результат конкатенації буде мати той же розмір, а кількість каналів результуючого зображення стане рівна сумі кількостей каналів вхідних зображень;
- за допомогою gdalwarp можна об'єднати зображення що територіально не перекриваються і мають різні розміри, але кількість каналів в них обов'язково повинна бути однаковою.

Обрізання растрових зображень по векторному контуру. Оскільки супутникові зображення займають чимало дискового простору, часто виникає потреба оброблення тільки певної ділянки відзнятої території (кількох полів, району, області, тощо). Обрізання растрових зображень по векторному контуру часто здійснюється для підготування постерів та проектів. Приклад команди для здійснення обрізання растру по векторному контуру наведений нижче:

```
gdalwarp -dstnodata <value> -q -cutline <ShapeFile.shp>
-crop_to_cutline -of GTiff <input.tif> <output.tif>
```

де в файлі ShapeFile.shp міститься необхідний векторний контур. Значення <value> параметру `-dstnodata` відповідає значенню пікселів з відсутніми даними вхідного растру. <input.tif> та <output.tif> відповідно вхідне та обрізане растрові зображення.

Паншарпенінг. При наявному панхроматичному каналі, а такий канал є у супутника Landsat-8, можна збільшити розрізнення деяких каналів мультиспектру до розрізнення панхроматичного каналу за допомогою процедури *паншарпенінгу*.

```
gdal_pansharpen      pan_dataset      spectral_dataset
out_dataset -r
```

де `pan_dataset` — це шлях до панхроматичного каналу, `spectral_dataset` - шлях до мультиспектральних каналів, `out_dataset` — шлях до вихідного файлу з результатами, `r` — метод паншарпенінгу. Детальніше https://gdal.org/programs/gdal_pansharpen.html.

Примітка. Якщо з растрового зображення необхідно вирізати деяку прямокутну ділянку, то не обов'язково будувати її векторний контур, можна просто скористатися наступною командою:

```
gdalwarp -tr xSize ySize -te XLowerLeft YLowerLeft
XUpperRight YUpperright <input.tif> <output.tif>
```

де `XLowerLeft YLowerLeft XUpperRight YUpperright` — координати (x, y) крайнього лівого нижнього та правого верхнього пікселів прямокутного контуру, по якому буде здійснюватись обрізка.

Робота з растровими даними засобами gdal

```
import gdal - імпорт бібліотеки gdal
Import osr - імпорт бібліотеки osr (для роботи з
координатними системами)
Raster = gdal.Open(tif_path) - відкрити растр за шляхом
tif_path через python
Band = Raster.GetRasterBand(1).ReadAsArray() - зчитати
1 канал растру у вигляді масиву numpy
```

```
Raster.GetRasterBand(1).WriteArray(Band2,0,0) - запис
масиву Band2 у перший канал растру на позицію з
координатами правого верхнього куту 0, 0
Raster = None - завершення роботи з растром
```

4.4. Завдання

Лабораторна робота має дві частини. У першій (простішій) частині (пп. 1 необхідно працювати з даними Sentinel-2, які необхідно завантажити за допомогою Copernicus SciHub за ідентифікаторами (список ідентифікаторів дивись нижче) або скористатися архівом, що надається викладачем. У другій (складнішій) частині (п. 4) потрібно також самостійно завантажити дані Landsat з порталу USGS. Для цього підійдуть будь які 2 сусідніх знімки Landsat-8 з відсотком хмарності до 30%, (рекомендовані ідентифікатори наведено внизу у п. 3).

1. Завантажити необхідні дані Sentinel-2 (або з Copernicus SciHub, або з Google-диска). За допомогою бібліотеки sentinelhub написати скрипт для завантаження супутникових знімків Sentinel-2, які покривають Київ (ROI —

```
POLYGON ( (29.073321247506765 49.845775018245774,
           31.986007792928522 49.845775018245774,
           31.986007792928522 51.278667808079206,
           29.073321247506765 51.278667808079206,
           29.073321247506765 49.845775018245774) ) )
```

Список ідентифікаторів Sentinel-2:

```
- S2A_MSIL2A_20190821T085601_N0213_R007_T36UUB_20190821T11
5206
- S2A_MSIL2A_20190821T085601_N0213_R007_T36UUA_20190821T11
5206
```

2. Засобами командного рядка операційної системи (демонстраційні приклади розглянуті для ОС Windows), а також за допомогою бінаріїв бібліотеки GDAL розробити автоматичний сценарій, який здійснюватиме обробку даних ДЗЗ, відповідно до поставлених завдань. Для виконання команд gdal у сценарії Python можна використовувати бібліотеки os та command.

Над завантаженими даними Sentinel-2 відпрацювати наступні дії.

– Розпакування наборів архівів з продуктами ДЗЗ в новостворені папки, назви яких відповідатимуть ідентифікаторам зображень.

– Конкатенація каналів видимого, ближнього та середнього інфрачервоного спектральних діапазонів (канали 2, 3, 4 та 8) зображення в єдиний GEOTIFF файл.

– Перепроєктування супутникового зображення у проєкцію 4326.

– Конкатенація всіх отриманих растрів у один 4-канальний файл TIFF.

– Обрізання результуючого зображення по заданому векторному контуру.

3. Протестувати різні реалізовані в gdal методи паншарпенінгу. Для

цього підготуйте склеєні RGB канали Landsat-8 та окремо панхроматичний канал. Переведіть панхроматичний канал у 30 м, а RGB канали у 60 м. Після цього паншарпніть 60 метровий RGB за допомогою 30 м панхроматичного каналу. Після цього ви отримуєте два 30 метрових RGB зображення - перший оригінальний, другий паншарпнутий. Підрахуйте метрики точності паншарпенінгу (це будь які вам відомі метрики які можна використовувати для валідації регресії, наприклад r^2). За даними метриками виберіть найкращий метод паншарпенінгу.

Список ідентифікаторів Landsat-8:

1. LC08_L1TP_182025_20190830_20190903_01_T1
2. LC08_L1TP_182026_20190830_20190903_01_T1

Завантажити супутниковий знімок Landsat-8 або Sentinel-2 (на вибір), або використати знімок з лабораторної роботи №1. Веторні файли з контурами районів використати з лабораторної роботи №1. Засобами командного рядку операційної системи (без обмежень у виборі ОС) та з використанням бінаріїв бібліотеки GDAL створити програмний сценарій для автоматичної обробки супутникових зображень відповідно до поставлених завдань.

Розроблений сценарій та результати обробки супутникових зображень продемонструвати викладачеві.

Можливі варіанти виконання лабораторної роботи.

Варіант № 1	пп. 1, 2 з використанням наданого архіву даних
Варіант № 2	пп. 1–2 з самостійним отриманням даних Sentinel-2
Варіант № 3	пп. 1–3 з самостійним отриманням даних Sentinel-2 та Landsat-8

4.6. Контрольні запитання

1. Що таке супутникові зображення, які їх основні характеристики?
2. Які основні можливості оброблення растрових супутникових зображень надає бібліотека GDAL?
3. Чому відповідає кількість каналів растрового супутникового зображення?
4. Який з спектральних каналів супутникового зображення відповідає за тепловий відбиток відзнятого об'єкту?
5. Які супутникові зображення вважаються –багато, гіперспектральними?
6. Що таке просторова роздільна здатність супутникового зображення?
7. Які супутникові зображення вважаються з низьким, середнім та високим просторовим розрізненням?

4.7. Додаткові джерела інформації

1. GDAL – Geospatial Data Abstraction Library. Електронний ресурс. Режим доступу станом на 28.03.2022 – <http://www.gdal.org/>, gdal.py, gdalconst.py (в каталозі fwtools/pymod)
2. Install GDAL on Windows // Cartometric Blog. Електронний ресурс.

- Режим доступу станом на 28.03.2022 – <http://cartometric.com/blog/2011/10/17/install-gdal-on-windows/>
3. Installing GDAL (and OGR) for Python on Windows // A technical blog concerning Python programming and, in particular, GIS applications. Електронний ресурс. Режим доступу станом на 28.03.2022 – <https://pythongisandstuff.wordpress.com/2011/07/07/installing-gdal-and-ogr-for-python-on-windows/>, <http://www.gdal.org/ogr/>, ogr.py
4. Інтерпретація комбінацій каналів даних Landsat TM/ETM+ // Gis- Lab. Електронний ресурс. Режим доступу станом на 28.03.2022 – <http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html>
5. Python: <http://www.python.org/doc/>
6. NumPy: <http://numpy.scipy.org>

ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Шелестов А. Ю. Методи глибинного навчання для геопросторового аналізу та задач спостереження Землі / Шелестов А. Ю., Лавренюк М. С., Яйлимов Б. Я., Ткаченко О. М. // К.: "Наукова думка" – 2019. – 228 с.
2. Куssуль Н. М. Геопросторовий аналіз ризиків стихійних лих / Н. М. Куssуль, С. В. Скакун, А. Ю. Шелестов // К.: «Наукова думка». — 2014. — 258 с.
3. Куssуль Н.М., Скакун С.В., Шелестов А.Ю. Аналіз ризиків надзвичайних ситуацій на основі супутникових даних. Моделі і технології. К.: "Наукова думка" - 2014. - 184 с.
4. Шелестов А. Ю., Лавренюк М. С., Яйлимов Б. Я., Ткаченко О. М. Методи глибинного навчання для геопросторового аналізу та задач спостереження Землі. К.: "Наукова думка" – 2019. – 228 с.
5. A. Shelestov, M. Lavreniuk, V. Vasiliev, et al. Cloud Approach to Automated Crop Classification Using Sentinel-1 Imagery. IEEE Transactions on Big Data – 2020. – Vol. 6, No. 3. – 572-582 pp. – DOI: 10.1109/TBDATA.2019.2940237.
6. S. Skakun, C. O. Justice, N. Kussul, A. Shelestov et. al. Satellite data reveal cropland losses in South-Eastern Ukraine under military conflict. Frontiers in Earth Science. – 2019. – P. 7. DOI: 10.3389/feart.2019.00305.
7. A. Shelestov, M. Lavreniuk, N. Kussul et al. Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping. Frontiers in Earth Science. — 2017. – Vol. 5. Article 17. – P. 1-10. — DOI: doi.org/10.3389/feart.2017.00017.
8. N. Kussul, M. Lavreniuk, S., A. Shelestov. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. — 2017. — Vol. 12. No. 5. — P. 778 – 782. – DOI: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
9. N. Kussul, L. Mykola, A. Shelestov et al. Crop inventory at regional scale in Ukraine: developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and SAR satellite imagery. European Journal of Remote Sensing. – 2018. – Vol. 51. – P. 627-636. – DOI: 10.1080/22797254.2018.1454265.

10. Азарсков В.М., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С., Куссуль Н.Н. Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления // К.: НАУ, 2004. — 500 с.
11. N. Kussul, A. Shelestov, M. Lavreniuk, I. Butko and S. Skakun, "Deep learning approach for large scale land cover mapping based on remote sensing data fusion," 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 198–201.
12. N. Kussul, N. Lavreniuk, A. Shelestov, B. Yailymov, I. Butko Land Cover Changes Analysis Based on Deep Machine Learning Technique.- Journal of Automation and Information Sciences. — 2016. — PP. 42–54.
13. Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю. Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии // К.: “Наукова думка”, 2008. — 452 с.