

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

# **Аналіз геопросторових даних**

## **Лабораторний практикум**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра  
за освітньою програмою «Математичні методи моделювання, розпізнавання  
образів та безпека даних»  
спеціальності 113 «Прикладна математика»*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2021

Аналіз геопросторових даних. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 113 «Прикладна математика» / А. Ю. Шелестов, Н. М. Куссуль; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4408 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 47 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 4 від 10.12.2020 р.)  
за поданням Вченої ради Фізико-технічного інституту Національного технічного університету  
України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (протокол № 11 від  
26.11.2020 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

## Аналіз геопросторових даних Лабораторний практикум

Укладачі:

*Шелестов Андрій Юрійович, д. техн. наук, проф.  
Куссуль Наталія Миколаївна, д. техн. наук, проф.*

Відповідальний  
редактор

*Смирнов С.А., к.ф.-м.н., доц.*

Рецензент

*Лавренюк А.М., канд. техн. наук, доц. кафедри інформаційної безпеки ФТІ, Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*

Навчальний посібник «Аналіз геопросторових даних. Лабораторний практикум» присвячено вивченню методів та алгоритмів аналізу геопросторових даних за спеціальністю 113 «Прикладна математика». Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей засвоєння теоретичних положень, сучасних методів та алгоритмів аналізу геопросторових даних, оволодіння практичними навичками використання інструментів геопросторового аналізу для розв'язання задач на основі геопросторових даних великого об'єму. Посібник містить необхідний теоретичний матеріал, приклади програм, а також завдання для виконання лабораторного практикуму.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

## ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ОСНОВИ РОБОТИ З QGIS .....	4
1.1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	4
1.2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	4
<i>Імпорт та попередня обробка супутникових зображень</i> .....	7
<i>Відображення растрових даних</i> .....	10
<i>Комбінації каналів</i> .....	10
<i>Базові операції з супутниковими зображеннями</i> .....	12
<i>Обрізання по замкненому векторному контуру (полігону)</i> .....	13
<i>Зміна проєкцій векторного та растрового шарів</i> .....	14
1.3. ЗАВДАННЯ.....	16
1.4. ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ .....	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ПОБУДОВА КАРТ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ NDVI ЗАСОБАМИ QGIS.....	17
2.1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	17
2.2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	17
<i>Побудова карти NDVI засобами QGIS на основі супутникових даних Landsat-8</i> .....	18
<i>Побудова карти NDVI для полів господарства</i> .....	21
<i>Обрахунок середнього значення індексу NDVI в розрізі полів господарства</i> .....	23
2.3. ЗАВДАННЯ.....	26
2.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ .....	26
2.5. ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ .....	26
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТРЕНДІВ ЗМІН ЗЕМНОГО ПОКРИВУ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ.....	27
3.1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	27
3.2. ПРИКЛАД .....	27
3.3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	30
3.4. ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ .....	30
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 МОНІТОРИНГ СТАНУ ПОСІВІВ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ .....	32
4.1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	32
4.2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	34
<i>Аналіз динаміки стану посівів на полях</i> .....	34
<i>Побудова графіків зміни індексу NDVI в часі</i> .....	36
<i>Порівняльний аналіз розвитку вегетації</i> .....	39
<i>Прогнозування врожайності озимої пшениці</i> .....	40
4.3. ЗАВДАННЯ.....	46
4.4. ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ .....	46

# Лабораторна робота №1

## Основи роботи з QGIS

**Мета роботи:** ознайомитися з основними можливостями QGIS та оволодіти базовими навиками роботи з ГІС-системою.

### 1.1. Теоретичні відомості

QGIS має гарну та детальну документацію. Більшість доступна лише англійською, але деякі документи, такі як посібник користувача, також перекладені іншими мовами. Для детального ознайомлення перейдіть за посиланням: <https://www.qgis.org/uk/docs/index.html>.

### 1.2. Порядок виконання роботи

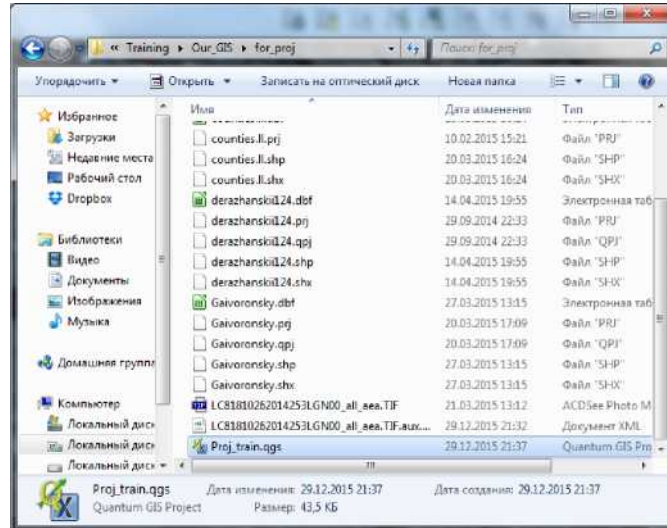
Для початку роботи потрібно запустити програму QGIS. Головне вікно QGIS можна розділити на кілька основних областей:

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. Як приклад - 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. *Проект* - це файл формату 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 закінчили в минулий раз.

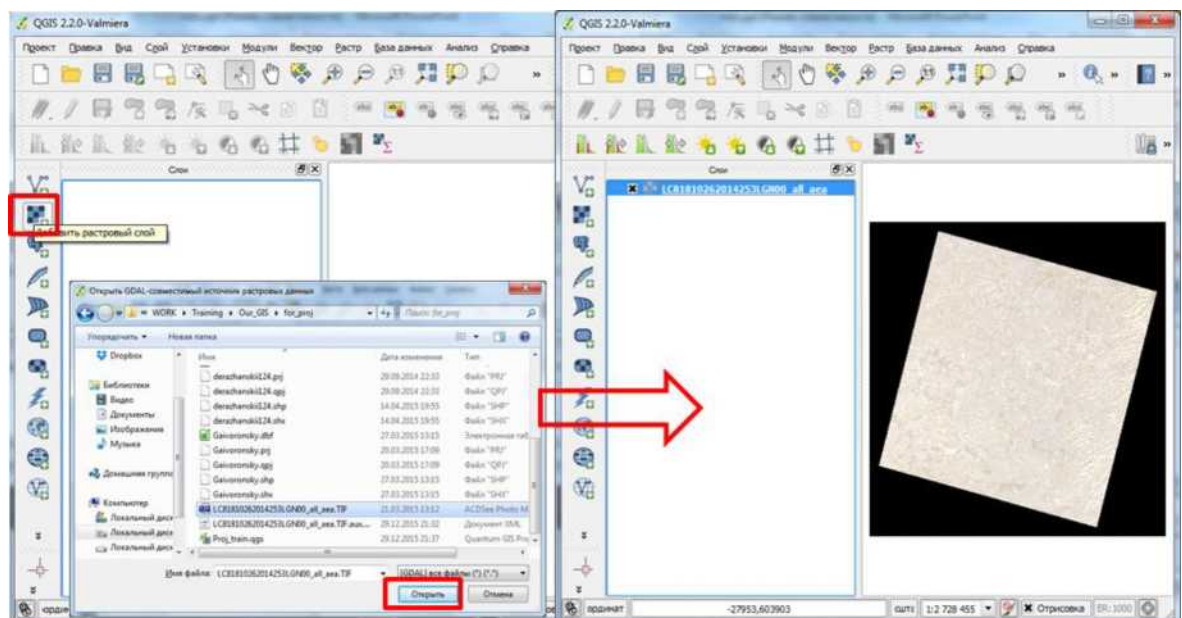


Для того, щоб завантажити проект в систему, необхідно, на панелі інструментів натиснути на пункт “Проект” >> “Відкрити”, після чого вказати шлях до папки з проектом, та відкрити сам проект.



В тому випадку, коли немає готового проекту, його потрібно створити. Створення проекту варто почати з завантаження даних до системи. 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».



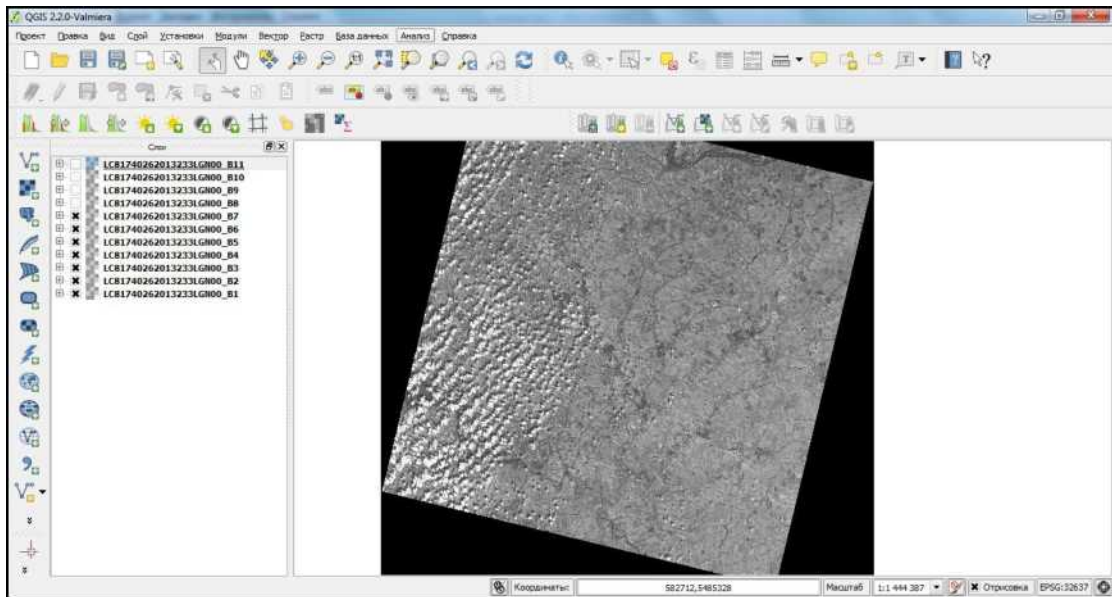
## Імпорт та попередня обробка супутникових зображень

**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/>) представляє у вільному доступі дані супутників Landsat. Користувач має змогу завантажити дані в “розібраному” - по каналному представленні в архіві подвійного архівування tar.gz.



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).

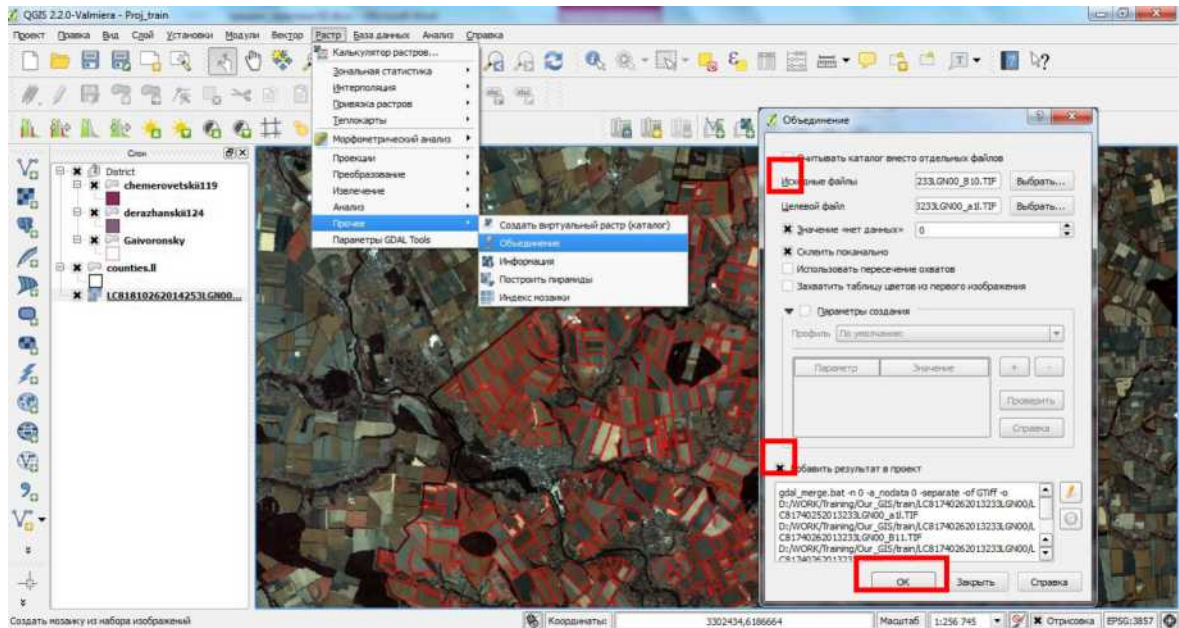


#### Спектральні канали супутникового знімку Landsat-8:

- Канал 1 - Глубинний синій;
- Канал 2 - Синій;
- Канал 3 - Зелений;
- Канал 4 - 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 ми повинні отримати одне мультиспектральне зображення з 11-ма каналами. Для цього відкриваємо меню «Растр» та обираємо пункт «Інше», «Об'єднати».

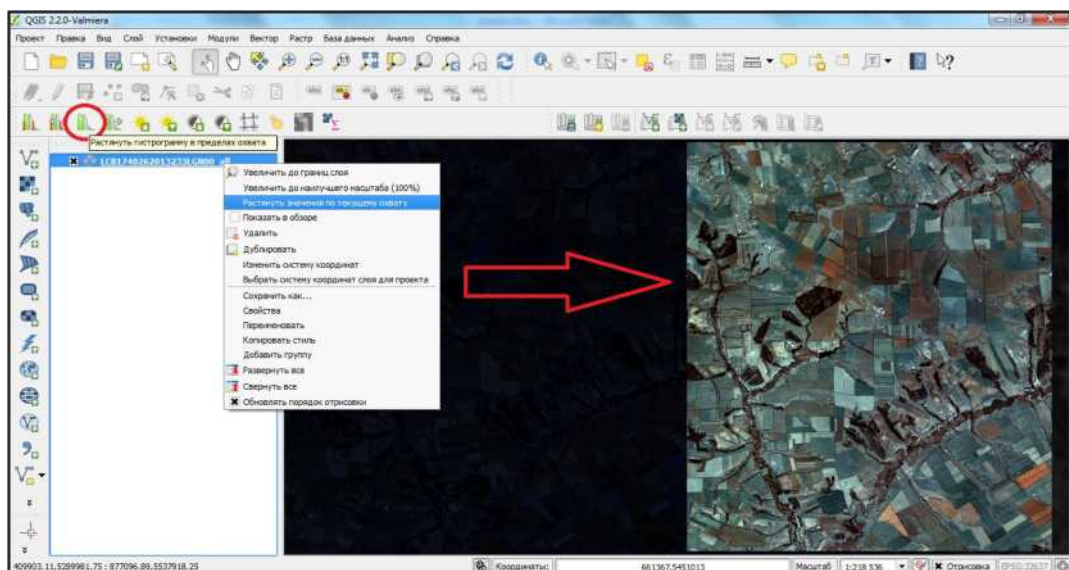




В полі «Вихідні файли» потрібно обрати канали, які будуть об'єднуватись. В «Цільовий файл» - вказати шлях до результуючого файлу. Також, потрібно увімкнути опцію «об'єднати поканалально», щоб вийшов растр з 11-ма каналами. Результат конкатенації можна одразу додати до поточного проекту (вивести його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

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

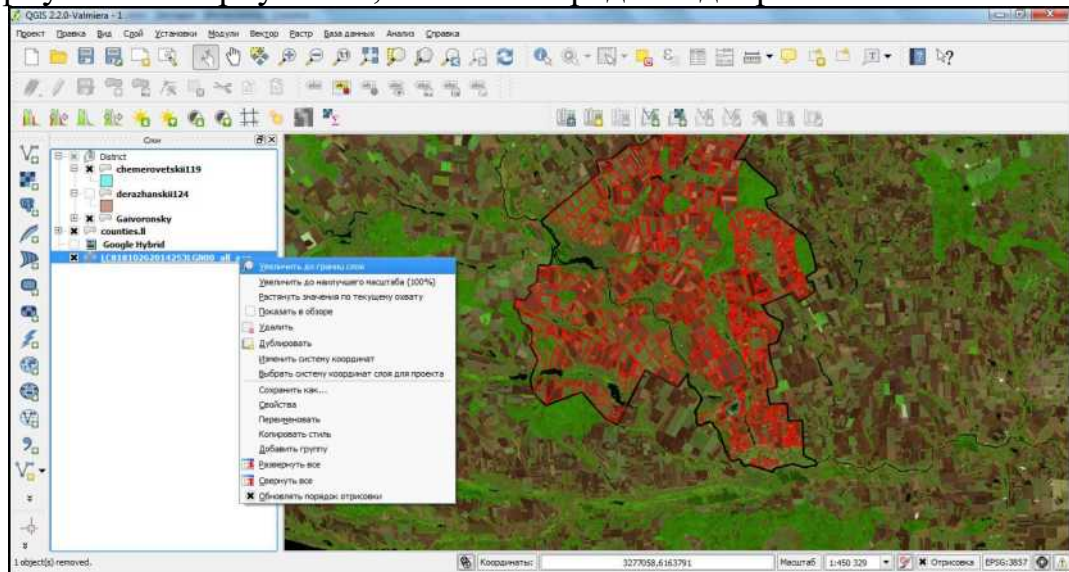
- 1) Натиснувши правою кнопкою миші на знімку, після чого впливе контексте меню, в якому обрати пункт «розтягнути значення по поточному обсягу».
- 2) На панелі інструментів натиснути на іконку «Розтягнути діаграму».



В обох випадках результат вийде один і той самий.

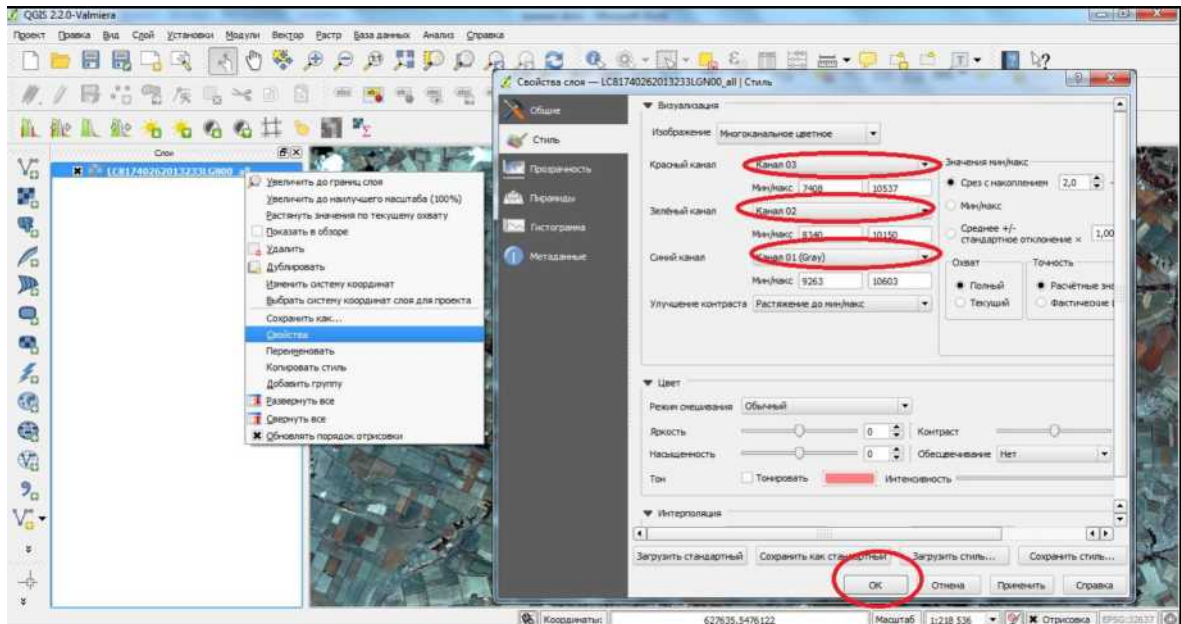
## Відображення растрових даних

Завантаживши знімок в ГІС-систему, необхідно провести його налаштування для коректного відображення. Натиснувши правою кнопкою миші на растровому шарі, впливе контексте меню. В ньому перераховані 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.

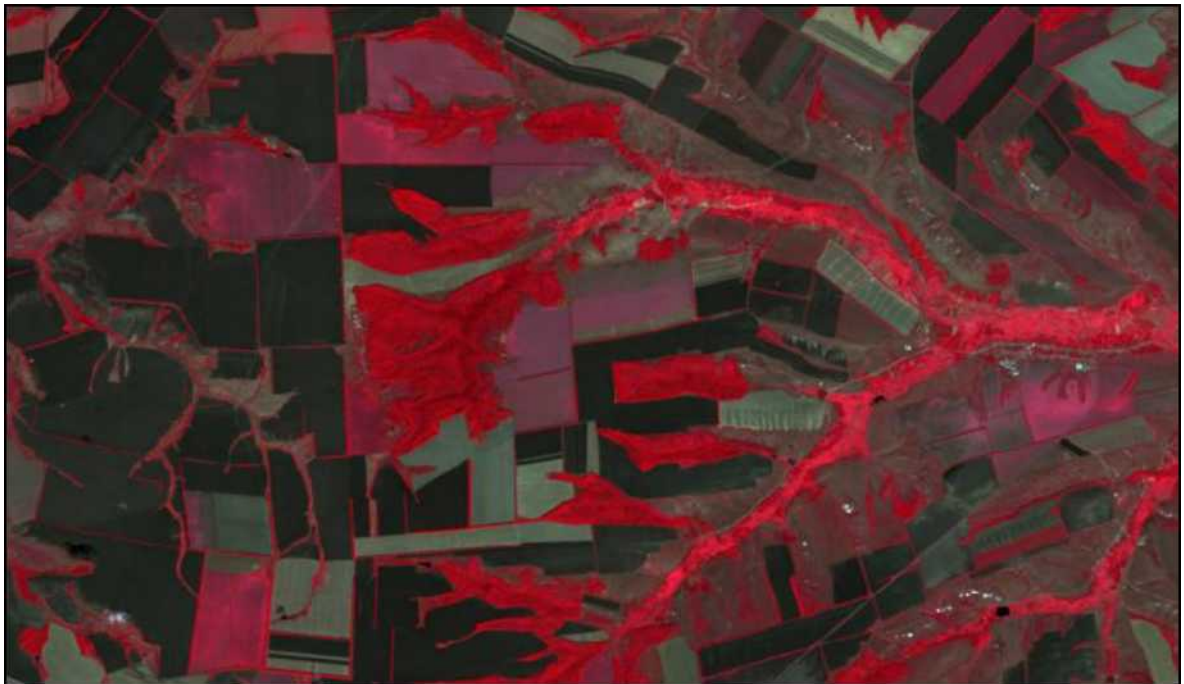


## Комбінації каналів

Для фото-інтерпретації знімків використовують 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 - коричневою і жовтою, дороги - сірими, берегові лінії - білявими.



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 - зелено-блакитна, 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 корисними 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

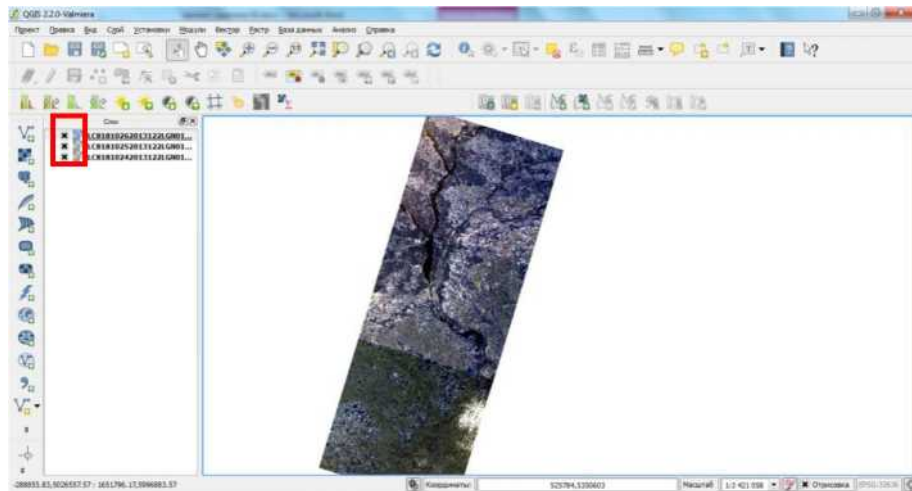


Комбінація каналів 6-5-2 використовується для відображення здорової рослинності в яскраво зелених тонах. Відтінки бурого і рожевого означають відкритий ґрунт, коричневі та оранжеві тони характерні для розрідженої рослинності. Суха рослинність має помаранчевий колір, а вода- блакитний. Пісок, ґрунт і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



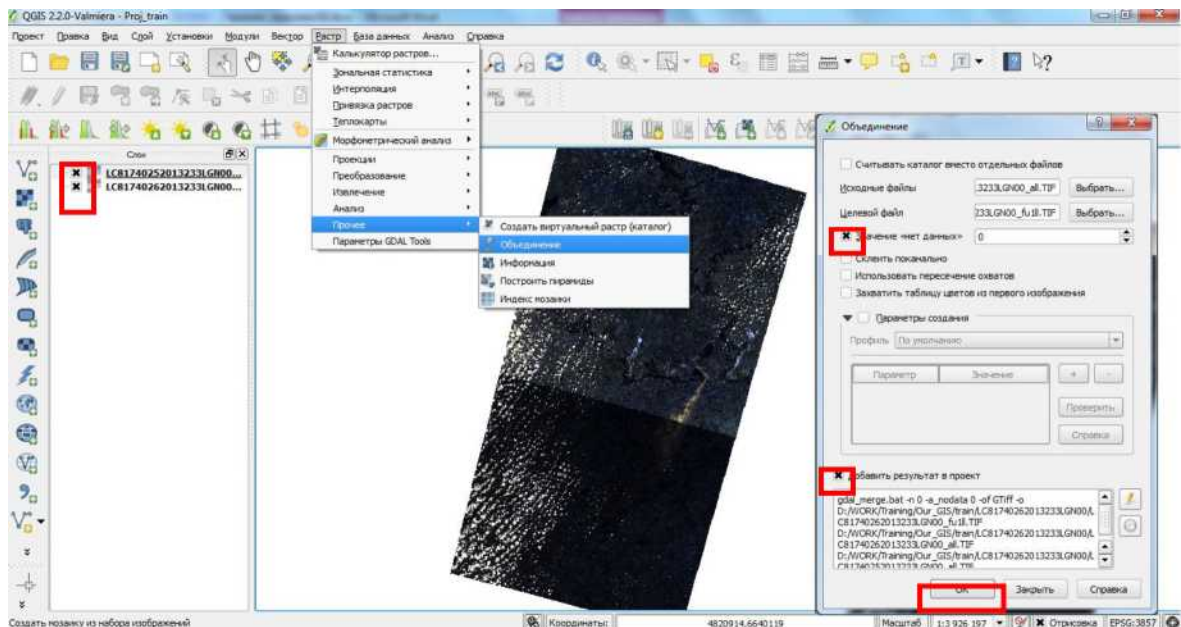
### **Базові операції з супутниковими зображеннями**

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. Цей же інструмент використовується для створення мультиспектральних зображень. Для виконання операції об'єднання слід перейти до пункту «Растр»-«Інше»-«Об'єднання».

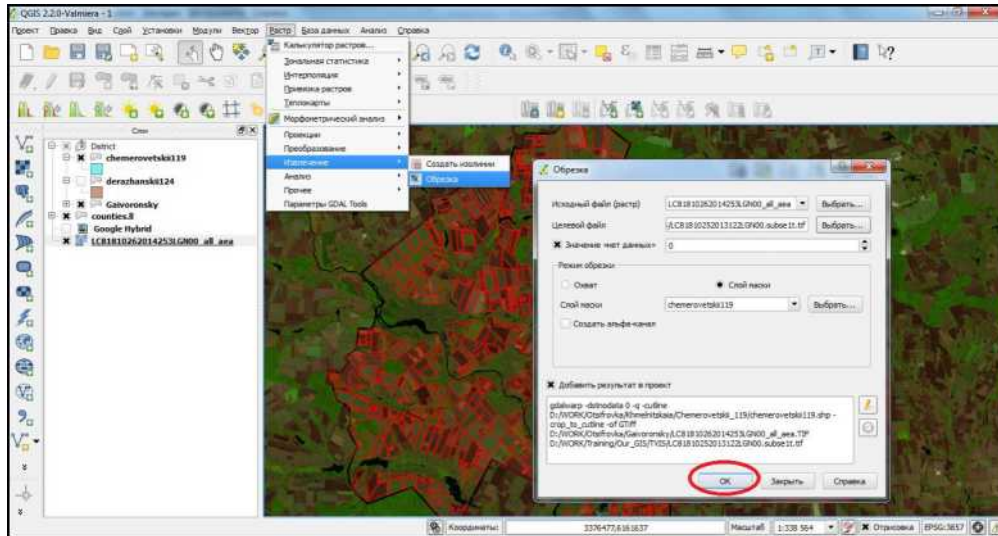
В цільовий файл слід записати зображення, які будуть склеюватися, а в цільовий - назву результуючого файлу. Поставити мітку напроти поля значення «немає даних». Результуюче зображення можна додати одразу в ГІС-систему, поставивши відповідну мітку навпроти «Додати результат в проект».



## Обрізання по замкненому векторному контуру (полігону)

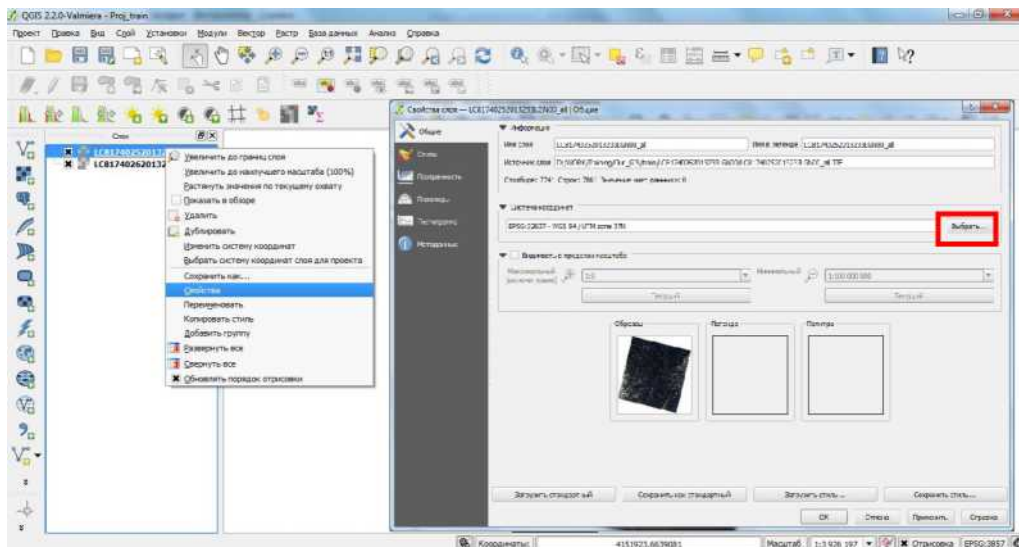
Інструмент «Обрізка» дозволяє вирізати растрові зображення на основі існуючих векторних меж, що введено вручну або з карти, або меж, що

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.

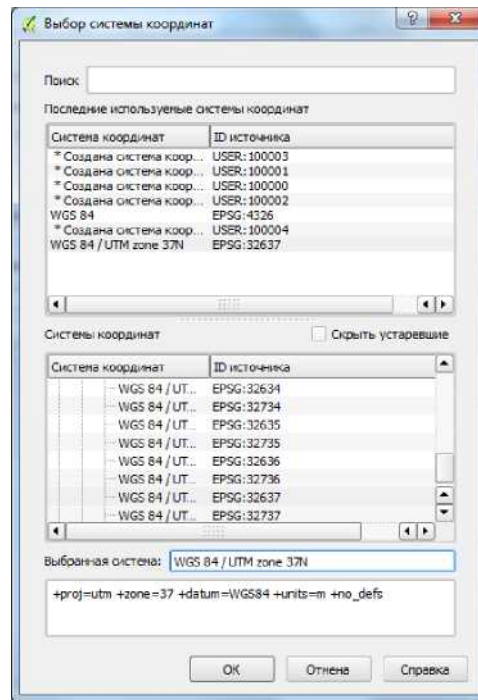


## Зміна проєкцій векторного та растрового шарів

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, проєкцію), але не вносить змін до метаданих.

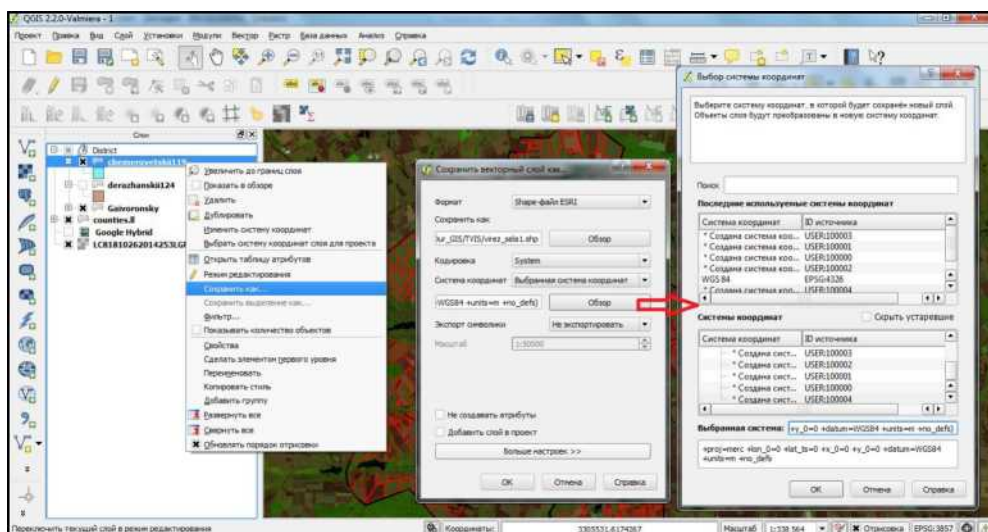


Після чого обрати необхідну систему координат, яка потрібна для роботи зі знімком.



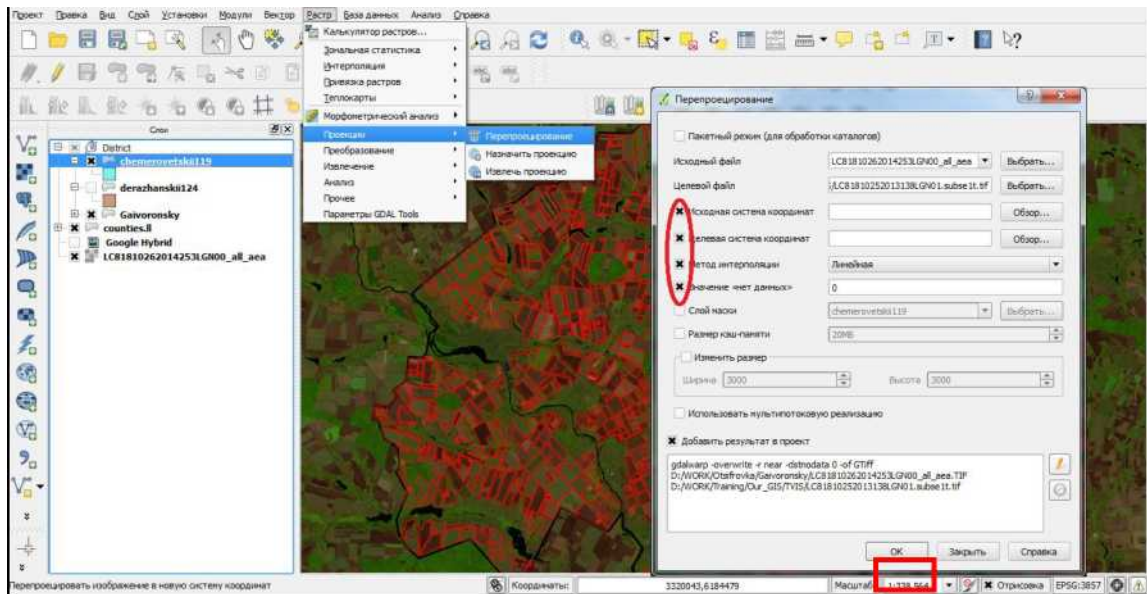
Якщо в проект додається перший шар з відмінною (від стандартної) системою координат, то QGIS виставить цю систему для даного проекту «за замовчуванням». Перепроєктування «на льоту» не змінює проєкції самого шару, а лише на основі відомих параметрів трансформує його в необхідну проєкцію.

Для того, щоб змінити проєкцію векторного шару та отримати новий (перепроєктований), слід використати пункт контекстного меню «Зберегти як». Для вибору проєкції в пункті «Система координат» потрібно обрати «Обрана система координат», та натиснувши «Обзор». Відкриється додаткова таблиця, в якій слід вибрати із списку проєкцій необхідну.



Для того, щоб змінити проєкцію растрових зображень, слід обрати пункт

«Растр» - «Проекції» - «Перепроєктування». Вибрати в «Вихідний файл» зображення, що треба перепроєктувати, а в цільовий вказати шлях результуючого.



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

### 1.3. 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.

### 1.4. 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](https://docs.nextgis.ru/docs_ngqgis/source/intro.html)



## Лабораторна робота №2

### Побудова карт вегетаційного індексу NDVI засобами QGIS

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

#### 2.1. 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).

#### 2.2. Порядок виконання роботи

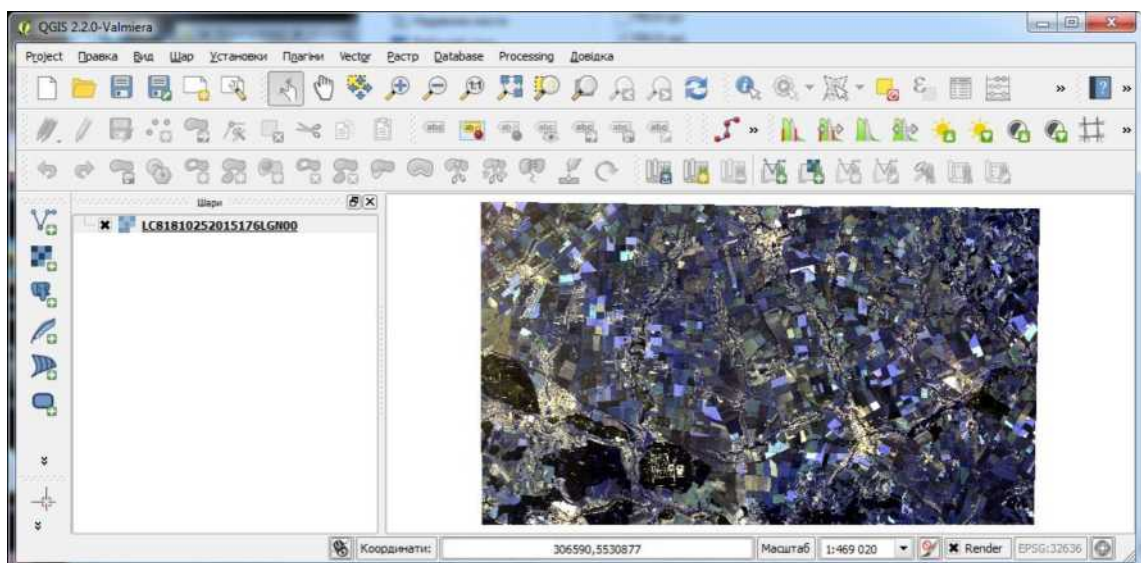
1. Побудувати карту NDVI на основі супутникового зображення (користуючись даними попередньої роботи).
2. Побудувати карту NDVI для окремих полів господарства.
3. Обраховувати середнє значення індексу в розрізі полів господарства.

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

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

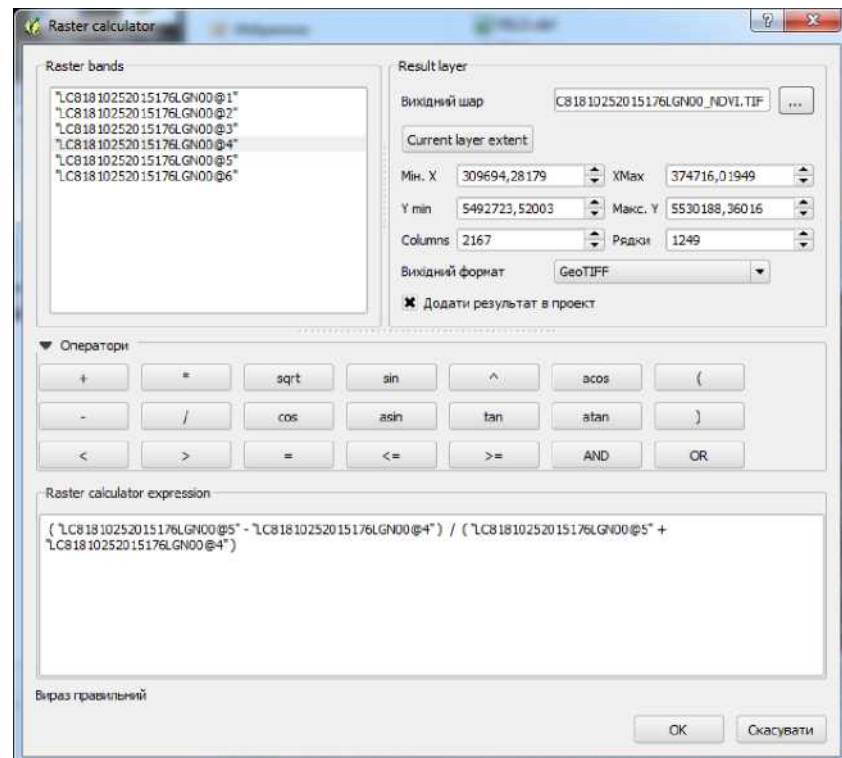
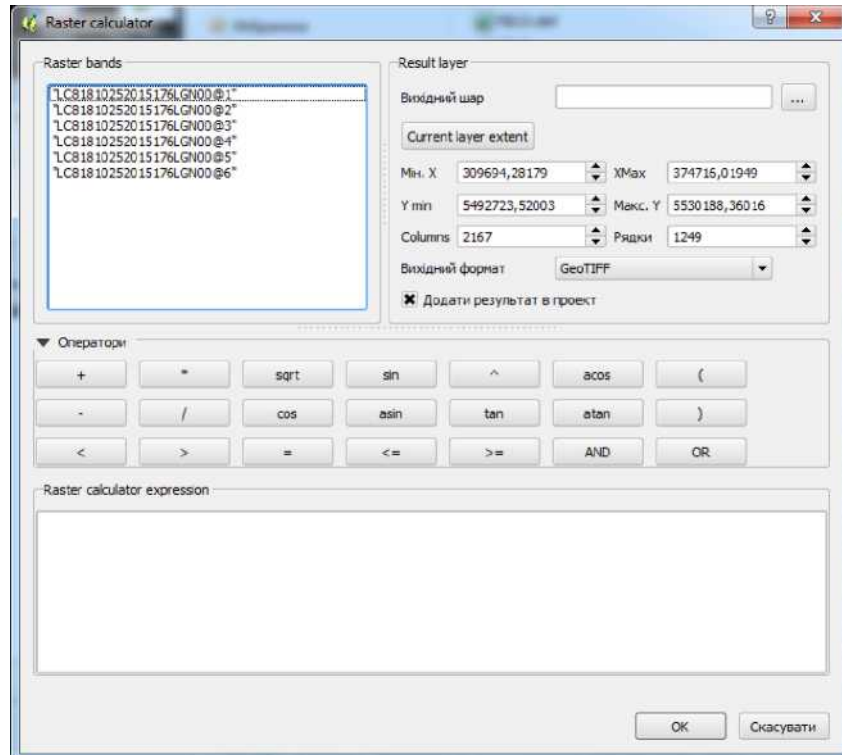
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	<b>Band 4 - Red</b>	0.64 - 0.67	30
	<b>Band 5 - Near Infrared (NIR)</b>	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.



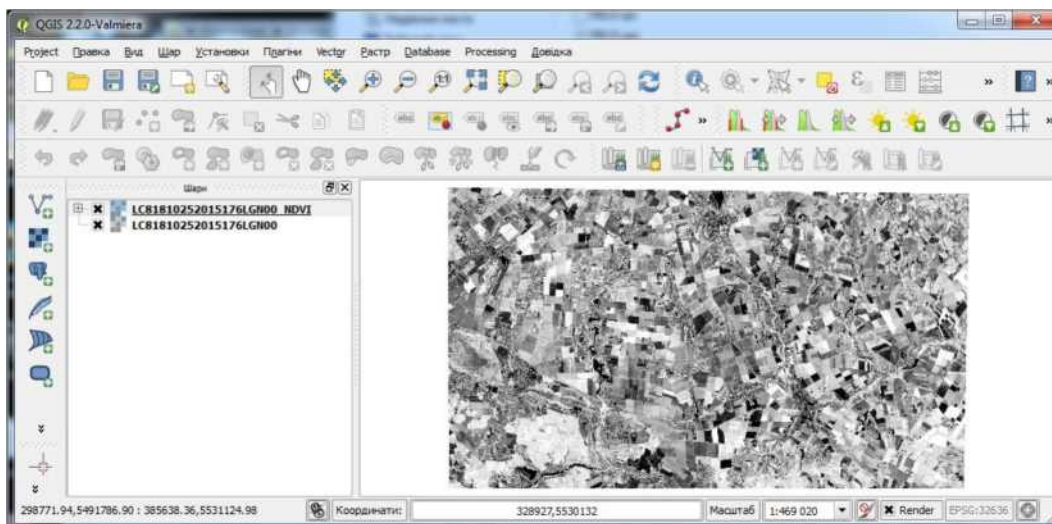
1. Для проведения побудови карти NDVI відкриємо: *Меню Растр -> Калькулятор растрів.*

2. В поле «Вираз» пишемо формулу NDVI: («LC8xxxxxx20xxxxxLGN00B5 @ 5» - «LC8xxxxxx20xxxxxLGN00B4 @41») / («LC8xxxxxx20xxxxxLGN00B5 @ 5» + «LC8xxxxxx20xxxxxLGN00B4 @ 5»). Формат виводу GeoTIFF.

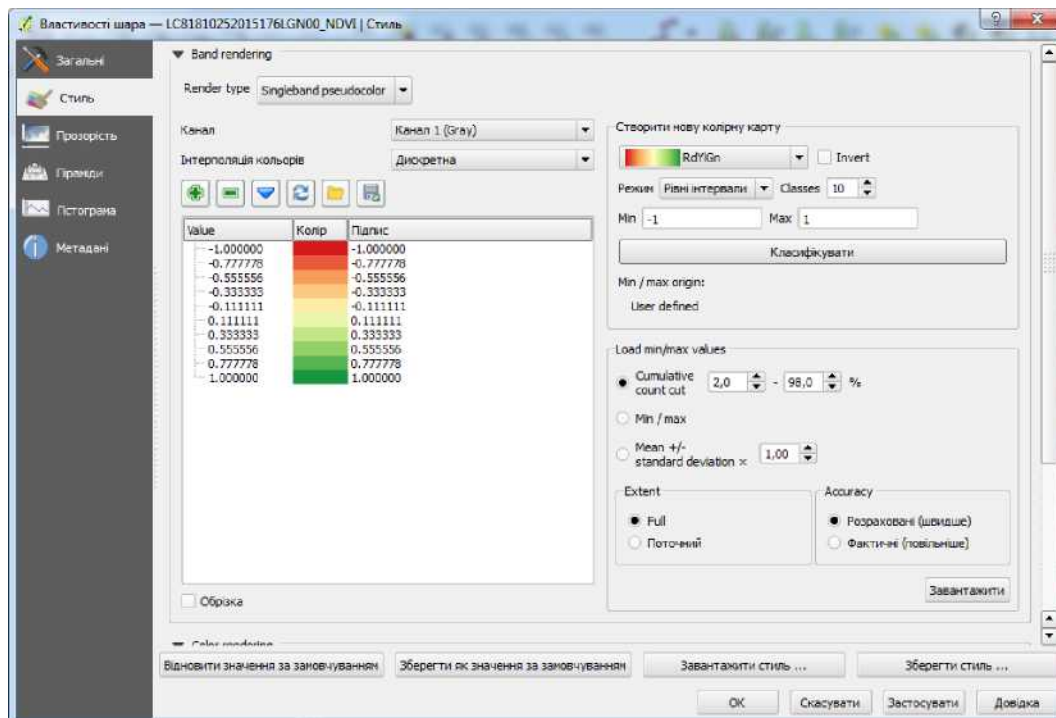


**Примітка!** Під час збереження, уникайте використання кирилиці, пробілів та інших розділових знаків в назвах файлів.

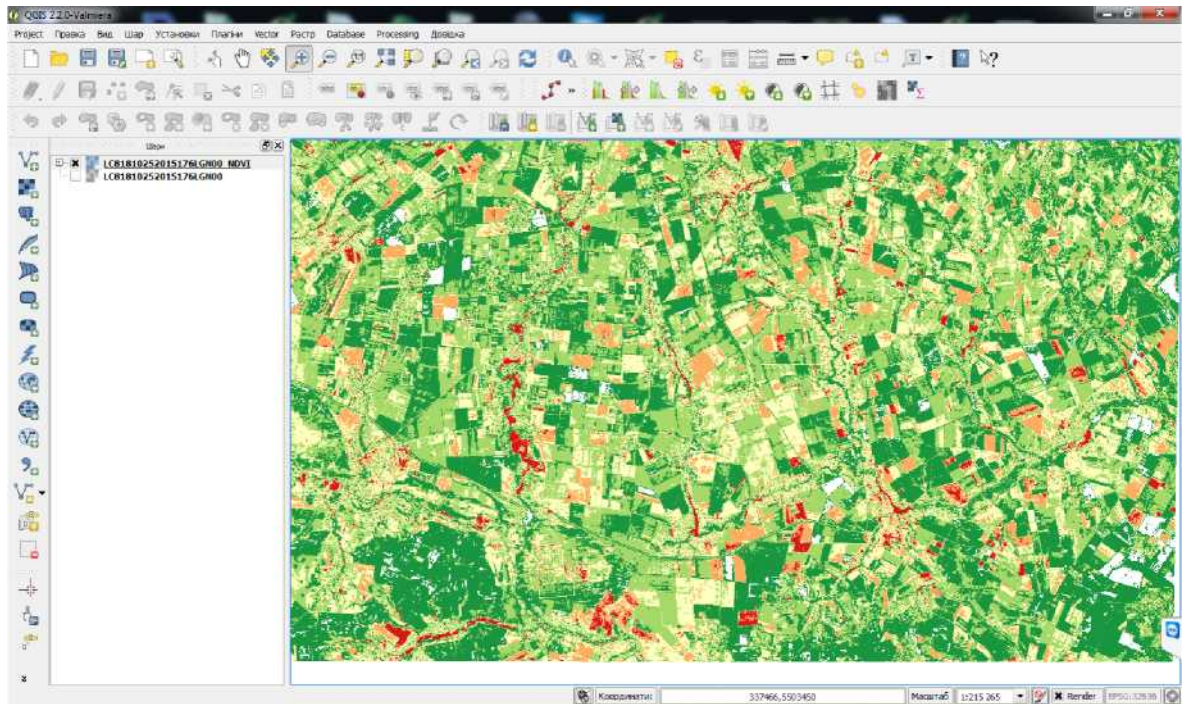
3. Створену карту завантажуюмо в проект. За замовчуванням, отримана карта NDVI, відобразатиметься в режимі Grayscale.



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



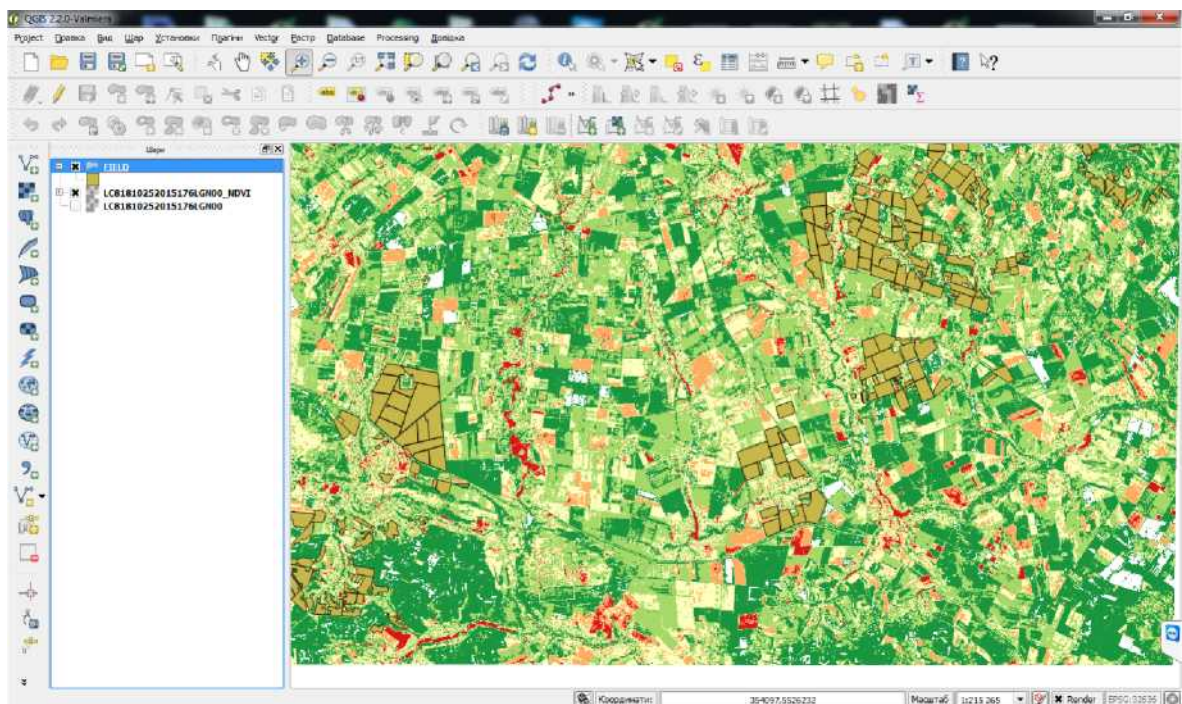
8. Розглянемо побудовану карту, та проаналізуємо її.

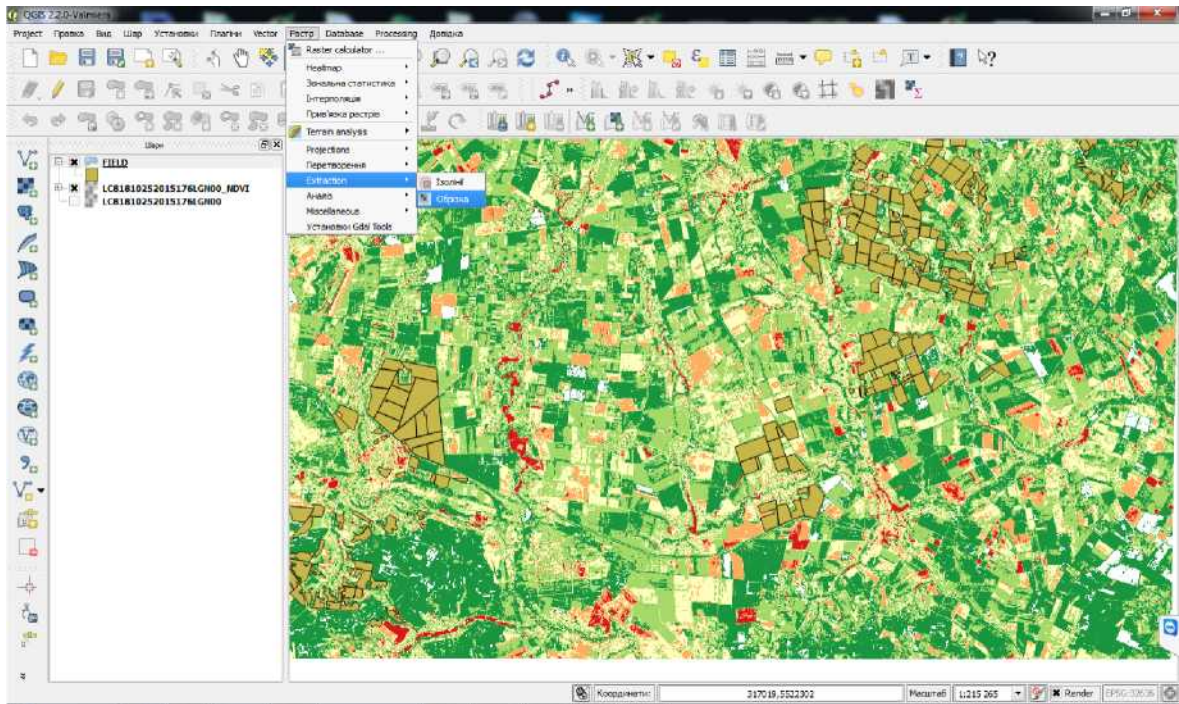


## Побудова карти NDVI для полів господарства

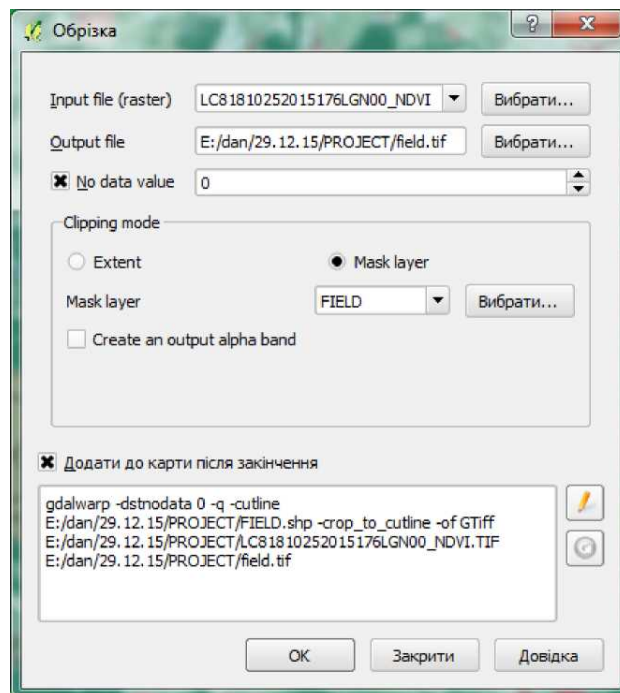
Для побудови карти NDVI в розрізі окремих полів господарства, використаємо векторні дані - контури полів. Розглянемо приклад. Додамо контури полів в проект. Для цього, натиснемо кнопку «Додати векторний шар» та вкажемо шлях до файлу «FILED.SHP».

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



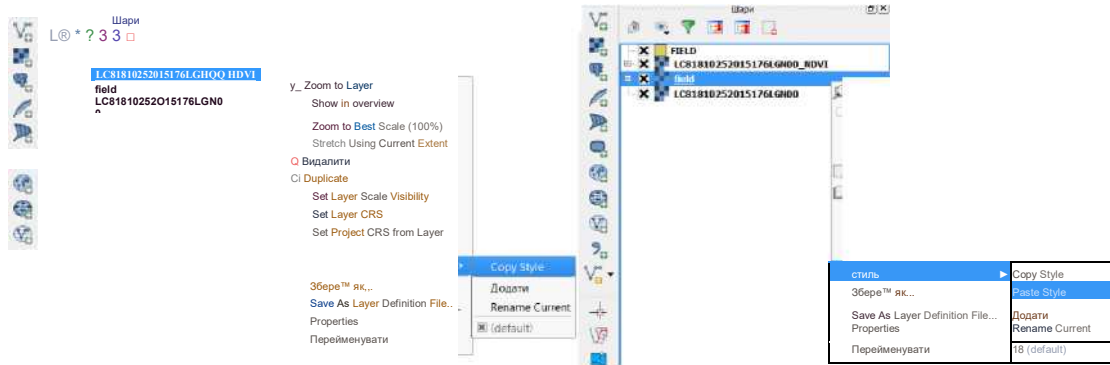


Задаємо ім'я вихідного файлу, та оберемо векторний файл на основі якого буде виконана обрізка карти. В даному випадку це файл із межами полів «FIELD».

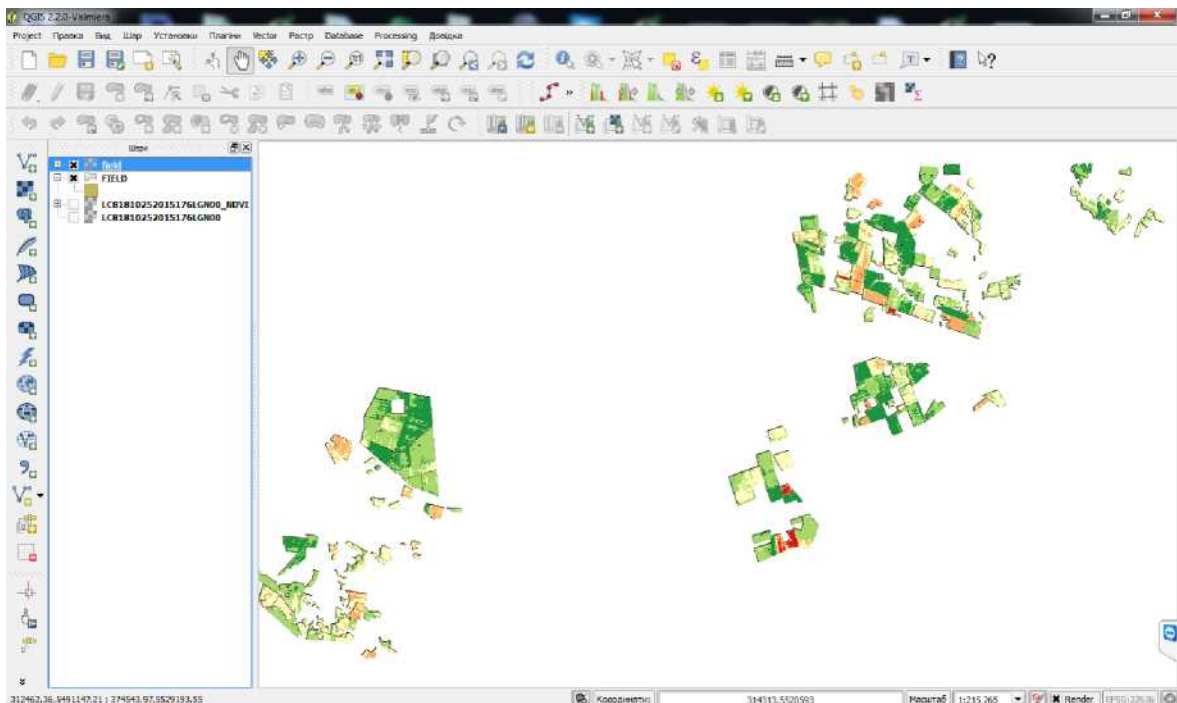


Завантажимо отриманий файл у проект, ( він автоматично буде доданий до проект у випадку встановлення відмітки «Додати до карти після закінчення»).

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

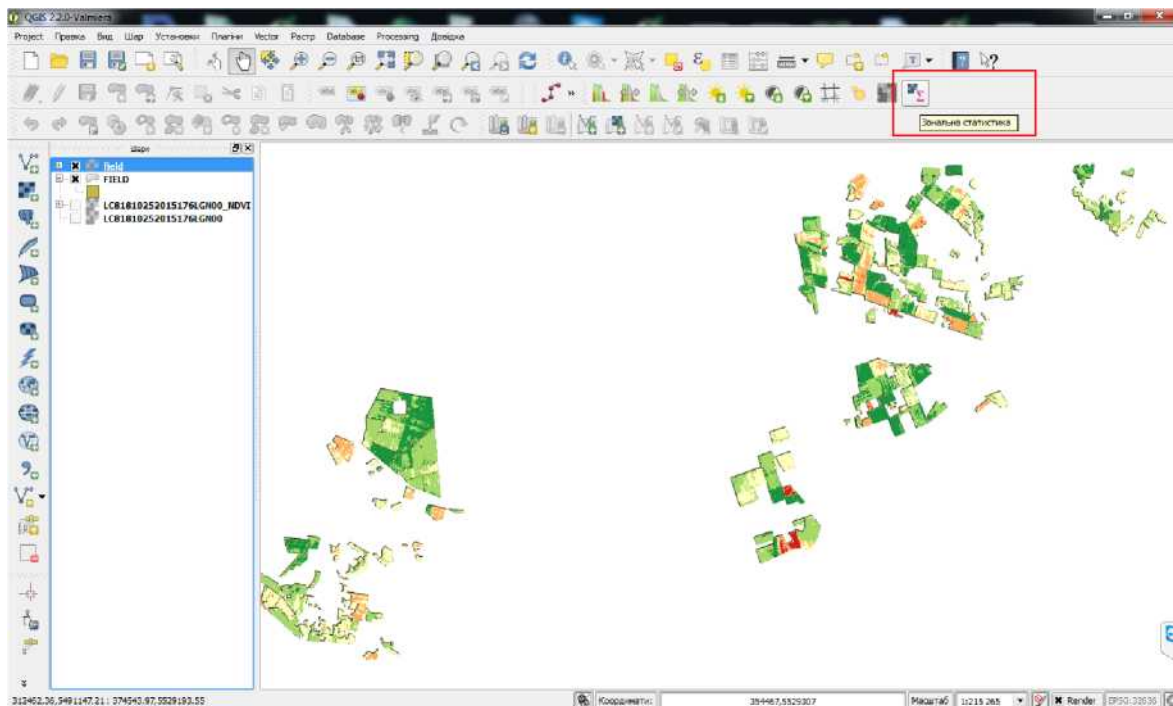


Проаналізуйте отриманий результат. Порівняйте вегетацію полів із супутниковим знімком.

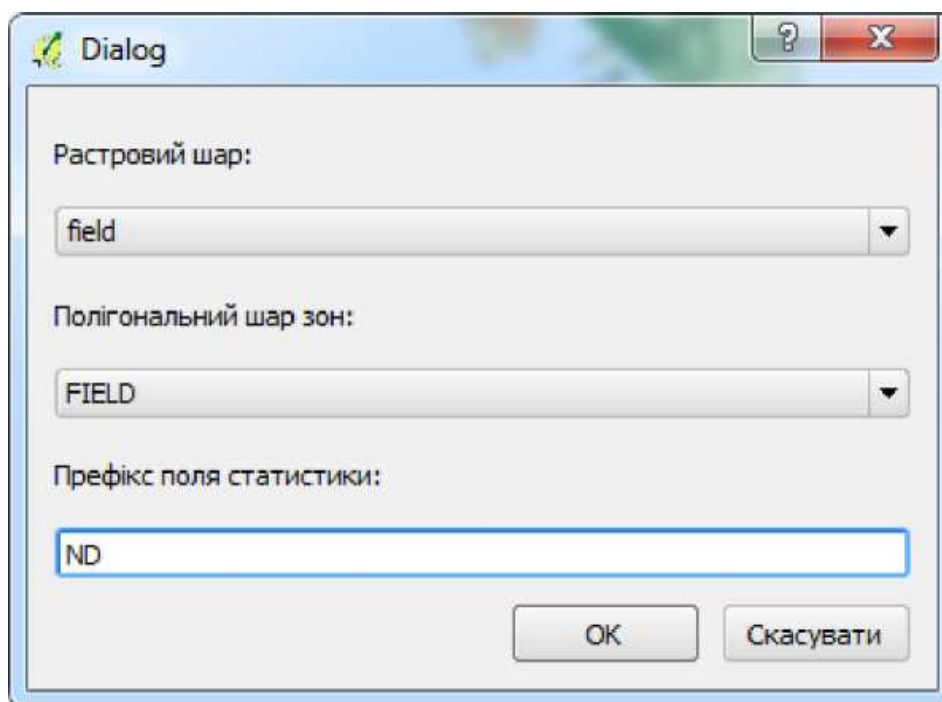


## Обрахунок середнього значення індексу NDVI в розрізі полів господарства

Обрахуємо статистичні значення для полів. 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»).



Відкриваємо 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* -> *Градуйований список*. В формі *Поле* обираємо колонку із середнім значенням NDVI. Задаємо градієнт із представленого списку або створюємо власний.

Переглядаємо отриманий результат, проаналізуємо відносно побудованої карти та вхідного знімка, що використовувався .

Властивості шару — FIELD | Стиль

Layer rendering

Layer transparency: 0

Layer blending mode: Normal

Feature blending mode: Normal

Градуйований знак

Поле: NDmean

Символ: Change...

Класів: 5

Градієнт: L

Invert:

Рейон: Рівні інтервали

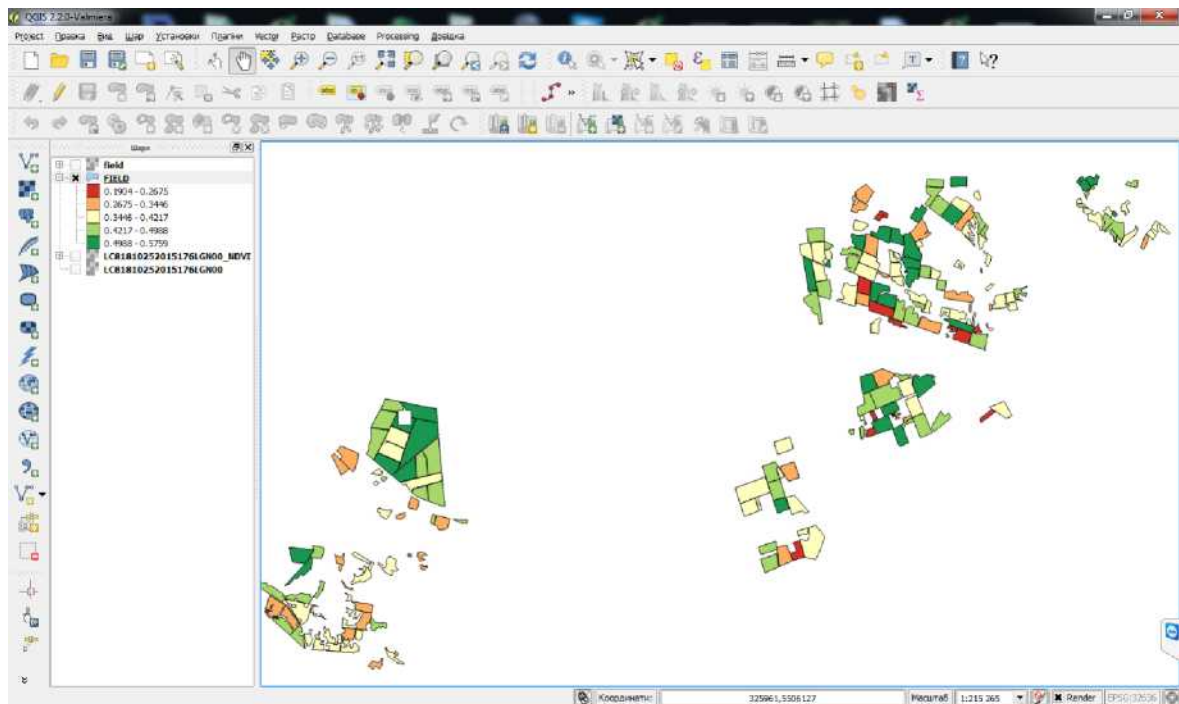
Symbol	Value	Підпис
	0.1904 ... 0.2675	0.1904 - 0.2675
	0.2675 ... 0.3446	0.2675 - 0.3446
	0.3446 ... 0.4217	0.3446 - 0.4217
	0.4217 ... 0.4988	0.4217 - 0.4988
	0.4988 ... 0.5759	0.4988 - 0.5759

Класифікувати | Додати клас | Видалити | Видалити все

Додатково

Завантажити стиль ... | Зберегти як значення за замовчуванням | Відновити значення за замовчуванням | Save Style

OK | Скасувати | Застосувати | Довідка



### 2.3. 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).

### 2.4. Контрольні запитання

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

### 2.5. 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 покриття для території України

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

#### 3.1. Теоретичні відомості

Тренди змін земного є одним із важливих індикаторів, які дозволяють оцінити ступінь деградації ґрунтів - 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 (ЦМР) можна визначити вагомість тих чи інших змін землекористування на ерозійні процеси. Зокрема, розміщення лісових насаджень в значній мірі сприяє укріпленню ґрунтів на схилах.

#### 3.2. Приклад

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

Корисним може бути курс по обробці растрових даних із використанням бібліотек мови R: <https://geoscripting-wur.github.io>

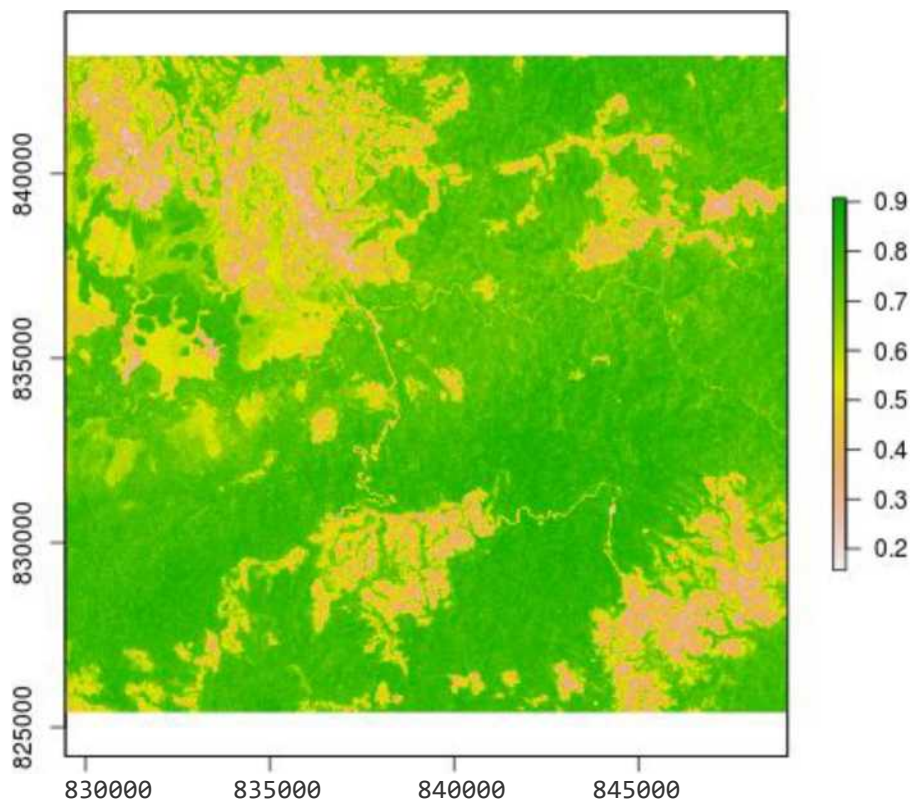
```
download.file(url = 'https://raw.githubusercontent.com/GeoScripting-
WUR/IntroToRaster/gh-pages/data/gewata.zip', destfile = 'gewata.zip', method =
'auto')
```

```
# In case the download code doesn't work, use method = 'wget'
## Unpack the archive
unzip('gewata.zip')
```

```
# When passed without arguments, list.files() returns a character vector, listing
the content of the working directory
```

```
list.files()
# To get only the files with .tif extension
list.files(pattern = glob2rx('*.*tif'))
# Or if you are familiar with regular expressions
list.files(pattern = '^.*\\.tif$')
```

```
gewata <- brick('LE71700552001036SGS00_SR_Gewata_INT1U.tif') ## coord. ref. :
+proj=utm +zone=36 +ellps=WGS84 +units=m +no_defs
ndvi <- (gewata[[4]] - gewata[[3]]) / (gewata[[4]] + gewata[[3]]) plot(ndvi)
```



```
#Відсіювання даних
```

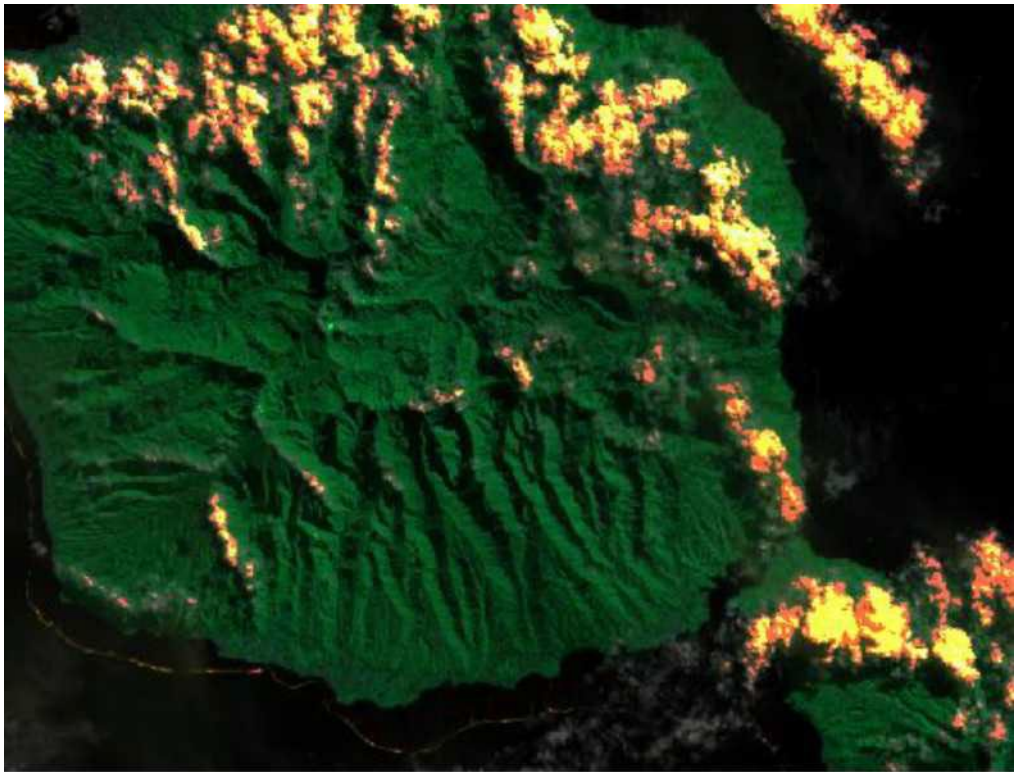
```
## Download the data
```

```
download.file(url='https://raw.githubusercontent.com/GeoScripting-
WUR/IntroToRaster/gh-pages/data/tahiti.zip', destfile='tahiti.zip', method='auto')
unzip(zipfile='tahiti.zip')
```

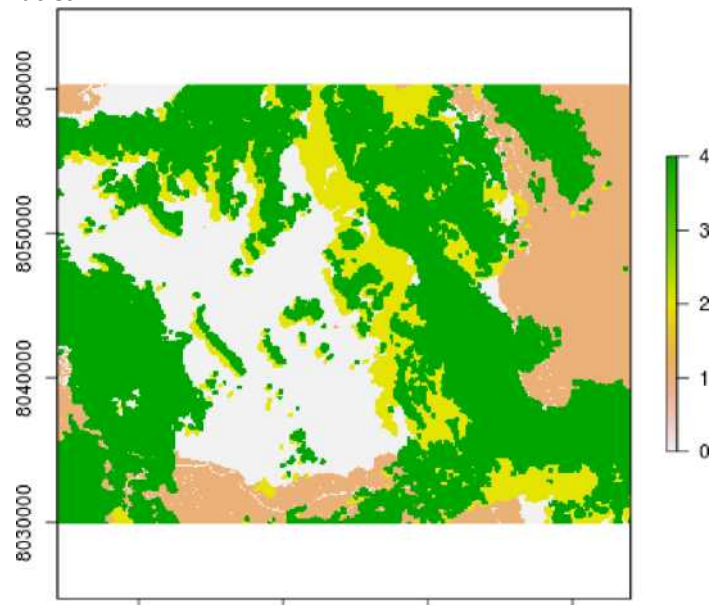
```
## Load the data as a RasterBrick object and investigate its content tahiti <-
brick('LE70530722000126_sub.grd')
```

```
Tahiti
```

```
## Display names of each individual layer
```



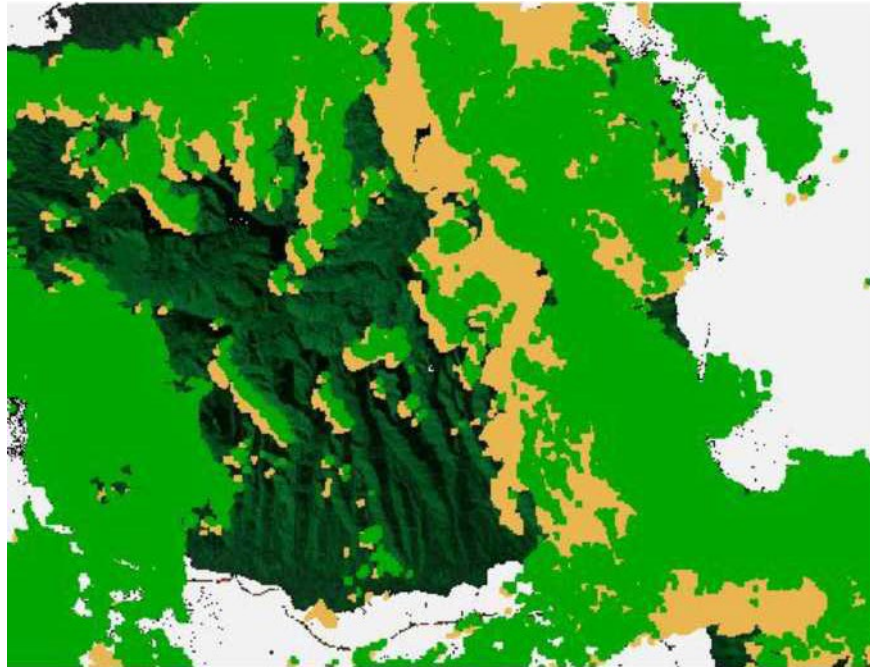
```
names(tahiti)
## Visualize the data
```



```
# Виділення маски хмар за каналом №7 із зануленням захмарених пікселів ##
Extract cloud layer from the brick cloud <- tahiti[[7]]
```

```
## Replace 'clear land' with 'NA' cloud[cloud == 0] <- NA
```

```
## Plot the stack and the cloud mask on top of each other plotRGB(tahiti, 3,4,5)
plot(cloud, add = TRUE, legend = FALSE)
```



### 3.3. Порядок виконання роботи

1. Проаналізувати карти земного покриття, надані для виконання практичної роботи (30 м для 1990, 2000 та 2010 рр, 10 м для 2016, 2017 рр.)
2. Дослідити переходи лісів у землі сільськогосподарського призначення, лісів у луки та лісів у відкритий ґрунт
3. Агрегувати результати у межах адміністративних одиниць України (на рівні областей)
4. Провести дослідження розподілу переходів за групами висот (до 3°, 3°- 7°, більше 7°)
5. Для областей із значними змінами лісового покриття у відсотковому відношенні провести аналіз структури змін
6. Результати аналізу трендів оформити у вигляді звіту

### 3.4. Додаткові джерела інформації

1. M. S. Lavreniuk, S. V. Skakun, A. J. Shelestov, B. Y. Yalimov, S. L.
2. 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.
3. 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.
4. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, M. Lavreniuk, B. Yalimov, 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

5. 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.

6. <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

7. <http://www2.unccd.int/>

## Лабораторна робота № 4

### Моніторинг стану посівів та прогнозування врожайності

**Мета роботи:** оволодіти навиками аналізу динаміки стану посівів в часі та освоїти процес побудови графіків засобами QGIS; навчитися основам прогнозування врожайності озимої пшениці на основі часових рядів вегетаційного індексу NDVI.

#### 4.1. Теоретичні відомості

Аналіз динаміки стану посівів будемо проводити на основі продукту MOD44CQ. Продукт MOD44CQ являється тематичною картою вегетаційного індексу NDVI, створеною на основі даних MODIS за 16- денний період. Просторове розрізнення карти складає 250м. Кожен піксель тематичної карти обирається з 16-денного композиту за принципом максимального значення NDVI (окрім, звісно, захмарених пікселів, чи пікселів, покритих тінями від хмар). Продукт MOD44CQ не підходить для оперативного аналізу стану посівів, оскільки містить агреговані результати за 16 днів.

В нашому випадку, ми будемо досліджувати динаміку розвитку посівів в розрізі полів, беручи за показник стану посівів - осереднене по полю значення індексу NDVI. Тому, використання продукту MOD44CQ є можливим і доцільним (окрім випадків, коли всі 16 днів досліджувана територія перебувала під впливом атмосферних явищ). Для виконання даної роботи кожному необхідно завантажити супутникові дані MODIS MODQ44A.

Отримати прогноз врожайності озимої пшениці для обраного регіону (на обласному чи районному рівнях, або ж на рівні господарства) незалежно від будь-яких зовнішніх факторів, а також максимально точно і швидко.

В якості вхідних даних для побудови прогнозів врожайності будемо використовувати два джерела даних - карти вегетаційного індексу NDVI (для посівних територій в межах району/області, або ж територій полів господарства), а також статистичні дані про врожайність оз. пшениці.

Для прогнозування врожайності озимої пшениці використаємо параметричний (регресійний) підхід. Тобто, прогноз обраховуватиметься за формулою:

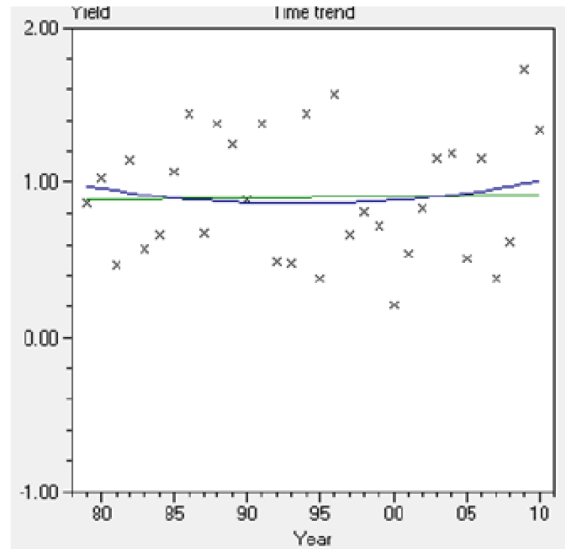
$$CropYield = T + f(NDVI_j),$$

де  $T$  - компонента часового тренду,  $f(NDVI_j)$  - відхилення від тренду, обраховане як функція від значення індексу NDVI.

Під трендом ми розумітимемо функцію, яка описує зміну в часі (з 2000 по 2013 рр.) врожайності озимої пшениці (на основі статистичних даних про



врожайність).



- ✕ - врожайність оз. пшениці за конкретний рік;
- лінійний тренд;
- квадратичний тренд.

В якості предиктора (параметра, на основі якого будуватиметься прогноз) будемо використовувати значення вегетаційного індексу NDVI, для досліджуваної території, отримані за певну декаду вегетаційного періоду.

Варто зауважити, що значення NDVI, отримуються на основі даних MODIS та осереднюються по полях господарства, або ж по масці посівів (в нашому випадку - для області). Маска посівів, отримана з продукту GlobCover - глобальної карти землекористування, створеної в 2009 році Європейським космічним агентством. Вхідними даними для прогнозування буде таблиця (БД MS Access) (табл. 1.)

Таблиця-1

Вхідна інформація для прогнозування врожайності.

DATA_FOR_YIELD_FORECAST					
REG_MAP_ID	YEAR	DECADE	STAT_CROP_NO	INDICATOR_CODE	INDICATOR_VALUE
4	2000	5	1	NDVI	0,0359457892381
4	2000	7	1	NDVI	0,0843356761552
4	2000	9	1	NDVI	0,235280930926
4	2000	10	1	NDVI	0,395260158096
4	2000	12	1	NDVI	0,523650820763
4	2000	13	1	NDVI	0,532529924577

де REG\_MAP\_ID - ідентифікатор області, YEAR - рік, DECADE - декада року, STAT\_CROP\_NO - ідентифікатор статистичних даних,

INDICATOR\_CODE - код предиктору, INDICATOR\_VALUE - значення предиктору.

Таблиця STAT\_REGION (табл. 2.) містить статистичні показники по врожайності.

Таблиця-2

Статистична інформація щодо врожайності оз. пшениці.

STAT_REGION				
REG_MAP_ID	STAT_CROP_NO	YEAR	AREA_CULTIVATED	OFFICIAL_YIELD
4	1	2000	0	17
4	1	2001	0	43,2
4	1	2002	0	37
4	1	2003	0	6,3

де OFFICIAL\_YIELD -значення врожайності культури за конкретний рік (YEAR), отримане з даних офіційної статистики.

## 4.2. Порядок виконання роботи

1. Провести аналіз динаміки стану посівів на базі продуктів MODQ44A (NDVI), отриманих на основі даних MODIS.
2. На основі проведеного аналізу стану посівів побудувати графіки зміни вегетаційного індексу NDVI засобами QGis.
3. Провести порівняльний аналіз розвитку посівів на різних полях.
4. Побудувати прогноз врожайності на основі часових рядів вегетаційного індексу NDVI.

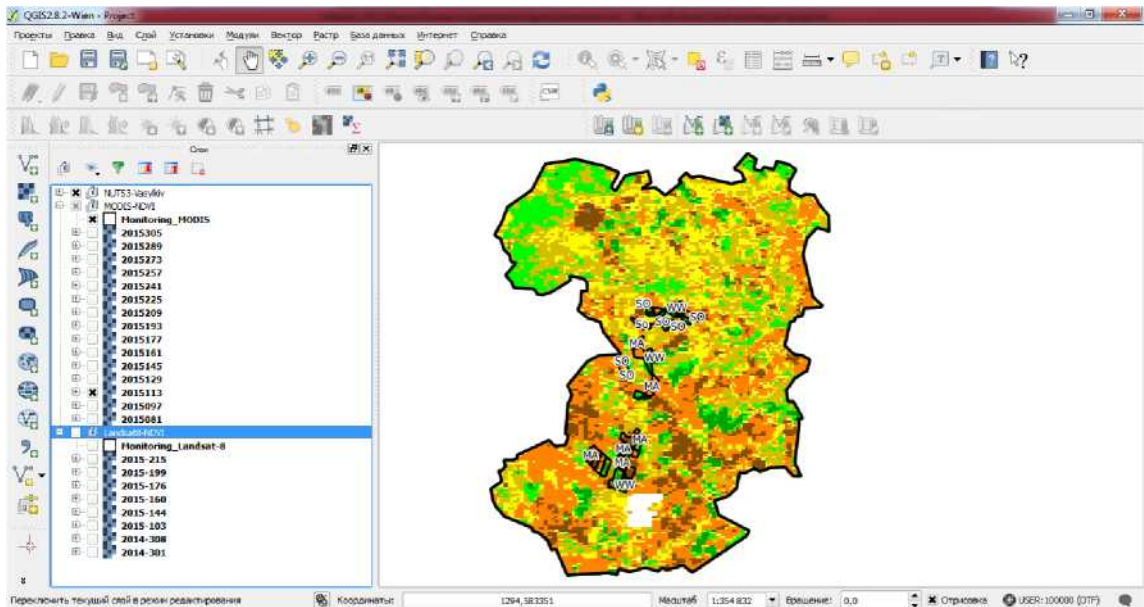
### Аналіз динаміки стану посівів на полях

Розглянемо приклад роботи із готовим проектом. Запустимо QGis та відкриємо проект ““Project.qgs””. В проекті містяться 3 групи об’єктів:

- **NUTS3-Vasylkiv**
  - **Vasylkiv** - векторні контури Васильківського р-ну Київської області;
- **MODIS-NDVI** - набір даних MODIS для аналізу динаміки стану посівів
  - **Monitoring\_MODIS** - контури досліджуваних полів господарства;
  - **2015\*** -8-бітні тематичні карти вегетаційного індексу NDVI (MOD44CQ) за вегетаційний сезон 2015 року;
- **Landsat8-NDVI** - набір даних Landsat-8 для аналізу динаміки стану

## ПОСІВІВ

- **Monitoring\_Landsat-8** - контури досліджуваних полів господарства;
- **2015\*** - 8-бітні тематичні карти вегетаційного індексу NDVI, створені на основі даних Landsat-8, відзнятих за вегетаційний сезон 2015 року;

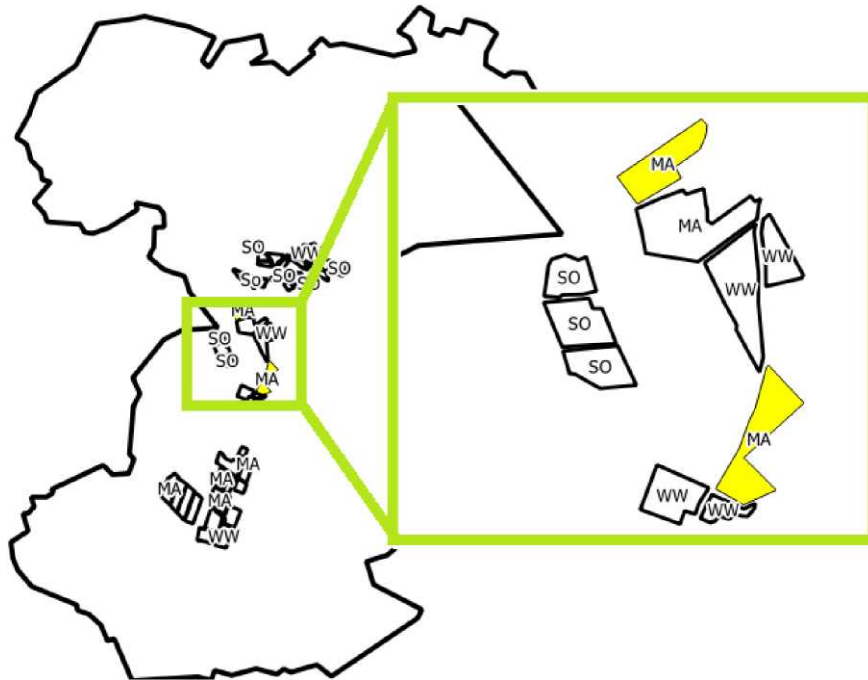


Розглянемо атрибутивну таблицю векторних контурів полів господарства з групи MODIS-NDVI - Monitoring\_MODIS. В даній таблиці містяться наступні записи:


- Id - ідентифікатор поля (ціле число);
- Crop - код культури, що зростала в 2015 році;
- AREA - площа поля, обрахована засобами QGIS;
- Crop\_2 - назва культури, що зростала в 2015 році;
- \*-mean - осереднене по полю значення NDVI, отримане на основі композиту даних від \* дня року;

Зауважте, що карти NDVI 8-бітні, а отже абсолютне значення індексу, може бути отримане шляхом нормування на 255.

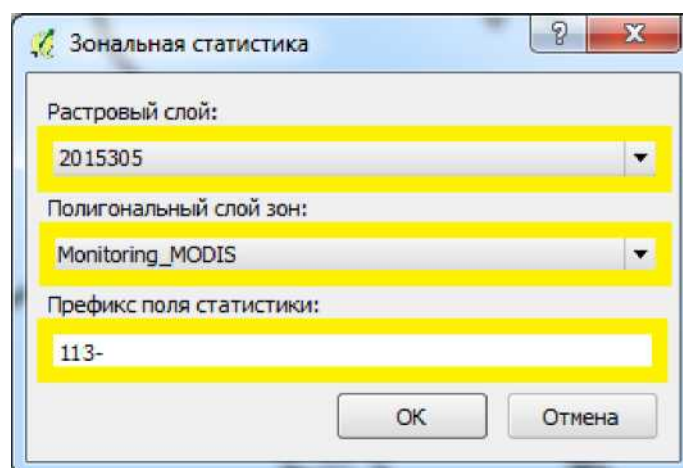
Розглянемо візуально динаміку зміни кольорів палітри NDVI на приклади полів кукурудзи з ідентифікаторами 32 та 39.



### Побудова графіків зміни індексу NDVI в часі

Використовуючи інструмент “Зональна статистика” () можна отримати осереднені значення растрової мапи в межах замкнених векторних контурів, в нашому випадку - контурів полів господарства.

Нагадаємо, як користуватися інструментом “Зональна статистика”. Натиснувши на кнопку інструменту, відкриється віконце, в якому потрібно: в верхньому контекстному меню обрати растровий шар, по якому буде проводитись осереднення, в нижньому контекстному меню обрати векторний шар, по об’єктам якого буде проведено осереднення; обрати префікс (на рисунку “113-”), з яким відповідний стовбець буде внесено в атрибутивну таблицю.



Не зупиняючись детально на даному процесі, перейдемо до атрибутивної таблиці векторного шару **Monitoring\_MODIS**. Як Ви можете бачити, в

атрибутивній таблиці вже приведені осереднені по полях значення індексу NDVI за 81, 97, 113, 129, 145, 161, 177, 193, 209, 225, 241, 257, 273, 289 та 305 дні року (з березня по жовтень 2015 року включно).

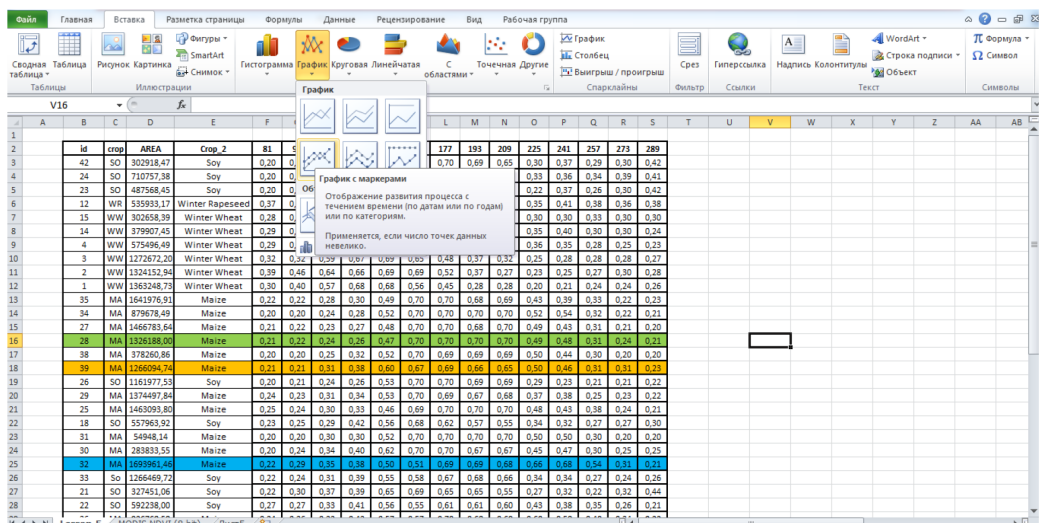
	id	crop	AREA	Crop_2	81-mean	97-mean
0	42	SO	302918.47	Soy	52,000000000000...	68,666666666666...
1	24	SO	710757.38	Soy	52,000000000000...	70,750000000000...
2	23	SO	487568.45	Soy	52,000000000000...	62,71428571428...
3	12	WR	535933.17	Winter Rapeseed	94,333333333333...	102,77777777777...
4	15	WW	302658.39	Winter Wheat	70,750000000000...	109,0000000000...

Оскільки базовий функціонал QGIS не передбачає графічної візуалізації статистичних даних атрибутивних таблиць векторних шарів, скористаємося функціоналом MS Office, а саме програмою MS Excel.

На першому листі Excel таблиці можна бачити значення, взяті з атрибутивної таблиці векторного шару **Monitoring\_MODIS**, QGIS проекту. Єдина відмінність табличних значень полягає в тому, що значення NDVI тут вже нормовані на 255, а з назв стовпчиків осереднених значень NDVI видалена регулярна частина “-mean”.

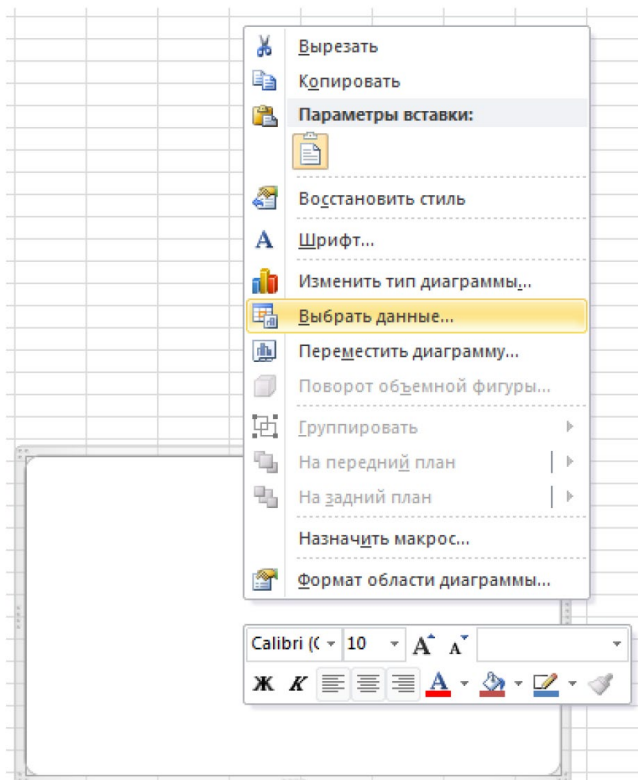
id	crop	AREA	Crop_2	81	97
42	SO	302918,47	Soy	0,20	0,27
24	SO	710757,38	Soy	0,20	0,28
23	SO	487568,45	Soy	0,20	0,25
12	WR	535933,17	Winter Rapeseed	0,37	0,40

Тепер, спробуємо побудувати графіки зміни індексу NDVI в часі. Для цього перейдемо до меню “Вставка” >> “Графік” >> “Графік з маркерами”. В результаті отримаємо порожній графік.

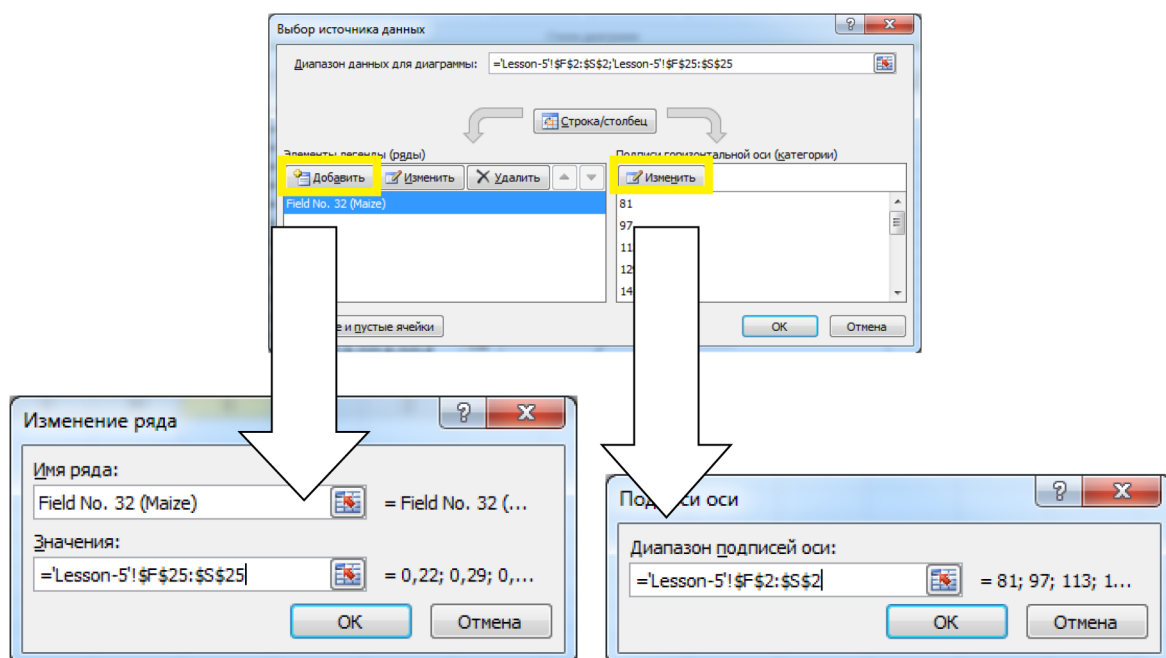


Тепер оберемо діапазони даних для графічного відображення часових змін

NDVI. Для цього натиснемо праву клавішу миші, навівши курсор на область графіка та оберемо пункт “Вибрати дані”.

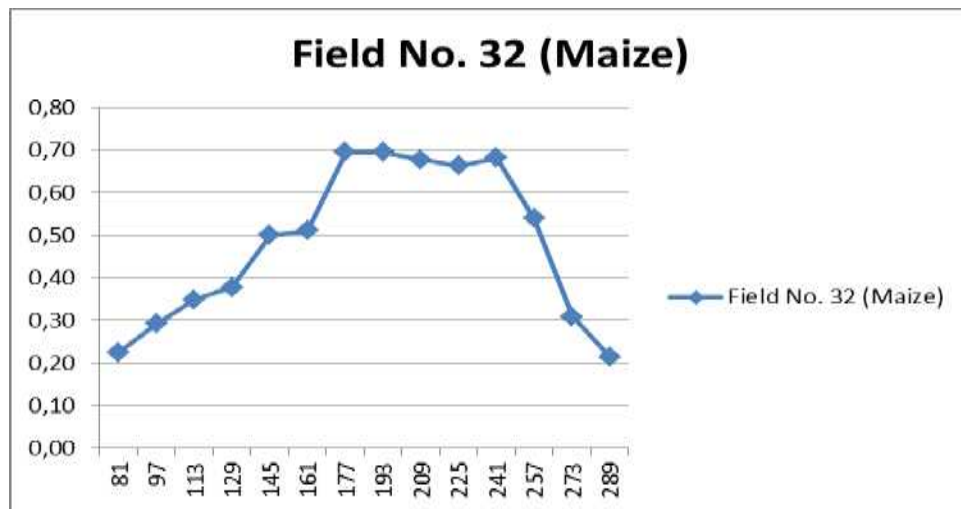


На екрані появиться вікно, в якому через кнопку “Додати” ми оберемо область даних (виділений блакитним 25 рядок таблиці - стовпці з F по S). В полі “*Ім'я ряду*” робочого вікна “*Зміна ряду*” запишемо значення “*=Field No. 32 (Maize)*” та натиснемо кнопку “OK”.



Далі змінимо підписи осі абсцис графіку, для цього в правому вікні “Підписи горизонтальної осі” натиснемо на кнопку “Змінити”. У вікні “підписи осі” в поле “Діапазон” запишемо рядок з днями (*=Lesson-5!\$F\$2:\$S\$2*).

В результаті виконання зазначених дій ми повинні отримати наступний графік, який відобразить зміну вегетаційного індексу NDVI (усередненого по полю №32) протягом вегетаційного сезону 2015 року.



## Порівняльний аналіз розвитку вегетації

Для порівняння розвитку вегетації на різних полях, додамо до вже створеного графіку часові тренди індексу NDVI по полях №39 та №28. Перейдемо до опцій “Вибрати дані” контекстного меню графіку та додамо нові ряди даних (за допомогою кнопки “Додати”). Оберемо 16 та 18 рядки таблиці, виділені зеленим та помаранчевим кольорами. До імен рядів даних додамо *"=Field No. 32 (Maize)"* та *"=Field No. 32 (Maize)"* відповідно. В результаті ми повинні отримати наступний графік.



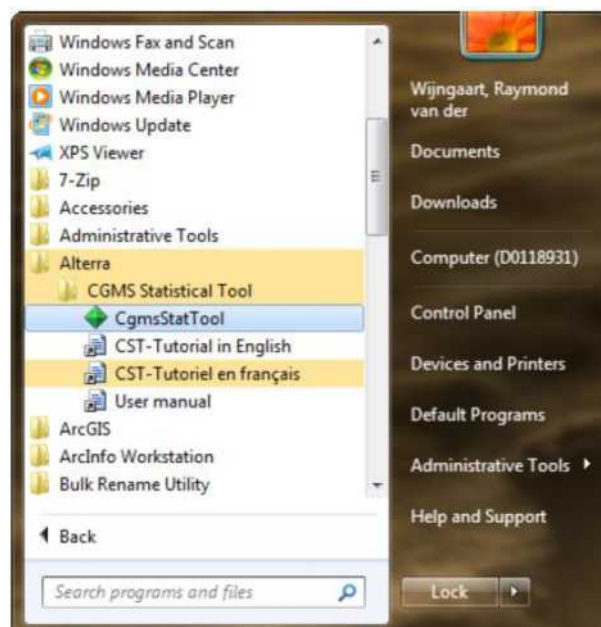
Графік підтверджує наші початкові спостереження щодо зміни в розвитку вегетації на полях №32 та №39. Протягом травня-червня місяця поле №32 розвивається дещо “гірше”, судячи з графіку. Якщо розглянути динаміку розвитку вегетації по полю №28, то починаючи з липня і закінчуючи початком серпня, NDVI набуває максимального насичення для кукурудзи і тримається стало.

Насправді, посіви кукурудзи на полі №39 є забур’янені, і виключно у зв’язку з цим, значення індексу NDVI є такими високими в період червня місяця. Як Ви можете бачити на графіку, стан розвитку посівів (значення NDVI) поля №39 погіршується - значення NDVI не тримається на рівні 0,7, а це означає, що рівень розвитку посівів є гіршим порівняно з двома іншими полями.

## Прогнозування врожайності озимої пшениці

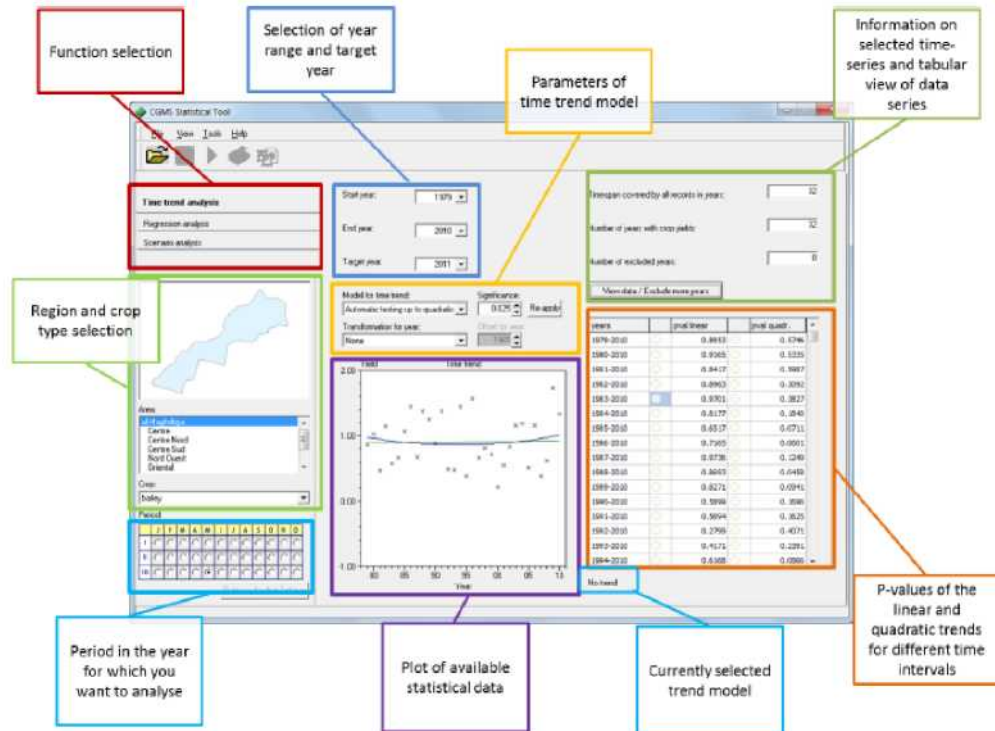
Для моделювання прогнозу врожайності озимої пшениці скористуємося програмним забезпеченням SGMS Statistical Tool. Даний програмний продукт створений в контексті Європейської системи MARS (Major Accident Reporting System) і не розповсюджується як на платній так і на безкоштовній основі.

Розпочнемо роботу з запуску **SGMS Statistical Tool**.



В загальному випадку, робоче вікно програми має наступний вигляд.





В нашому випадку, програма вже містить підключену БД з супутниковою та статистичною інформацією щодо врожайності оз. пшениці по Дніпропетровській області за 2000-2014 рр.

Розглянемо приклад роботи із програмою. Перейдемо до вікна **Region and crop type selection**, та оберемо Ukraine >> Dnipro obl. Переконаємося, що обрана потрібна нам культура (wheat). Наступним кроком оберемо третю декаду квітня для аналізу та побудови регресійної моделі прогнозування врожайності (**Period in the year for which you want to analyse**).



В якості моделі тренду оберемо лінійну - **Parameters of time trend model**

Model for time trend:

Automatic testing up to linear

None  
Linear  
Quadratic  
Automatic testing up to linear  
Automatic testing up to quadratic

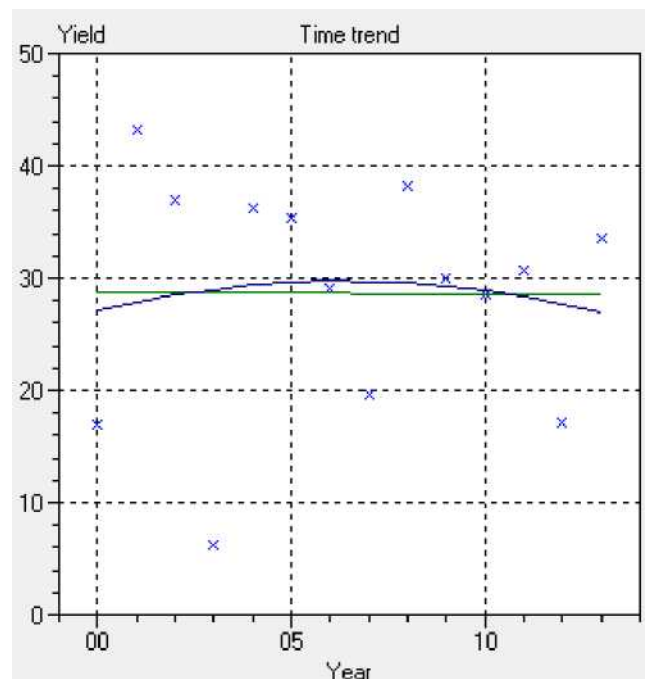
Для побудови прогнозу оберемо набори даних (**Selection of year range and target year**) за 2000 - 2013 рр. Прогноз будемо будувати для 2014 року.

Start year: 2000

End year: 2013

Target year: 2014

На графіку (**Plot of available statistical data**) буде зображений лінійний та квадратичний тренд врожайності, а також статистичні дані щодо врожайності.



*Чому, на Вашу думку, врожайність оз. пшениці найменша в 2003 році?*

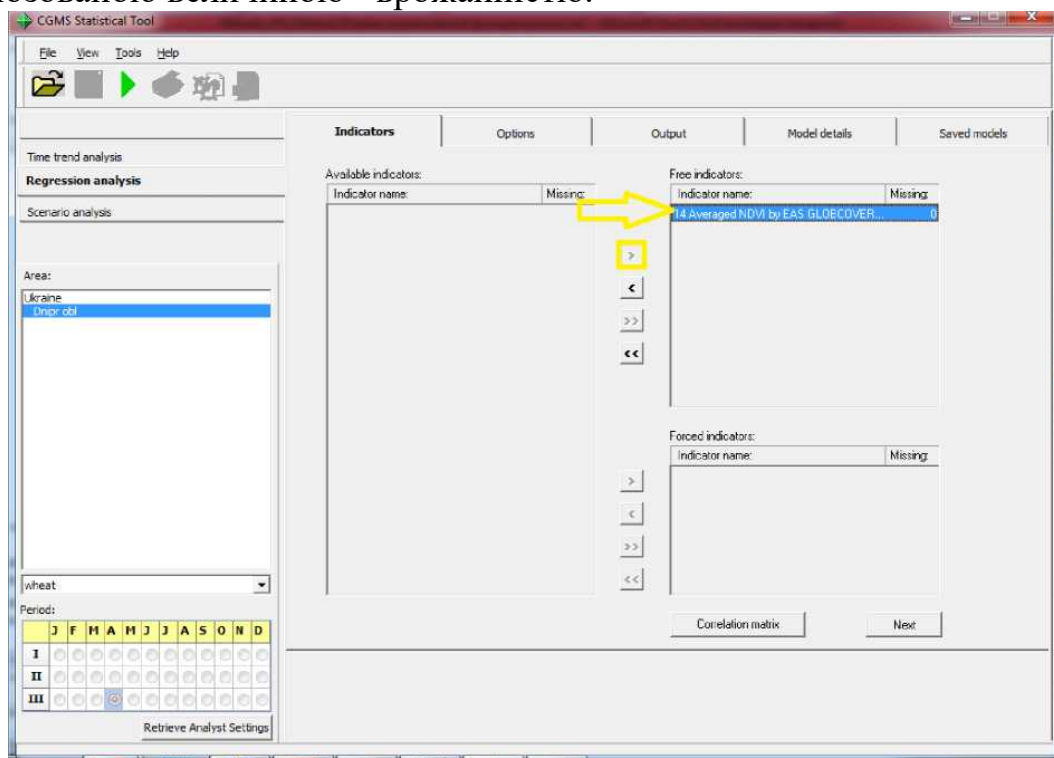
За допомогою кнопки *“View data / Exclude more years”*. Ви можете виключити з огляду набори даних за певні роки. Давайте зробимо це для 2003 року. Відповідний на графіку тренду вже буде зафарбований червоним.

Included	Year	Official Yield	01	14 Averaged NDVI by EAS
<input checked="" type="checkbox"/>	2002	37		* 0.59677467
<input type="checkbox"/>	2003	6.3		* 0.40061326
<input checked="" type="checkbox"/>	2004	36.3		* 0.51355719
<input checked="" type="checkbox"/>	2005	35.4		* 0.51077946
<input checked="" type="checkbox"/>	2006	29.1		* 0.44727336
<input checked="" type="checkbox"/>	2007	19.7		* 0.50477695
<input checked="" type="checkbox"/>	2008	38.2		* 0.63359693
<input checked="" type="checkbox"/>	2009	30		* 0.45841242
<input checked="" type="checkbox"/>	2010	28.5		* 0.52026659
<input checked="" type="checkbox"/>	2011	30.8		* 0.41623015
<input checked="" type="checkbox"/>	2012	17.1		* 0.47560595
<input checked="" type="checkbox"/>	2013	33.5		* 0.61772238
	Target	2014		* 0.61603432

Визначившись з трендом та набором вхідних даних, перейдемо до побудови прогностичної моделі. У вікні **Function selection** перейдемо до пункту **Regression analysis**.

Серед предикторів (**Available indicators**) нам доступний тільки NDVI - **Averaged NDVI by ESA GLOBCOVER**. Оберемо його зі списку та перемістимо до предикторів моделі за допомогою кнопки “>”.

При необхідності (якщо предикторів більше, ніж 1), можна переглянути кореляційну матрицю, і переконатись, які з них добре корелюють з прогнозованою величиною - врожайністю.



	yield	14	year
yield	1.000		
14	0.558	1.000	
year	-0.209	-0.306	1.000

З вкладки предикторів (**Indicators**) перейдемо до вкладки налаштувань прогностичної моделі (**Options**). В верхньому меню оберемо одно- факторну модель (**Single Fee indicators**). У випадку, якщо предикторів більше як один, з увімкненою опцією **Single Fee indicators**, буде створено кілька одно-факторних моделей.

На панелі **Ordering and selection of Models** оберемо **Root mean squared error of prediction** з випадаючого списку, решту налаштувань залишимо без змін.

Оскільки, наперед не відомий знак коефіцієнтів регресійних моделей, на

панелі **Ordering and sign of regression coefficients** жодних змін вносити не будемо.



Перейдемо до вкладки **Output**, та проаналізуємо прогностичну модель, яку ми створили.

Indicators		Options		Output			Model details		Saved models	
Model		R-squared	Residual standard deviation	Root mean squared error for prediction	Prediction for target year	Standard error of prediction	t-values			
consists of no trend (forced) and free:							free indicator			
<input checked="" type="radio"/> 14		31.17	7.14	7.55	35.69	7.77	2.232			
<input type="radio"/> none		0.00	8.24	8.57	30.45	8.55	-			

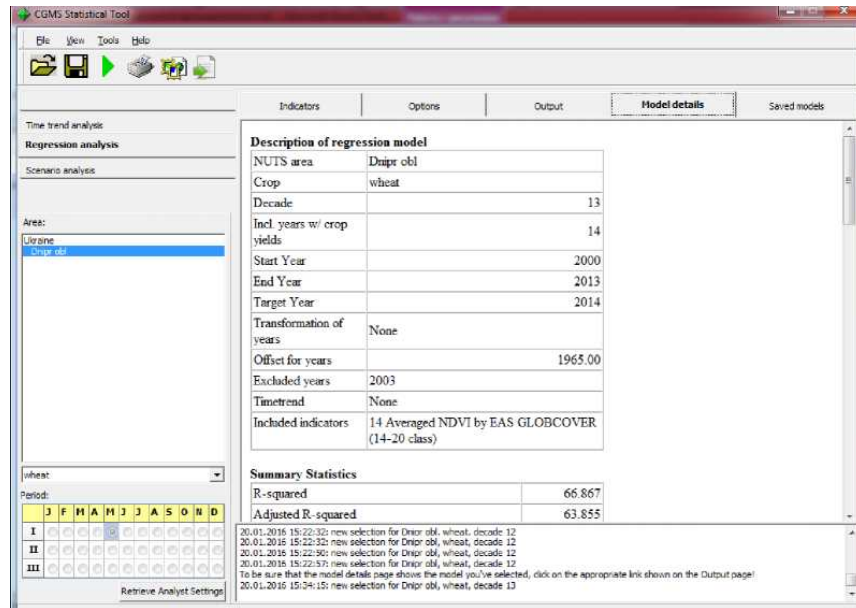
Copy to clipboard    Legend: wrong sign not significant both not good    Save    Export

Прогнозована врожайність для Донецької області за 2014 рік складає 35,69 ц/га (**Prediction for target year**). Середньоквадратична похибка прогнозу складає 7,55 ц/га, стандартна похибка прогнозу - 7,77 ц/га.


Згідно даних офіційної статистики, врожайність оз. пшениці за 2014 рік для Дніпропетровської області складала 34,2 ц/га.

Однак, коефіцієнт детермінації моделі рівний 31.17 - що говорить про неузгодженість статистичних даних та значень індексу NDVI.

Для перегляду детального звіту по прогностичній моделі, натисніть лівою кlawішею миші на посилання "14" (зображене на попередньому рисунку).



### 4.3. Завдання

1. Спробуйте побудувати графіки розвитку вегетації для с/г посівів, на прикладі даних MODIS.
2. Використовуючи інструмент “Зональна статистика” () ,
3. заповніть атрибутивну таблицю векторного шару усередненими по полях значеннями NDVI, отриманими з відповідних тематичних карт NDVI, створених на основі даних.
4. Побудуйте графіки зміни NDVI для декількох полів, на основі усереднених значень NDVI, отриманих з даних Landsat-8.
5. Порівняйте графіки зміни індексу NDVI в часі, отримані на основі даних Landsat-8 та MODIS
6. В якості предиктора оберіть значення NDVI, повторіть всі попередньо зазначені кроки, та перевірте, яким чином зміниться прогноз і коефіцієнт детермінації моделі (використовуючи пораховані значення NDVI та статистичну інформацію).
7. Перевірте як зміниться прогноз та коефіцієнт детермінації моделі включаючи та виключаючи різні роки даних.
8. Побудуйте прогноз врожайності за 2013 рік та порівняйте з даними оф. статистики. За даними оф. статистики, врожайність оз. пшениці для Дніпропетровської області за 2013 рік складала 33,5 ц/га.

### 4.4. Додаткові джерела інформації

1. M. S. Lavreniuk, S. V. Skakun, A. J. Shelestov, B. Y. Yalimov, S. L.
2. 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.

3. 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.
4. 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
5. 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.