

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В МАРКШЕЙДЕРІЇ:

методичні вказівки
до виконання практичних робіт

Запоріжжя 2026



УДК 528.94:622.1(072)
Г35

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 7 від 04.06.2026 р.)

Укладач

Батур М.О., Ph.D.

Г35 Геоінформаційні системи в маркшейдерії : методичні рекомендації до виконання практичних робіт / уклад. М. О. Батур Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2026. 69 с.

У методичних рекомендаціях наведено тематику практичних робіт, вихідні данні, методичні пояснення щодо порядку та приклади їх виконання, критерії оцінювання, вимоги до оформлення звітів.

УДК 528.94:622.1(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2026



ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Практична робота №1: Ознайомлення з програмним середовищем QGIS та створення картографічного макета (print layout).....	7
1.1. Мета, завдання та значення практичної роботи.....	7
1.2. Вихідні дані для виконання роботи Ошибка! Закладка не определена.	
1.3. Послідовність виконання роботи Ошибка! Закладка не определена.	
1.4. Приклад виконання	Ошибка! Закладка не определена.
2. Практична робота №2: Картографування техногенних землетрусів у програмному середовищі QGIS.....	14
2.1. Мета, завдання та значення практичної роботи Ошибка! Закладка не определена.	
2.2. Вихідні дані для виконання роботи Ошибка! Закладка не определена.	
2.3. Послідовність виконання роботи Ошибка! Закладка не определена.	
2.4. Приклад виконання	20
3. Практична робота №3: Оцінка часової мінливості вологості ґрунту в зонах відкритого гірничого видобутку за допомогою растрового аналізу в QGIS.....	25
3.1. Мета, завдання та значення практичної роботи Ошибка! Закладка не определена.	
3.2. Вихідні дані для виконання роботи	26
3.3. Послідовність виконання роботи Ошибка! Закладка не определена.	
3.4. Приклад виконання	32
4. Практична робота №4: Інтерполяція показників забруднення атмосферного повітря в межах гірничодобувної території методом inverse distance weighting (IDW) у програмі QGIS.....	35
4.1. Мета, завдання та значення практичної роботи.....	35



4.2. Вихідні дані для виконання роботи	36
4.3. Послідовність виконання роботи.....	38
4.4. Приклад виконання	45
5. Практична робота №5: Кластеризація техногенно індукованої сейсмічності методом k-середніх (k-means).....	49
5.1. Мета, завдання та значення практичної роботи.....	49
5.2. Вихідні дані для виконання роботи	50
5.3. Послідовність виконання роботи Ошибка! Закладка не определена.	
5.4. Приклад виконання Ошибка! Закладка не определена.	
6. Практична робота №6: Статистичний аналіз сейсмічності, викликаної гірничими роботами, у QGIS з використанням python.....	57
6.1. Мета, завдання та значення практичної роботи.....	57
6.2. Вихідні дані для виконання роботи Ошибка! Закладка не определена.	
6.3. Послідовність виконання роботи.....	59
6.4. Приклад виконання Ошибка! Закладка не определена.	
Критерії оцінювання практичних робіт.....	67
Рекомендовані джерела_.....	68
Додаток А_Приклад титульного листа.....	69



ВСТУП

Методичні рекомендації спрямовані на формування у студентів практичних навичок роботи з програмним середовищем QGIS (відкритій геоінформаційній системі з відкритим кодом) та застосування геоінформаційних технологій для вирішення прикладних задач гірничої галузі. Усі вихідні дані, використані в практичних завданнях, є реальними та отримані з відкритих джерел (open data), зокрема з міжнародних наукових баз даних, супутникових спостережень та відкритих картографічних сервісів. Використання реальних даних дозволяє студентам працювати з інформацією, максимально наближеною до умов професійної діяльності.

Методичні рекомендації містять опис вихідних даних, покрокову інструкцію виконання завдань, приклади результатів, а також пояснення щодо інтерпретації отриманих картографічних матеріалів. Поточні методичні вказівки складаються з шости практичних робіт. Перша практична робота спрямована на ознайомлення студентів із середовищем програми QGIS та вивчення основних команд і інструментів, які будуть використовуватися під час виконання наступних практичних робіт. Друга практична робота спрямована на поглиблення знань з теми «просторові та непросторові дані». У межах цієї роботи студенти вчаться відображати просторові дані на карті та інтерпретувати їх атрибутивні характеристики на прикладі картографування техногенно індукованої сейсмічності, пов'язаної з гірничою діяльністю. Третя практична робота спрямована на поглиблення знань щодо використання растрових даних. У межах цієї роботи студенти виконують картографування просторових змін вологості ґрунту в межах гірничого району з використанням супутникових растрових зображень. Четверта практична робота присвячена закріпленню знань з теми просторової інтерполяції. Студенти виконують картографування якості атмосферного повітря у межах гірничого району з використанням методів просторового моделювання. П'ята практична робота спрямована на ознайомлення



студентів із методами кластерного аналізу, зокрема методом k-середніх (k-means). У межах цієї роботи студенти виконують кластеризацію проявів техногенно індукованої сейсмічності з метою виявлення просторових закономірностей розподілу сейсмічних подій, визначення зон підвищеної концентрації та аналізу їх зв'язку з гірничою діяльністю. Шоста практична робота присвячена статистичному аналізу сейсмічності, викликаній гірничими роботами, із використанням середовища QGIS та мови програмування Python. У ході роботи студенти виконують обчислення коефіцієнта кореляції Пірсона між основними сейсмічними параметрами (зокрема магнітудою та глибиною), а також здійснюють розрахунок описових статистичних характеристик. Це дозволяє оцінити взаємозв'язки між параметрами сейсмічних подій, виявити закономірності їх розподілу та інтерпретувати отримані результати в контексті впливу гірничих робіт.

Кожна практична робота оцінюється у 6 балів відповідно до критеріїв оцінювання навчальної дисципліни.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ПРОГРАМНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ QGIS ТА СТВОРЕННЯ КАРТОГРАФІЧНОГО МАКЕТА (PRINT LAYOUT)

1.1. Мета, завдання та значення практичної роботи

Сучасні геоінформаційні системи є важливим інструментом для аналізу, обробки та візуалізації просторових даних. Однією з найбільш поширених програм для роботи з географічною інформацією є QGIS – відкрите програмне забезпечення, призначене для створення, редагування, аналізу та картографічного представлення просторових даних. Програмне середовище QGIS дозволяє працювати з різними типами геоданих, зокрема: векторними даними (точки, лінії, полігони); растровими даними (супутникові знімки, цифрові моделі рельєфу); табличними даними з координатною інформацією. Крім того, програма надає широкий набір інструментів для: просторового аналізу; візуалізації географічних даних; створення тематичних карт; підготовки картографічних матеріалів для публікацій та звітів, тощо.

Інтерфейс QGIS складається з основних елементів (Рисунок 1), серед яких:

1. Панель меню (Menu Bar) – містить основні функції та команди програми;
2. Панель інструментів (Toolbar) – забезпечує швидкий доступ до найпоширеніших інструментів та функцій одним кліком;
3. Панель шарів (Layer Panel) – відображає список усіх шарів, доданих до поточного проекту;
4. Панель карти (Map Panel / Map Canvas) – основне вікно для відображення географічних даних та активних шарів;

5. Рядок стану (Status Bar) – показує поточні координати курсора, масштаб карти, кут обертання та використовувану систему координат.

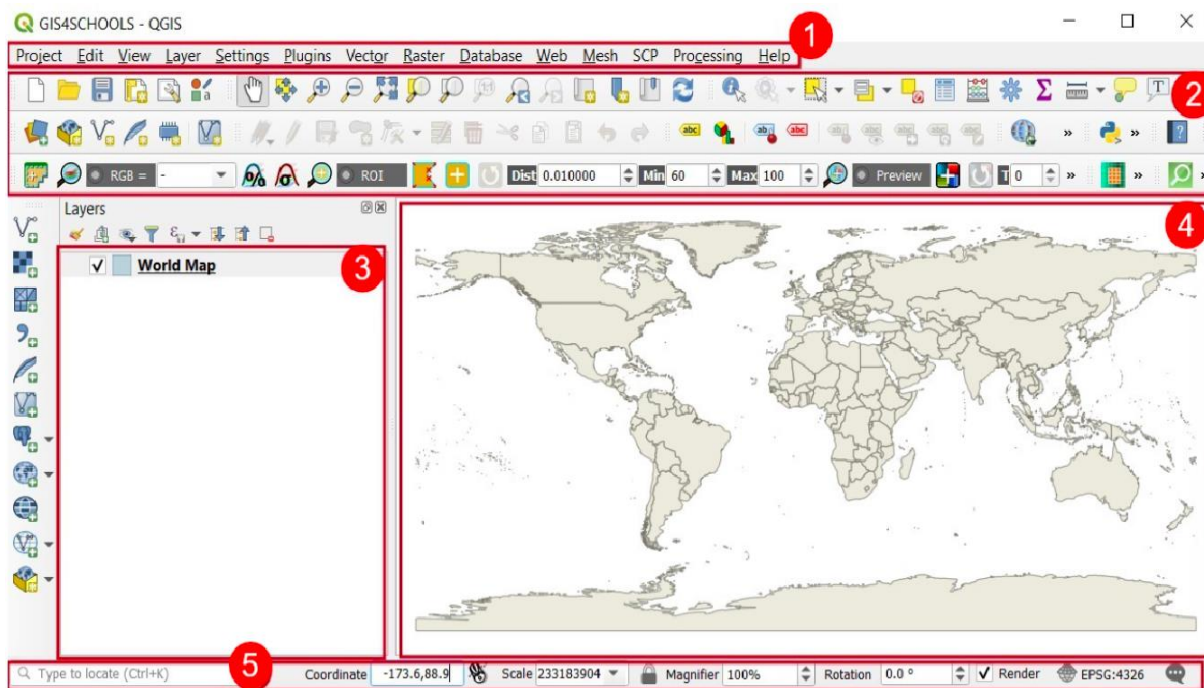


Рис.1. Інтерфейс QGIS – основні елементи.

Основні компоненти інтерфейсу Print Layout (Рисунок 2):

1. Налаштування макета (Layout Settings) – дозволяє додавати сторінки, експортувати карту та керувати панелями;
2. Інструменти компоновника (Dialer Tools) – містять функції збереження, створення нового макета, дублювання, додавання елементів із шаблону та збереження шаблону;
3. Панель навігації (Navigation Bar) – включає інструменти масштабування, оновлення та блокування/розблокування елементів;
4. Панель інструментів (Toolbar) – використовується для масштабування, вибору об'єктів, переміщення по карті та додавання нових елементів (карти, зображення, тексту, легенди, масштабу, фігур тощо);

5. Панель елементів (Feature Panel) – відображає всі елементи, які були додані до макета друку;
6. Розширені параметри (Advanced Options) – дозволяють налаштувати кожен елемент шару.

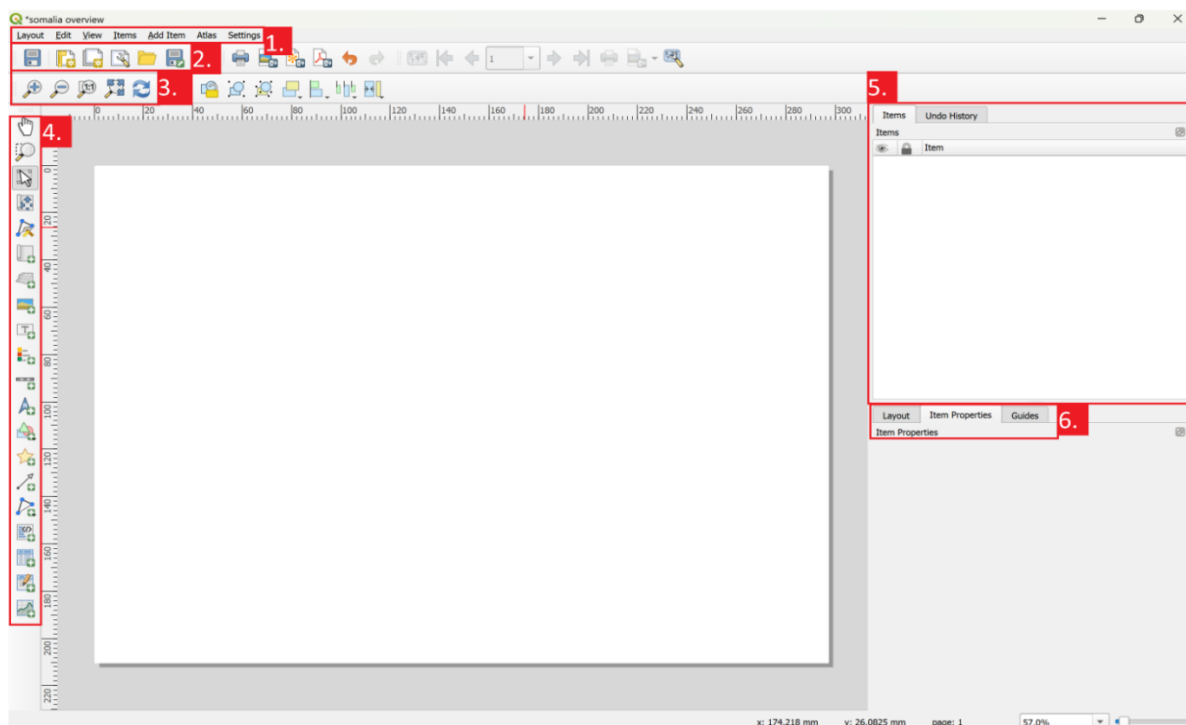


Рис.2. Інтерфейс Print Layout QGIS – основні елементи.

Мета даної практичної роботи – ознайомлення з основними можливостями геоінформаційної системи QGIS та формування навичок створення картографічного макета.

Основні завдання роботи:

- ознайомитися з інтерфейсом програмного середовища QGIS;
- вивчити основні команди роботи з географічними даними;
- створити картографічний макет у Print Layout;
- додати до карти основні картографічні елементи: координатну рамку; масштабну лінійку; стрілку півночі; легенду карти; назву карти та інші пояснювальні елементи.



Значення практичної роботи полягає у формуванні базових навичок роботи з геоінформаційними системами та підготовки картографічних матеріалів, які широко використовуються у географічних, екологічних, геологічних та інженерних дослідженнях. Отримані знання можуть бути застосовані для створення тематичних карт, аналізу просторових процесів та підготовки наукових і аналітичних матеріалів.

Дана практична робота має важливе значення, оскільки навички, отримані під час її виконання, зокрема робота з інструментом Print Layout у програмі QGIS, будуть використовуватися під час виконання інших практичних робіт у межах даного курсу. Уміння створювати картографічні макети, правильно оформлювати карти та експортувати їх у графічні формати є необхідними для підготовки картографічних матеріалів і подальшого аналізу геопросторових даних.

1.2. Вихідні дані для виконання роботи

Усі студенти виконують однакове практичне завдання. Послідовність виконання роботи, необхідні інструменти та дії детально описані у наступних підрозділах, де подано покрокову інструкцію роботи з програмним середовищем QGIS.

1.3. Послідовність виконання роботи

Крок 1. Відкрити програму QGIS.

Крок 2. Відкрити карту OpenStreetMap у браузері.

Крок 3. У пошуку знайти райони гірничодобувної промисловості в місті Кривий Ріг та наблизити карту (zoom), щоб чітко відобразити кар'єри та інші об'єкти видобування (як показано на Рисунку 3).

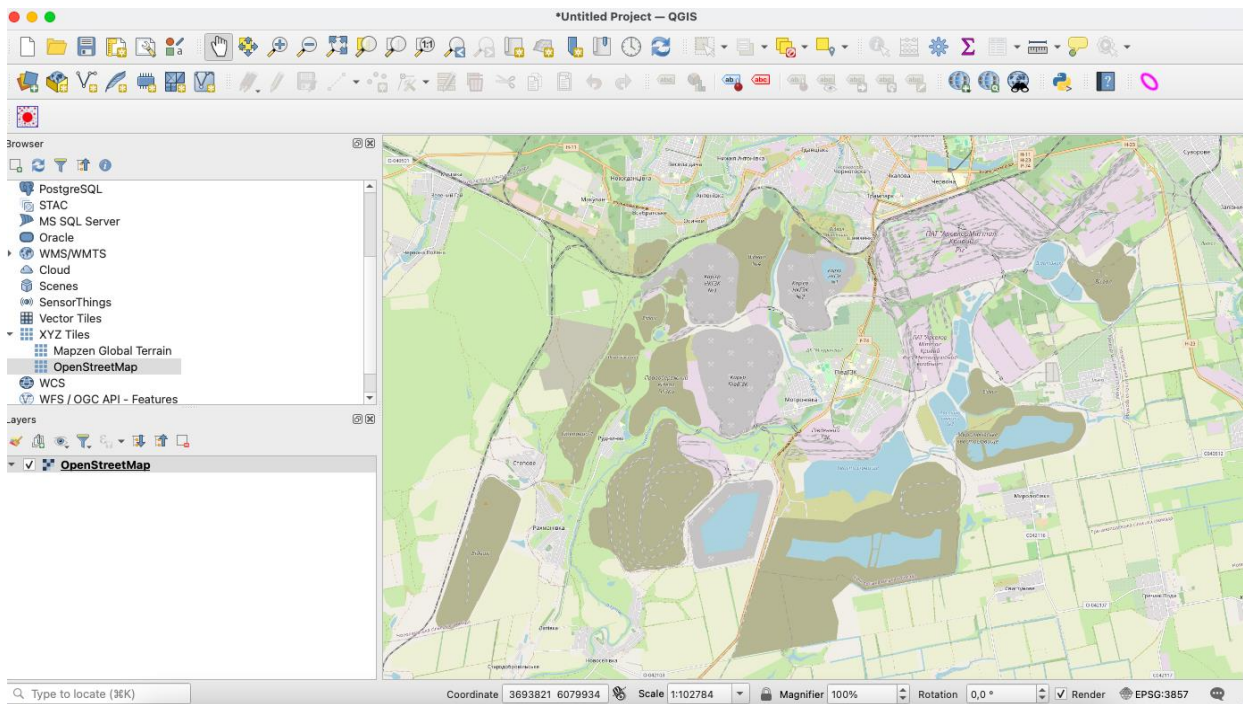


Рис.3. Пошук та масштабування районів гірничодобувної промисловості м. Кривий Ріг на карті OpenStreetMap.

Крок 4. У меню Project обрати New Print Layout та створити новий макет для друку.

Крок 5. У вікні Print Layout на панелі інструментів (Toolbar) вибрати інструмент Add Map та намалювати рамку на сторінці, у якій буде відображатися карта.

Крок 6. Додати стрілку напрямку на північ:

обрати інструмент Add North Arrow;

розмістити стрілку на макеті карти.

Крок 7. Додати масштаб:

обрати інструмент Add Scale Bar;

розмістити шкалу масштабу під картою або поруч із нею.

Крок 8. Додати координатну рамку:

виділити карту на макеті;

у правій панелі Item Properties відкрити розділ Grids;

натиснути Add Grid;

активувати опцію Draw Coordinates, щоб відобразити координати по краях карти;
за потреби налаштувати інтервал координатної сітки та стиль підписів.

Крок 9. Зберегти готову карту:

у меню Layout обрати Export as Image;

вибрати формат зображення JPEG або TIFF;

вказати місце збереження файлу та виконати експорт.

Остаточний результат показано на Рисунок 4.

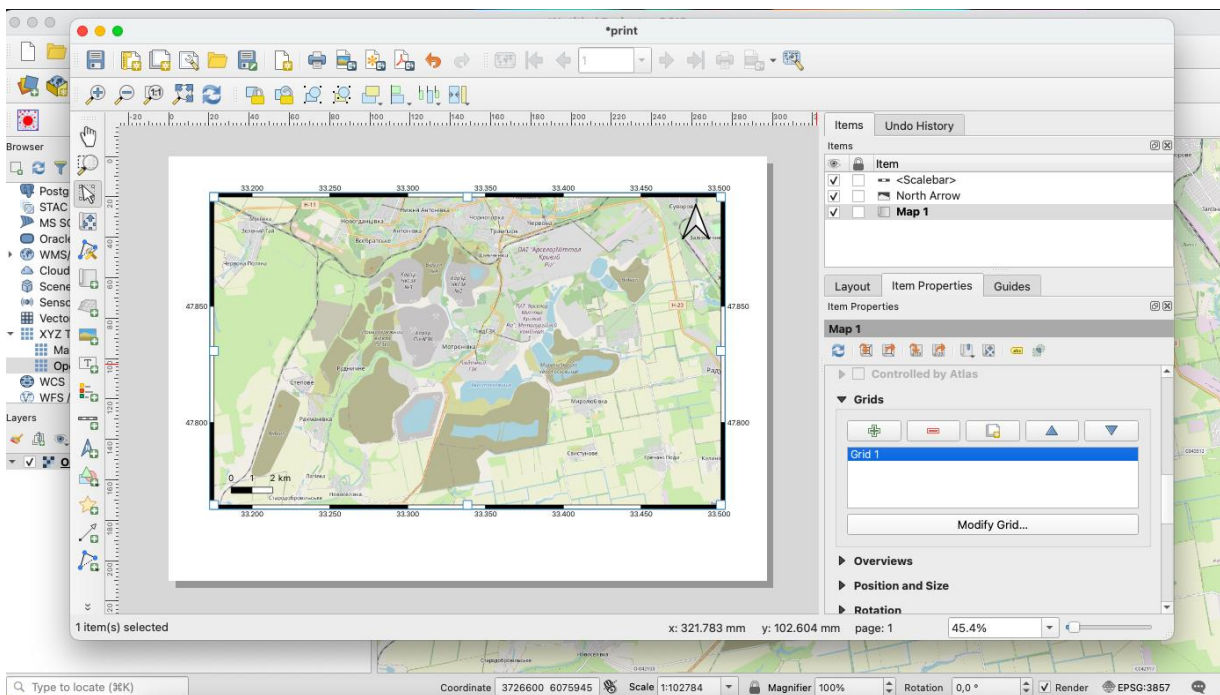


Рис.4. Підготовлений до експорту макет карти у вікні Print Layout.

1.4. Приклад виконання

Студент повинен виконати всі кроки, наведені у розділі 1.3 «Послідовність виконання роботи». Після завершення роботи студент повинен

експортувати готову карту у графічному форматі (JPEG або TIFF) та додати отримане зображення до звіту (як показано на Рисунку 5).



Рис.5. Результат експорту картографічного макета для додавання до звіту

Крім виконання практичної частини, студент повинен письмово відповісти на такі контрольні запитання:

Що таке QGIS і для яких задач використовується ця програма?

Які основні елементи інтерфейсу програми QGIS ви знаєте?

Для чого використовується інструмент Print Layout у QGIS?

Які елементи можна додати до макета карти у Print Layout?

Які основні етапи створення картографічного макета у QGIS?



ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

КАРТОГРАФУВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ QGIS

2.1. Мета, завдання та значення практичної роботи

Мета роботи полягає у набутті практичних навичок картографування техногенних землетрусів у середовищі QGIS, а також у формуванні розуміння особливостей роботи з просторовими та атрибутивними (непросторовими) даними.

Завдання дослідження:

- ознайомитися з вихідними просторовими та атрибутивними даними щодо техногенних землетрусів;
- здійснити імпорт та підготовку даних у середовищі QGIS;
- виконати візуалізацію та тематичне картографування землетрусів;
- проаналізувати просторовий розподіл явищ;
- дослідити зв'язок між просторовими характеристиками та атрибутивними параметрами (магнітуда, глибина, дата виникнення тощо).

Гірничо-індукована сейсмічність – це землетруси або підземні поштовхи, які виникають у результаті діяльності людини, зокрема під час видобутку корисних копалин. На відміну від природних землетрусів, що пов'язані з рухом тектонічних плит, такі поштовхи спричинені зміною напруженого стану гірських порід через підземні роботи. Коли з надр вилучається вугілля, руда чи інші корисні копалини, у масиві порід порушується природна рівновага. Це може призводити до раптового вивільнення накопиченої енергії у вигляді сейсмічних хвиль. Найчастіше гірничо-індукована



сейсмічність спостерігається в районах активного підземного видобутку, а саме у вугільних басейнах, на рудниках з видобутку залізної руди, золота, солі тощо. Відомі приклади таких явищ зафіксовані у Південно-Африканській Республіці (глибокі золоті шахти), у Польщі (вугільні шахти Сілезії), США та інших країнах із розвинутою гірничою промисловістю. В Україні такі процеси характерні для гірничопромислових районів, зокрема в межах Кривбасу.

Основними параметрами, які характеризують гірничо-індуковані сейсмічні події, є магнітуда, глибина виникнення, енергія вивільнення та частота повторюваності. Зазвичай їх магнітуда є невеликою (від дуже слабких мікросейсмічних подій до приблизно 3-4 балів), а глибина відповідає глибині ведення гірничих робіт – від кількох сотень метрів до кількох кілометрів. Також важливими є просторове розташування землетрусів, швидкість накопичення напружень та зв'язок із технологією видобутку.

Вивчення гірничо-індукованої сейсмічності є дуже важливим, оскільки вона становить небезпеку для працівників шахт, обладнання та інфраструктури. Сильні підземні поштовхи можуть спричинити обвали, руйнування виробок і навіть людські жертви. Крім того, у деяких випадках такі події можуть відчуватися на поверхні та впливати на будівлі й споруди.

2.2. Вихідні дані для виконання роботи

Вихідні дані для виконання цієї практичної роботи надаються викладачем за індивідуальним запитом студента. Дані представлені у вигляді електронного файлу формату Excel, який містить інформацію про техногенні землетруси. Файл включає просторові та атрибутивні дані. До просторових даних належать географічні координати кожної події – широта (latitude) та довгота (longitude), що дозволяє відобразити їх на карті. Атрибутивні дані містять основні характеристики кожного землетрусу, зокрема дату виникнення, глибину та магнітуду. Таким чином, набір даних дає



можливість проводити як просторовий, так і статистичний аналіз. Для подальшої роботи у програмному середовищі QGIS файл вже попередньо підготовлений і збережений у форматі CSV. Структура таблиці впорядкована відповідно до вимог імпорту в QGIS: назви колонок задані коректно, координати записані в числовому форматі, а всі записи розділені стандартними розділювачами. Це дозволяє без додаткової обробки завантажити файл як точковий шар і одразу перейти до аналізу. Загалом підготовлено 20 різних варіантів файлів, які розподіляються між студентами індивідуально. Кожен студент працює зі своїм варіантом даних. У даних методичних вказівках як приклад використовується Варіант 0.

2.3. Послідовність виконання роботи

Додавання Excel-файлу до QGIS

Відкрийте програму QGIS.

У верхньому меню виберіть Layer – Add Layer – Add Delimited Text Layer (дивись Рисунок 1).

Натисніть Browse та оберіть підготовлений Excel-файл (.csv) з даними про техногенні землетруси.

У полі Geometry Definition оберіть Point coordinates.

Вкажіть відповідні поля:

X field – довгота (Longitude)

Y field – широта (Latitude)

Встановіть систему координат WGS 84 (EPSG:4326).

Натисніть Add, після чого точки землетрусів з'являться на карті.

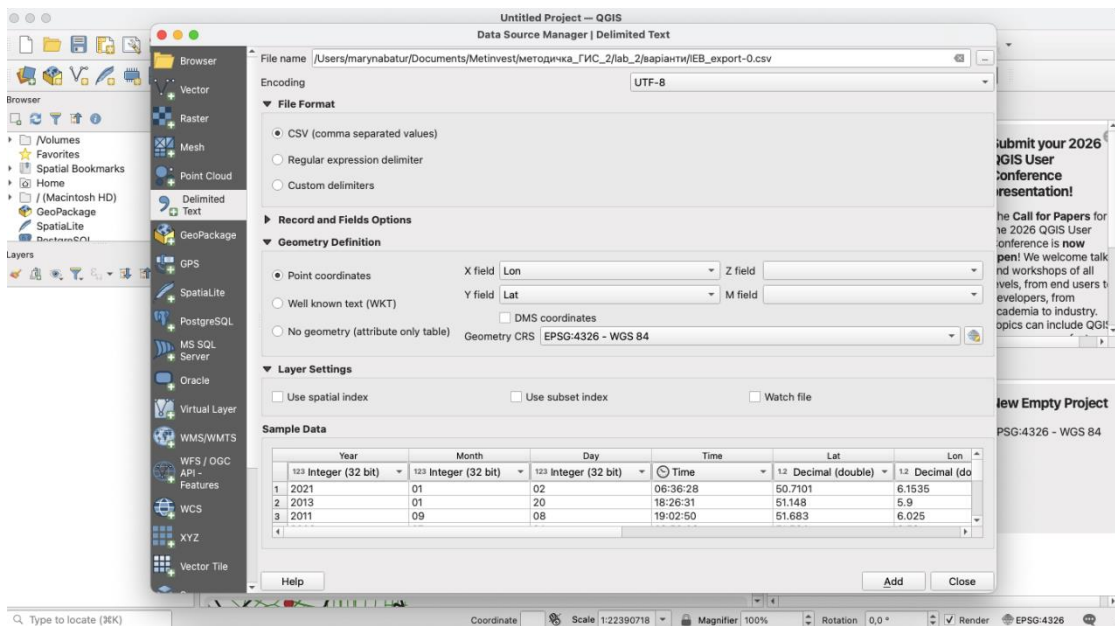


Рис.1. Data Source Manager – імпорт даних у QGIS

Дублювання шару та підготовка шарів для подальшого аналізу

У панелі шарів (Layers Panel) знайдіть доданий шар із точками техногенних землетрусів.

Клацніть по ньому правою кнопкою миші.

Оберіть команду Duplicate Layer.

Повторіть операцію ще один раз, щоб отримати три однакові шари з даними землетрусів.

У результаті в проєкті буде три ідентичні шари.

Перейменуйте кожен із них відповідно до параметра, який буде візуалізуватися:

перший шар – Magnitude (магнітуда землетрусу);

другий шар – Depth (глибина гіпоцентру);

третій шар – Time (час виникнення події).

Для перейменування:

клацніть правою кнопкою миші на шарі;

оберіть Rename Layer;

введіть відповідну назву.

Додавання базової карти

Для відображення географічного контексту додайте базову карту OpenStreetMap.

У меню програми QGIS:

відкрийте Browser Panel;

знайдіть XYZ Tiles;

двічі клацніть OpenStreetMap.

Після додавання перетягніть шар OpenStreetMap у нижню частину списку шарів, щоб він знаходився під усіма шарами землетрусів.

Таким чином, базова карта буде слугувати підкладкою, а точки техногенних землетрусів відобразяться поверх неї.

Остаточний результат показано на Рисунок 2.

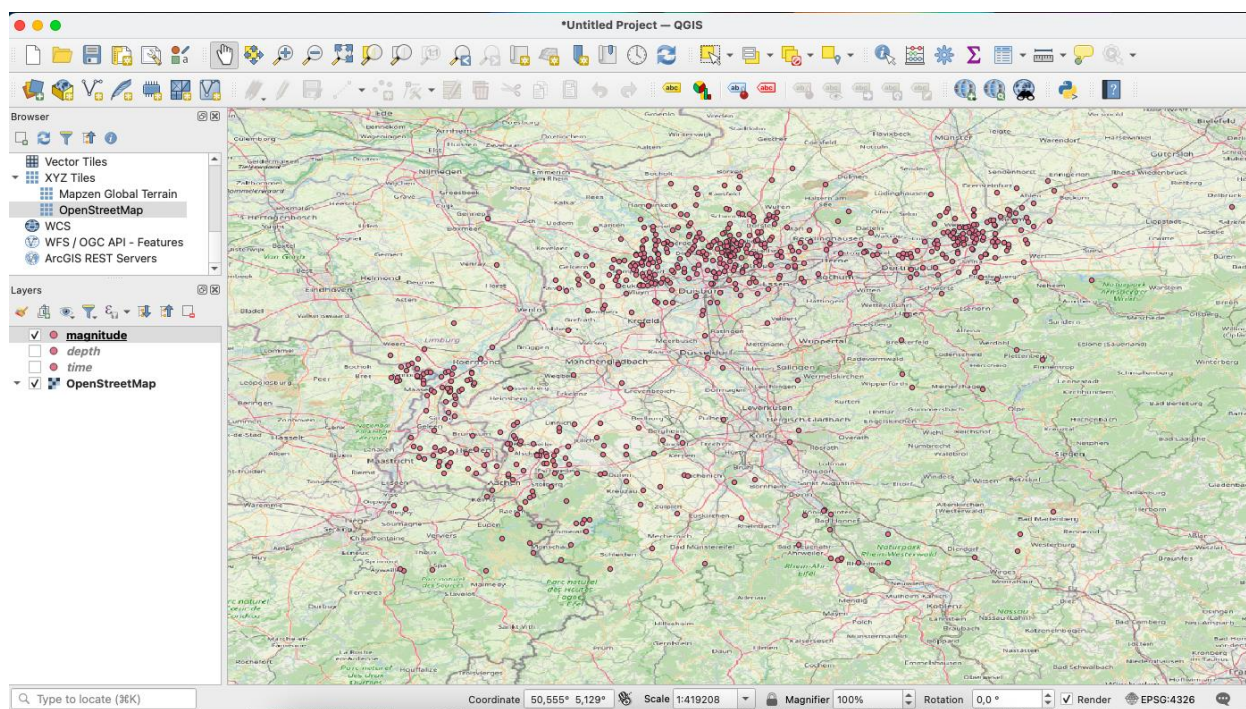


Рис.2. Підготовка шарів для аналізу: дублювання шару землетрусів (Magnitude, Depth, Time) та додавання базової карти OpenStreetMap у середовищі QGIS.

Візуалізація землетрусів за магнітудою

У панелі шарів клацніть правою кнопкою миші на шарі Magnitude.

Оберіть Properties (дивись Рисунок 3).

Перейдіть до вкладки Symbology.

У полі Renderer оберіть Graduated.

У полі Value оберіть колонку Magnitude (магнітуда).

Натисніть Classify, щоб створити класи магнітуд.

Оберіть кольорову шкалу та натисніть Apply.

У результаті землетруси з різною магнітудою будуть відображені різними кольорами або розмірами точок на карті як показано на Рисунку 4.

Примітка: Аналогічні дії потрібно виконати і для інших шарів у програмному середовищі QGIS. Для шару Depth у полі Value необхідно обрати колонку Depth, а для шару Time – колонку Year. Таким чином буде створено три окремі карти, що відображають розподіл землетрусів за магнітудою, глибиною та часом виникнення.

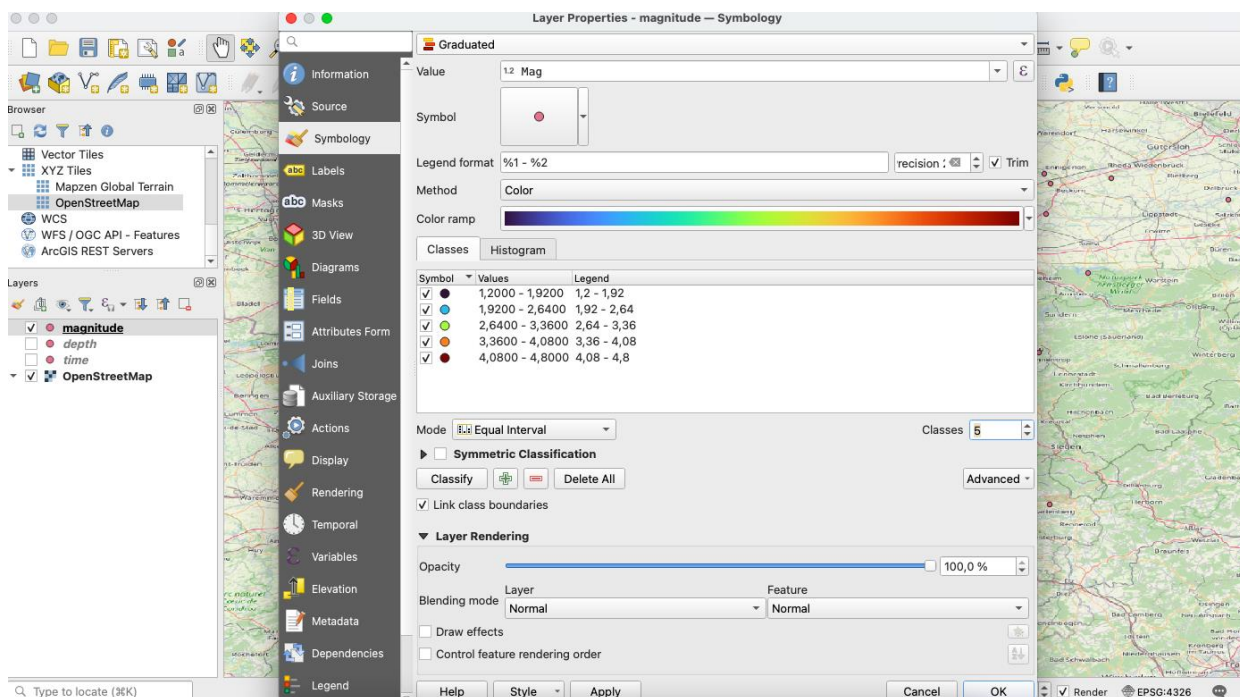


Рис.3. Налаштування візуалізації

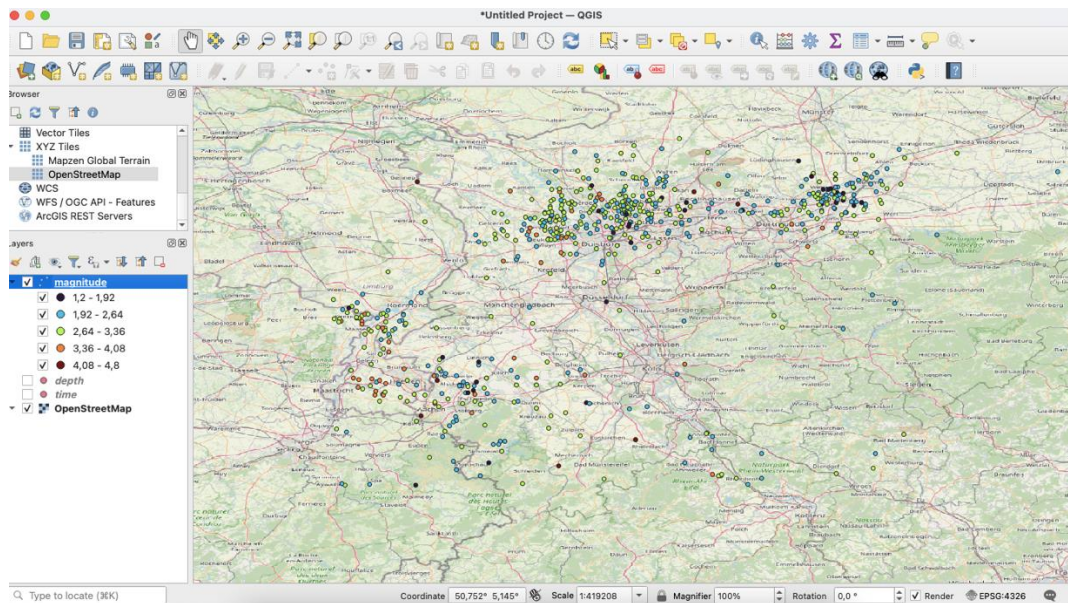


Рис.4. Кінцевий результат аналізу

Інтерпретація результатів

Після створення тематичних карт необхідно виконати інтерпретацію отриманих результатів.

Студенти повинні звернути увагу на такі аспекти:

просторовий розподіл техногенних землетрусів;

ділянки з найбільшою концентрацією подій;

закономірності зміни магнітуди, глибини та часу виникнення землетрусів;

можливий зв'язок розташування подій з техногенними об'єктами (шахти, кар'єри, місця проведення вибухових робіт тощо).

На основі аналізу карт студенти повинні сформулювати короткі висновки щодо особливостей просторового розподілу техногенних землетрусів та можливих причин їх виникнення.

2.4. Приклад виконання (Варіант 0)

Отримані карти необхідно зберегти у форматі JPEG через модуль макетування в QGIS. Для цього потрібно відкрити Project – New Print



Layout, задати назву макета та натиснути ОК. У вікні макета обрати інструмент Add Map і виділити область на сторінці, щоб відобразити карту. За потреби додати легенду, сітку координат, масштабну лінійку та заголовок. Після цього перейти в меню Layout – Export as Image, у вікні збереження вибрати формат JPEG, вказати папку та назву файлу і натиснути Save. Отримане зображення у форматі JPEG необхідно вставити до звіту та виконати його інтерпретацію відповідно до результатів розрахунку.

Приклад інтерпретації наведено нижче.

На всіх трьох картах зображені точки, які відповідають техногенним землетрусам. Кожна точка була нанесена на карту за допомогою просторових атрибутів – географічних координат (широти та довготи). Саме координати визначають, де саме стався землетрус. Такі характеристики як: магнітуда, глибина, та рік (час) виникнення є непросторовими (атрибутивними) даними. Вони не визначають місце події, але допомагають аналізувати та досліджувати сейсмічність території.

На Рисуноку 5 показано просторовий розподіл техногенних землетрусів за магнітудою. Ця карта відображає землетруси, нанесені за координатами. Кольором показано магнітуду – тобто силу землетрусу (від 1,2 до 4,8). Більшість землетрусів мають невелику магнітуду (до 3). Такі події є слабкими і часто не відчуються населенням. Землетруси з більшою магнітудою (понад 4) зустрічаються рідко. Вони не формують окремої нової зони активності, а виникають у межах вже існуючих кластерів. Це свідчить про те, що навіть сильніші події пов'язані з тими самими зонами техногенного впливу. Таким чином, можна зробити висновок, що територія характеризується переважно слабкою техногенною сейсмічністю. Відсутність великої кількості сильних землетрусів говорить про те, що процеси мають локальний характер. Магнітуда як атрибутивний показник дозволяє оцінити рівень небезпеки в межах активних зон.

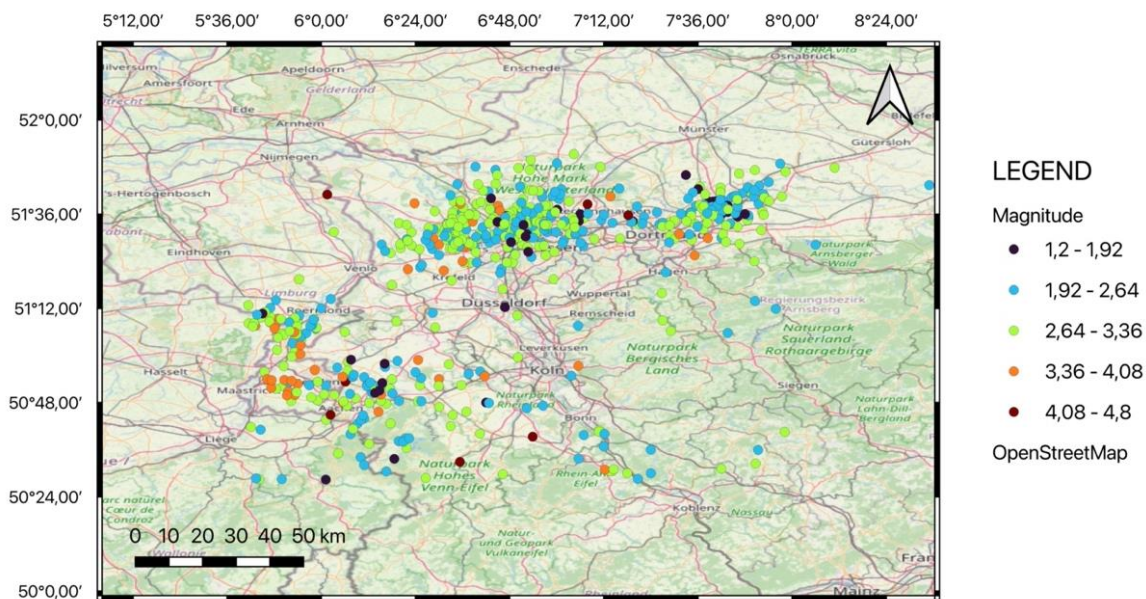


Рис.5. Просторовий розподіл техногенних землетрусів за магнітудою

На Рисунку 6 показано просторовий розподіл техногенних землетрусів за глибиною. Кольором показано глибину осередку землетрусу – від 0 до 33 км. За кольоровою шкалою видно, що переважають землетруси малої та середньої глибини (0-11 км). Події більшої глибини (понад 22 км) зустрічаються значно рідше і мають локальний характер і вони не формують великих зон, а трапляються окремими точками. Загалом аналіз карти показує, що землетруси розподілені нерівномірно. Вони не охоплюють територію рівномірною сіткою, а формують чітко виражені скупчення. Найбільша концентрація подій спостерігається у центральній частині досліджуваної території. Також помітні окремі групи на південному заході. Переважання невеликих глибин є характерною ознакою техногенної сейсмічності. Такі землетруси зазвичай пов'язані з діяльністю людини, а саме гірничими роботами, видобуванням корисних копалин, зміною напруженого стану порід. Кластерний (згрупований) характер розподілу свідчить про те, що сейсмічна активність прив'язана до конкретних зон техногенного впливу. Отже, глибина допомагає не тільки оцінити параметри події, а й підтвердити її можливе техногенне походження.

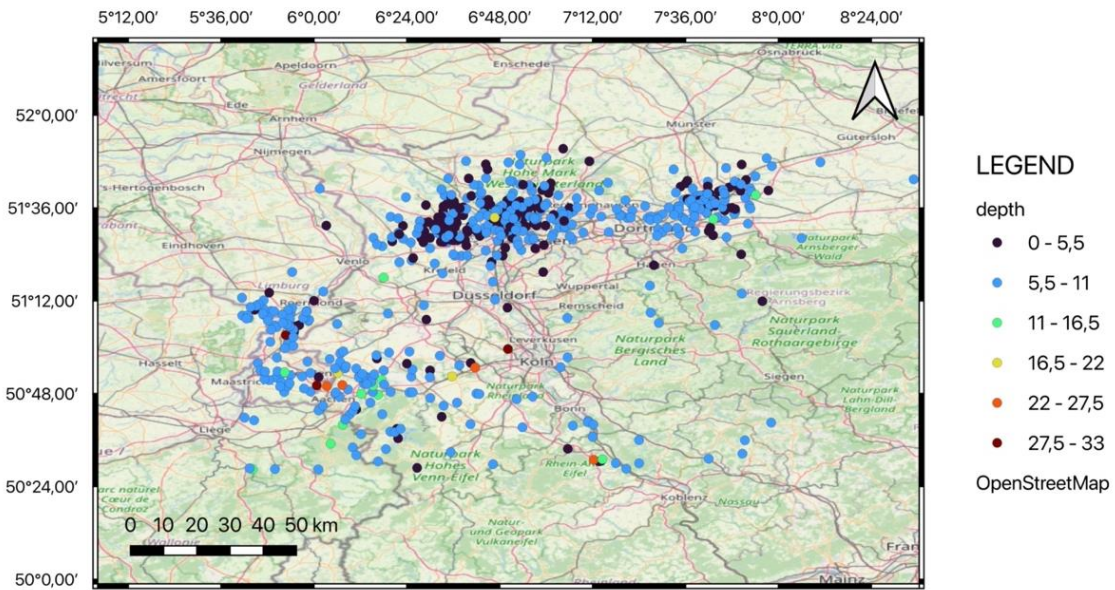


Рис.6. Просторовий розподіл техногенних землетрусів за глибиною

На Рисунку 7 показано просторовий розподіл техногенних землетрусів за роками. На цій карті землетруси згруповані за періодами (1973 – 2021 роки). Час виникнення є просторовим атрибутом, який дозволяє аналізувати зміну сейсмічної активності у часовому вимірі. Аналіз показує, що в усі періоди активність зосереджена приблизно в одних і тих самих районах. Це означає, що просторове положення сейсмічних осередків є стабільним протягом десятиліть. Нові зони активності практично не з'являються. Водночас помітно, що у пізніші періоди (після 2000 року) кількість зафіксованих подій зростає. Це може свідчити або про інтенсифікацію техногенної діяльності. Загалом сейсмічна активність має довготривалий і стабільно локалізований характер. Основні осередки залишаються незмінними у просторі, але інтенсивність прояву може змінюватися з часом.

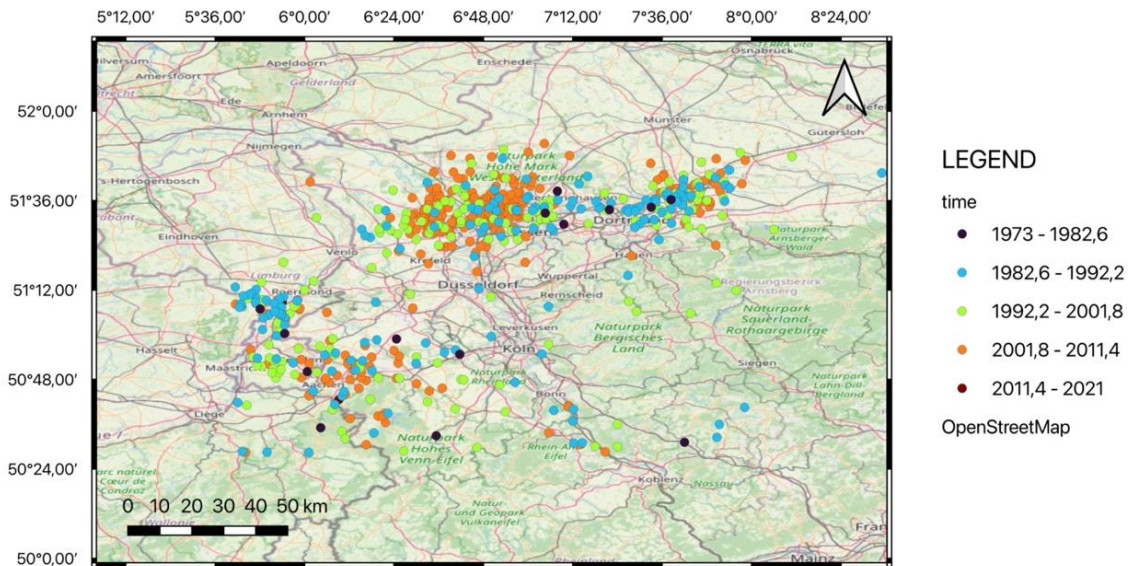


Рис.7. Просторовий розподіл техногенних землетрусів за роками

Нижче наведено приклад запитань, які допоможуть виконати подібну інтерпретацію карти:

Які об'єкти зображені на карті і що позначає одна точка?

Які просторові атрибути використані для побудови карти?

Який просторовий показник відображено кольором? Який його діапазон значень? Які значення цього показника переважають?

Чи зустрічаються крайні (максимальні або мінімальні) значення та наскільки часто?

Як об'єкти розподілені у просторі: рівномірно чи кластерно (згруповано)?

Чи пов'язані більші значення показника з певними просторовими зонами?

Чи формують події з вищими значеннями окремі нові зони, чи вони виникають у межах вже активних районів?

Який загальний висновок можна зробити щодо інтенсивності та характеру сейсмічної активності території?

Як поєднання просторових та просторових даних допомагає глибше зрозуміти процеси?



ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

ОЦІНКА ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ В ЗОНАХ ВІДКРИТОГО ГІРНИЧОГО ВИДОБУТКУ ЗА ДОПОМОГОЮ РАСТРОВОГО АНАЛІЗУ В QGIS

3.1. Мета, завдання та значення практичної роботи

Метою цієї роботи є аналіз та кількісна оцінка змін вологості ґрунту між двома різними періодами часу за допомогою GeoTIFF-растрових даних у програмі QGIS. Також метою цієї практичної роботи є зосередження на темі растрових даних, зокрема на основних методах їх аналізу, які широко застосовуються для вирішення екологічних проблем у гірничій промисловості. Практична робота базується на матеріалах лекції про растрові дані та спрямована на поглиблення розуміння їх практичного використання.

Завдання роботи:

- Імпортувати та візуалізувати GeoTIFF-растрові дані в QGIS;
- Ознайомитися зі структурою та властивостями растрових даних;
- Виконати віднімання растрів за допомогою інструмента «Raster Calculator»;
- Створити та проінтерпретувати карту різниці вологості ґрунту;
- Оцінити просторові закономірності змін вологості ґрунту в межах кар'єру відкритого типу.

Вологість ґрунту є важливим екологічним показником, що впливає на стійкість схилів, відновлення рослинності, розвиток ерозійних процесів і поповнення підземних вод. У зонах відкритого гірничого видобутку моніторинг вологості ґрунту має особливе значення, оскільки гірничі роботи



суттєво змінюють поверхню території, структуру ґрунту та гідрологічний баланс. Виймання порід, зняття рослинного покриву та складування відходів змінюють інфільтрацію та формування поверхневого стоку. Зміни вологості ґрунту можуть свідчити про потенційні ризики, такі як зсуви, просідання або ерозія. Тому часовий моніторинг вологості ґрунту є важливим інструментом екологічного управління, планування рекультивації та оцінки ризиків.

Растрові дані відносяться до просторових даних, цей тип представлений у вигляді регулярної сітки малих комірок (пікселів). Кожен піксель містить значення, що характеризує певний параметр у відповідній точці земної поверхні. Наприклад, на карті вологості ґрунту кожен піксель містить числове значення рівня вологості в даній локації. Растрові дані зазвичай створюються на основі супутникових знімків, аерофотозйомки або сканованих карт. Розмір пікселя визначає просторову роздільну здатність: менші пікселі забезпечують вищу деталізацію, більші – меншу. Растрові дані широко застосовуються для відображення безперервних величин, таких як температура, рельєф, опади а також як у даній роботі вологість ґрунту, значення яких поступово змінюються в просторі.

3.2. Вихідні дані для виконання роботи

Вихідними даними для практичної роботи є два GeoTIFF-растрові файли, що відображають вологість ґрунту за два різні періоди (наприклад, 01 липня 2005 року та 01 липня 2010 року). Ці растрові набори даних отримані на основі супутникових спостережень. Кожен піксель растру містить числове значення вологості ґрунту для конкретної дати та місця. Оскільки файли є геоприв'язаними (мають координати в кожній точці), їх можна безпосередньо завантажити в QGIS і вони автоматично відобразяться у правильному просторовому положенні. Кожен студент отримує пару GeoTIFF-



файлів для аналізу. Набори даних надаються викладачем за запитом. Загалом для виконання завдання підготовлено 20 різних пар даних.

3.3. Послідовність виконання роботи

Крок 1. Відкрити програму QGIS.

Крок 2. Завантажити два GeoTIFF-растрові файли надані викладачем.

Для цього використати: Layer – Add Layer – Add Raster Layer або перетягнути файли мишею у вікно програми використовуючи Drag & Drop.

Після цього у вікні програми в розділі Шари (Layers) ви побачите два растри як показано на Рисунку 1. Натискаючи на потрібний шар, ви можете зробити його активним або неактивним (увімкнути чи вимкнути його відображення).

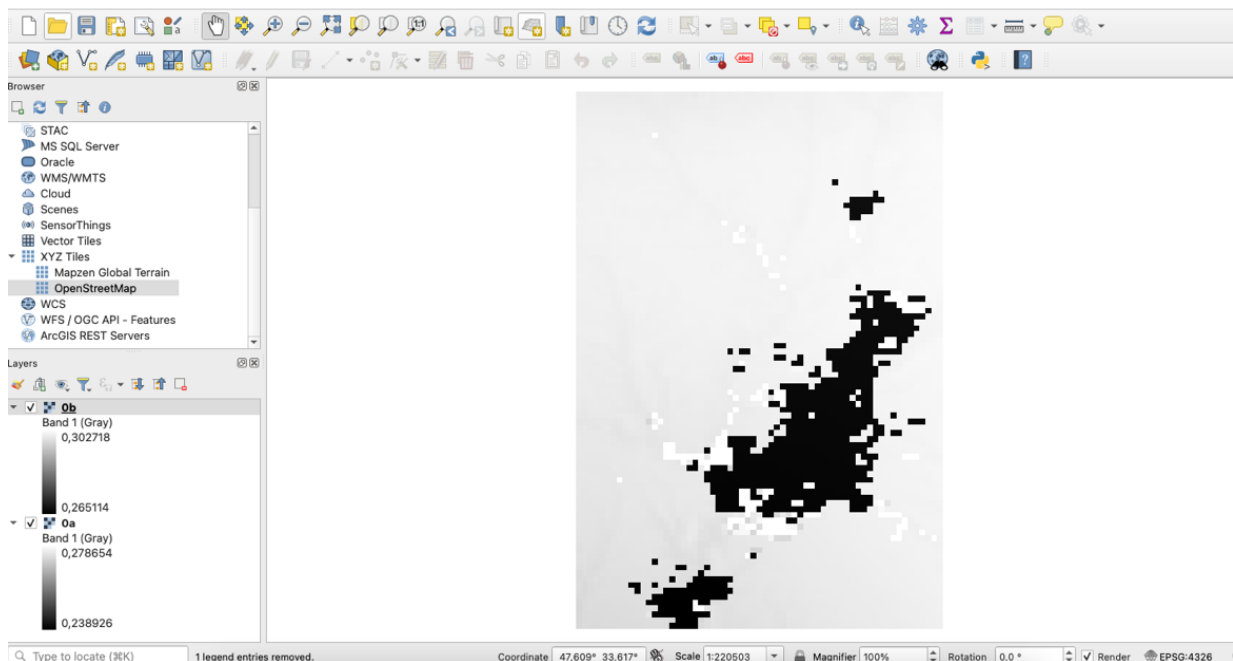


Рис.1. Завантаження растрових файлів у середовище QGIS

Крок 3. Перевірити:

- Чи мають обидва растри однакову систему координат;

- Чи мають однакову просторову роздільну здатність (розмір пікселя);
- Чи просторово вирівняні (однаковий extent).

Перевірка системи координат:

- Натиснути правою кнопкою миші на шар (Layer);
- Обрати «Властивості» (Properties);
- Перейти на вкладку «Інформація» (Information);
- Знайти розділ CRS і перевірити систему координат (наприклад, EPSG:4326 – WGS 84).
- Повторити для другого шару.

Це показано на Рисунку 2. Обидва растри повинні мати однаковий CRS. Якщо CRS різний, потрібно обрати правильну систему координат та створити перепроєктовану копію: Raster – Projections – Warp (Reproject).

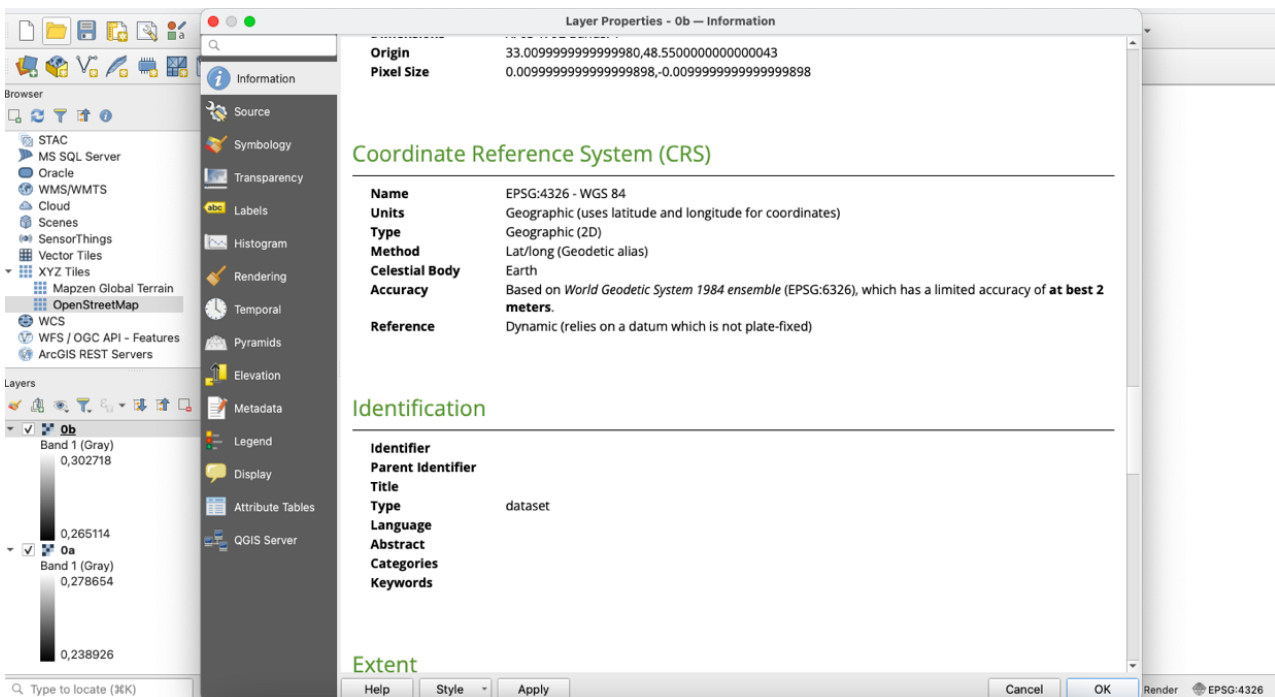


Рис.2. Перевірка системи координат

Перевірка просторової роздільної здатності (розміру пікселя):

- Правою кнопкою – «Властивості»;
- Вкладка «Інформація»;
- Перевірити параметри: Pixel Size X та Pixel Size Y.

Обидва растри повинні мати однаковий розмір пікселя, наприклад, як показано на Рисунку 3 – 0.0099999999999999 × -0.0099999999999999 м. Якщо розмір пікселя різний, у розділі «Output file resolution» необхідно задати потрібну роздільну здатність вручну: Raster – Projections – Warp (Reproject).

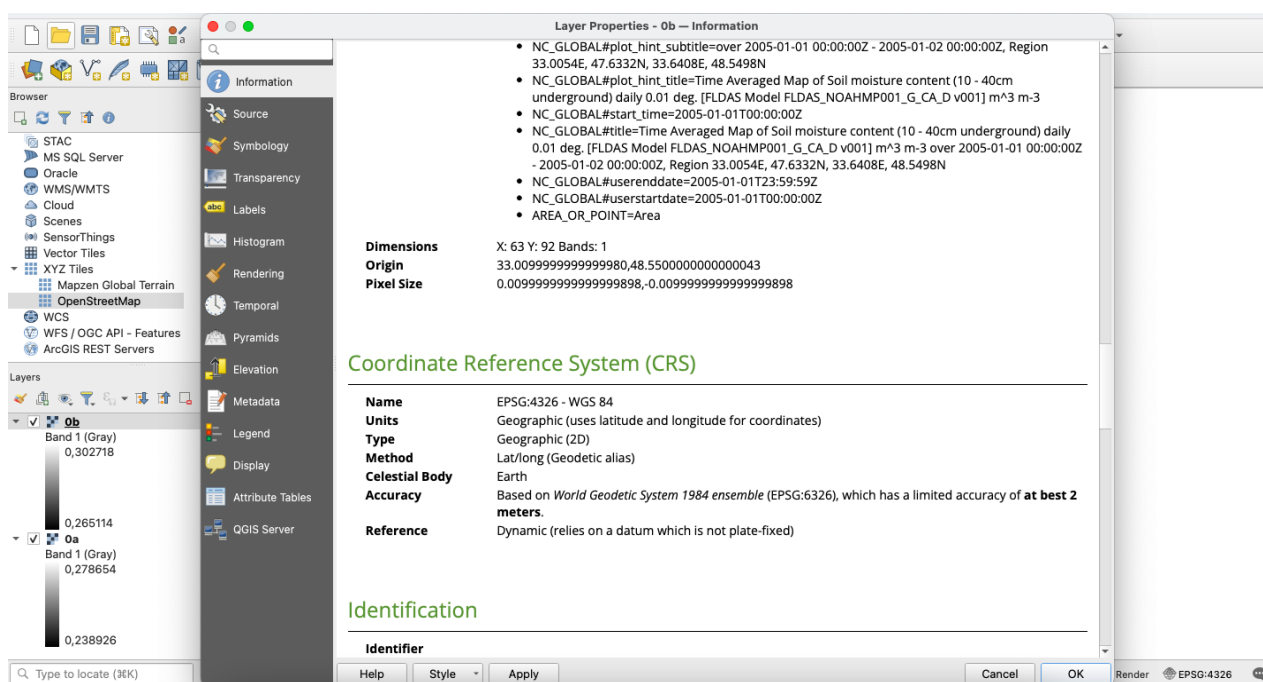


Рис.3. Перевірка параметрів Pixel Size X та Pixel Size Y

Перевірка просторового охоплення (Extent):

- Відкрити «Властивості шару» – «Інформація»;
- Знайти розділ Extent (межі охоплення) як показано на Рисунку 4;
- Порівняти: Minimum X, Maximum X, Minimum Y та Maximum Y.

У випадку якщо extent різний виправити за послідовністю: Raster – Extraction – Clip Raster by Extent або Processing Toolbox – Align Rasters.

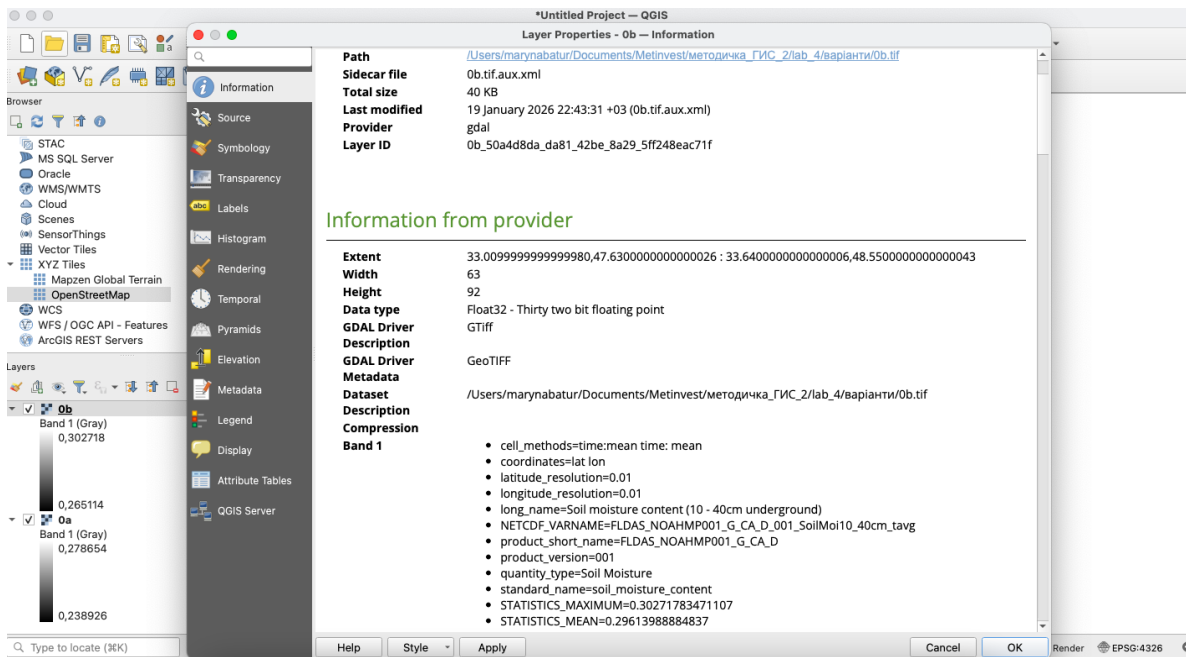


Рис.4. Перевірка параметрів просторового охоплення

Крок 4. Виконання растрових обчислень:

- Відкрити Raster – Raster Calculator як показано на Рисунок 5;
- У вікні виразу Raster Calculator Expression ввести: "0b@1" - "0a@1" (Отже, ми віднімаємо новіший растровий файл (2010 р.) від старішого растрового файлу (2005 р.) і таким чином отримуємо різницю, яка показує, як змінилася вологість ґрунту протягом цих п'яти років.)
- Вказати ім'я вихідного файлу (наприклад, soilmoisture_difference.tif);
- Натиснути Run або ОК.

Після цього в розділі Шари (Layer) ви побачите результат – з'явиться новий шар із назвою soilmoisture_difference. Деактивувавши інші растрові шари та активувавши шар soilmoisture_difference, ви зможете побачити обчислені відмінності. Це показано на Рисунок 6 нижче.

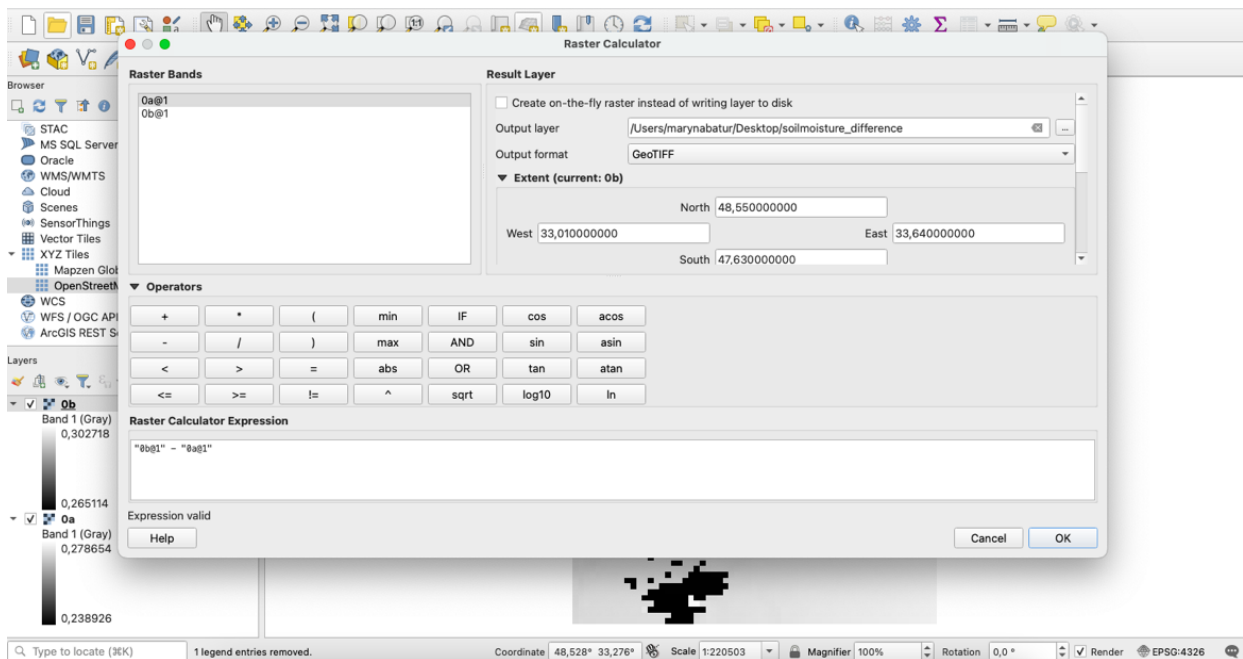


Рис.5. Виконання растрових обчислень

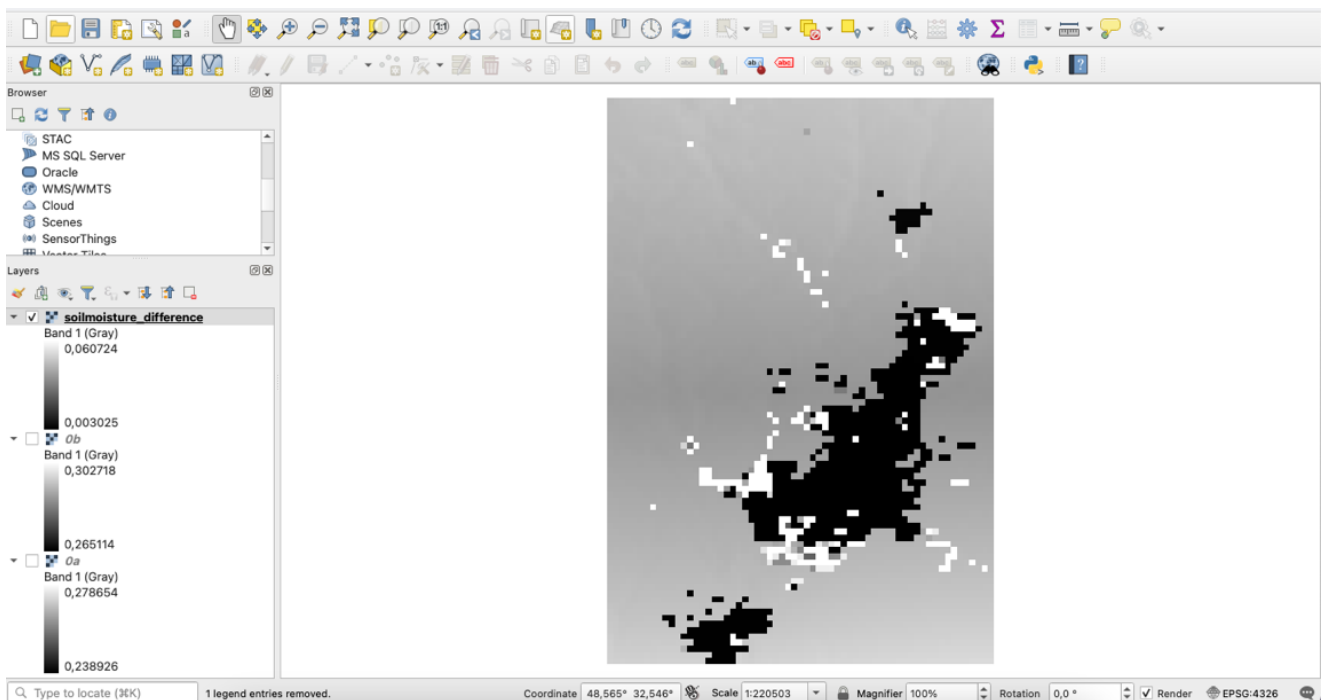


Рис.6. Результат растрових обчислень

Крок 5. Інтерпретація результатів:

На основі аналізу, проаналізувати отриману карту різниці вологості ґрунту та визначити ділянки з позитивними значеннями (збільшення вологості) та ділянки з негативними значеннями (зменшення вологості).

3.4. Приклад виконання (Варіант 0)

Отриманий файл `soilmoisture_difference.tif` необхідно зберегти у форматі JPEG через модуль макетування в QGIS. Для цього потрібно відкрити Project – New Print Layout, задати назву макета та натиснути ОК. У вікні макета обрати інструмент Add Map і виділити область на сторінці, щоб відобразити карту. За потреби додати легенду, масштабну лінійку та заголовок. Після цього перейти в меню Layout – Export as Image, у вікні збереження вибрати формат JPEG, вказати папку та назву файлу і натиснути Save. Отримане зображення у форматі JPEG необхідно вставити до звіту та виконати його інтерпретацію відповідно до результатів розрахунку.

Приклад інтерпретації наведено нижче.

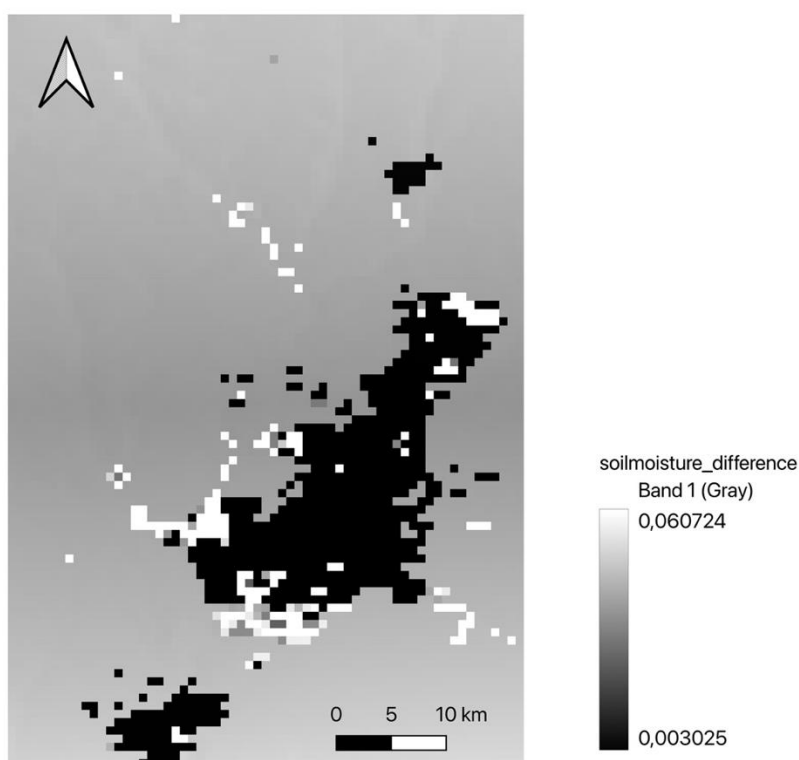


Рис.7. Просторовий розподіл змін вологості ґрунту (m^3/m^3) за період 2005 – 2010 рр. у межах території відкритого гірничого видобутку за прикладом розрахунку Варіант 0.



На отриманій карті різниці вологості ґрунту (Рисунок 7) відображено зміни показника за п'ятирічний період: світліші ділянки відповідають вищим значенням, темніші – нижчим. Важливо зазначити, що на представленій карті відсутні від'ємні значення, тобто протягом п'яти років зменшення вологості не зафіксовано. Усі зміни є додатними, що свідчить про загальну тенденцію до підвищення вологості ґрунту на досліджуваній території. Максимальне значення зміни становить приблизно $0,06 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Це означає, що об'ємна частка води в ґрунті збільшилася на 6 % в позначених місцях.

Щоб оцінити, чи є це значне збільшення, слід врахувати, що типові значення об'ємної вологості ґрунту зазвичай коливаються в межах приблизно $0,05 - 0,40 \text{ м}^3/\text{м}^3$ залежно від типу ґрунту та умов зволоження. Таким чином, зміна на $0,06 \text{ м}^3/\text{м}^3$ є помітною і може вважатися середньою або навіть досить суттєвою, особливо якщо вона охоплює значну площу.

Аналіз просторового розподілу показує, що зміни мають нерівномірний, мозаїчний характер. У центральній частині досліджуваної території переважають темніші ділянки. Це пов'язано з активною розробкою кар'єру, зняттям рослинного покриву та порушенням природного водного режиму. Натомість окремі світлі зони, які розташовані фрагментарно по периферії та місцями всередині території, свідчать про підвищення вологості. Ймовірною причиною може бути накопичення води в пониженнях рельєфу або зміна напрямків поверхневого стоку.

Отже, за період 2005 – 2010 рр. на досліджуваній території спостерігається загальна тенденція до зростання вологості ґрунту, без зон висушування. Максимальне збільшення до $0,06 \text{ м}^3/\text{м}^3$ на окремих ділянках свідчить про помітні гідрологічні зміни, які можуть бути наслідком антропогенного впливу та трансформації природного водного режиму.

Нижче наведено приклад запитань, які допоможуть виконати подібну інтерпретацію карти:



Який діапазон значень змін показника зафіксовано на карті та чи наявні від'ємні значення? Що це свідчить про загальну тенденцію змін на досліджуваній території?

Яким є максимальне значення зміни показника та як його можна інтерпретувати у відносних величинах (у відсотках)? Чи можна вважати таку зміну суттєвою з урахуванням типових природних значень?

Який характер має просторовий розподіл змін (рівномірний чи мозаїчний)? У яких частинах території спостерігаються найбільші та найменші зміни?

Які природні або антропогенні чинники можуть пояснювати виявлені просторові закономірності? Як господарська діяльність могла вплинути на отримані результати?



ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

ІНТЕРПОЛЯЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МЕЖАХ ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ТЕРИТОРІЇ МЕТОДОМ INVERSE DISTANCE WEIGHTING (IDW) У ПРОГРАМІ QGIS

4.1. Мета, завдання та значення практичної роботи

Метою цієї роботи є виконання просторової інтерполяції концентрацій забруднюючих речовин у повітрі в межах гірничодобувної території методом Inverse Distance Weighting (IDW) на основі даних наземних станцій моніторингу в середовищі QGIS. Також метою цієї практичної роботи є зосередження на методі IDW, зокрема на основних принципах його застосування для просторового аналізу даних. Особлива увага приділяється використанню цього методу для розв'язання екологічних проблем у гірничій промисловості. Практична робота базується на матеріалах лекції, присвяченої методу IDW, та спрямована на поглиблення розуміння його практичного застосування.

Завдання роботи:

- Імпортувати та візуалізувати точкові дані наземних станцій моніторингу якості повітря в QGIS;
- Ознайомитися зі структурою атрибутивної таблиці та характеристиками просторових даних;
- Виконати інтерполяцію концентрацій забруднюючих речовин методом IDW;
- Створити безперервну растрову поверхню розподілу забруднення повітря;
- Проаналізувати просторові закономірності поширення забруднення в межах гірничодобувної території.



Якість атмосферного повітря є одним із ключових екологічних показників стану довкілля, особливо в районах інтенсивної гірничодобувної діяльності. Робота кар'єрів, дробильних установок, транспортної техніки та процеси вибухових робіт спричиняють викиди пилу й газоподібних забруднювачів. Просторовий розподіл цих речовин є нерівномірним і залежить від відстані до джерел викидів, рельєфу місцевості та метеорологічних умов.

Наземні станції моніторингу надають точкові вимірювання концентрацій забруднюючих речовин. Однак для оцінки екологічного стану всієї території необхідно створити безперервну поверхню розподілу показників. Метод зворотного зваженого відстанню (IDW) базується на припущенні, що вплив виміряного значення зменшується зі збільшенням відстані від точки спостереження. Таким чином, значення у невідомих точках простору розраховуються як зважене середнє значень навколишніх станцій. Отримані результати дозволяють виявити зони підвищеного забруднення, оцінити масштаби впливу гірничих робіт на довкілля та сформулювати рекомендації щодо екологічного моніторингу й управління ризиками.

4.2. Вихідні дані для виконання роботи

Вихідні дані для виконання практичної роботи наведені у Таблиці 1 та Таблиці 2. Загалом передбачено 20 індивідуальних варіантів завдань для самостійного виконання студентами. Варіант 0 подано як приклад і використовується для детального пояснення послідовності виконання роботи в наступних розділах.

У межах досліджуваної гірничодобувної території розташовано 9 наземних станцій моніторингу якості атмосферного повітря. Таблиця 1 містить просторові координати всіх станцій моніторингу, які є однаковими для всіх студентів. Для кожної станції наведено: географічну широту (Latitude) та географічну довготу (Longitude). Ці координати використовуються для



створення точкового шару в середовищі QGIS та подальшого виконання інтерполяції методом IDW.

Таблиця 2 містить значення показника Z, що відповідає виміряному рівню забруднення атмосферного повітря (концентрація твердих частинок Particulate Matter, мг/м³) на кожній із 9 станцій. Значення Z відрізняються залежно від варіанта завдання. Таким чином:

- координати станцій (Таблиця 1) є спільними для всіх студентів;
- значення концентрацій Particulate Matter (Таблиця 2) – індивідуальні та відповідають одному з 20 варіантів.

Таблиця 1 - Географічні координати станцій

Номер станції	Географічну широта (Latitude)	Географічна довгота (Longitude)
1	47.900	33.250
2	47.905	33.275
3	47.910	33.300
4	47.880	33.335
5	47.885	33.360
6	47.900	33.345
7	47.905	33.375
8	47.935	33.385
9	47.940	33.360

Таблиця 2 – Значення концентрацій твердих частинок за варіантами та станціями спостереження

Варі- ант	Номер станції								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	40	25	18	15	18	10	32	40	42
1	42	45	48	55	58	1	62	70	72
2	55	57	60	48	50	52	55	65	68
3	30	32	35	45	48	50	52	60	63
4	60	63	66	35	38	40	42	55	58
5	48	50	53	65	68	70	72	40	42
6	70	72	75	40	42	45	48	85	88
7	35	38	40	70	73	75	78	50	52
8	65	68	72	30	32	35	38	78	80
9	52	54	57	60	63	65	68	45	48
10	40	42	45	52	55	57	60	68	19
11	58	60	63	42	45	48	50	58	60
12	33	35	38	68	70	72	75	82	85
13	62	65	68	38	40	42	45	52	55
14	45	47	50	75	78	80	85	70	62
15	68	70	73	33	35	38	40	88	90
16	90	88	40	38	35	33	73	70	68
17	62	60	82	80	78	75	40	47	45
18	60	58	50	48	35	42	63	60	59
19	52	50	78	75	73	70	40	38	35
20	88	85	48	45	42	38	75	88	70

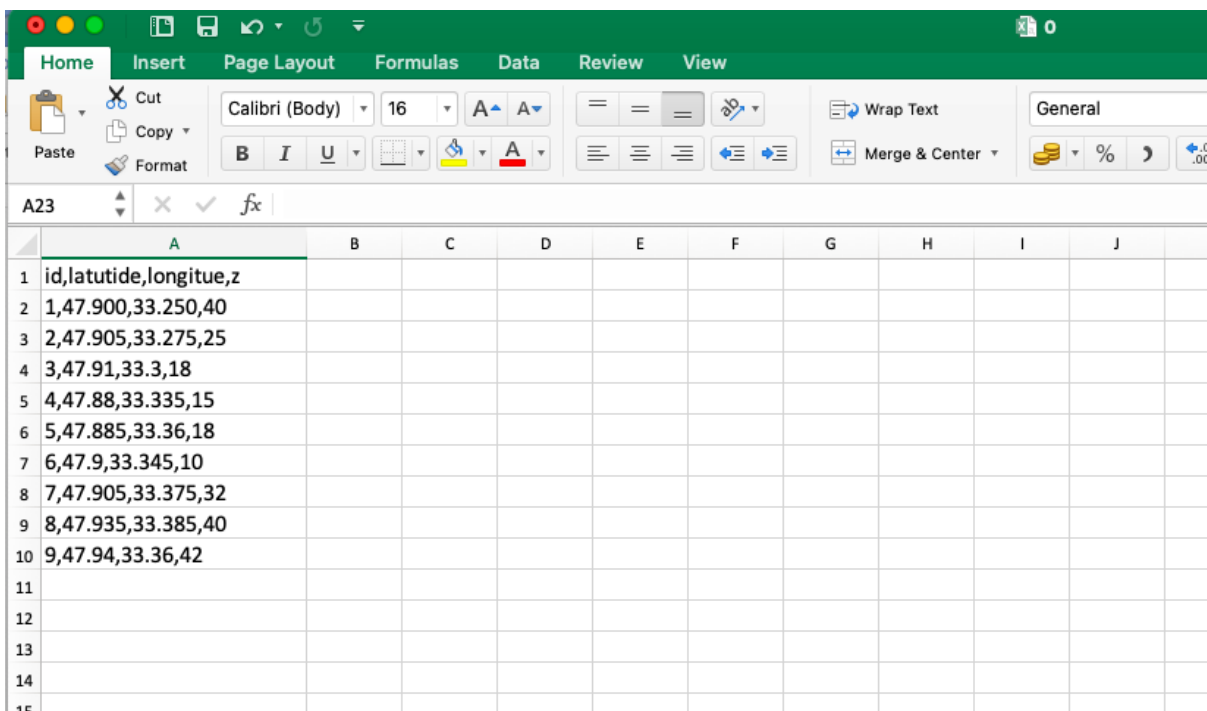
4.3. Послідовність виконання роботи

Крок 1. Підготовка вихідних даних

- Підготуйте таблицю з координатами станцій (Latitude, Longitude) та значеннями концентрацій у програмі Excel.
- Збережіть таблицю у форматі .csv.

Перед імпортом даних у QGIS необхідно правильно підготувати таблицю в програмі Excel. Усі змінні повинні бути записані в одному рядку заголовків та розділені комами. Перший рядок має містити назви полів, наприклад: id, latitude, longitude, z. Кожен наступний рядок повинен відповідати одній точці спостереження, де id – це номер станції, latitude – географічна широта, longitude – географічна довгота, а z – значення показника. Важливо використовувати крапку як десятковий роздільник для координат (47.900, а не 47,900), оскільки саме такий формат коректно зчитується QGIS. Під час збереження файлу потрібно обрати тип CSV. Правильна структура таблиці забезпечує автоматичне розпізнавання координат і коректне створення точкового шару в QGIS.

Правильний формат таблиці (Варіант 0) показан на Рисунку 1.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	id,latitude,longitude,z									
2	1,47.900,33.250,40									
3	2,47.905,33.275,25									
4	3,47.91,33.3,18									
5	4,47.88,33.335,15									
6	5,47.885,33.36,18									
7	6,47.9,33.345,10									
8	7,47.905,33.375,32									
9	8,47.935,33.385,40									
10	9,47.94,33.36,42									
11										
12										
13										
14										
15										

Рис.1. Формат таблиці Excel для імпорту даних у QGIS

Крок 2. Завантаження даних у QGIS

Відкрийте QGIS.

Оберіть Layer – Add Layer – Add Delimited Text Layer.



У новому вікні Data Source Manager (дивись Рис.2) вкажіть ваш файл .CSV.

Оберіть Geometry Definition – Point coordinates

X field – Longitude

Y field – Latitude

Встановіть систему координат (WGS 84 – EPSG:4326).

Натисніть Add.

Також рекомендується перевірити вікно Sample Data (тут же у Data Source Manager) під час імпорту CSV-файлу в QGIS (Рисунок 2). Якщо файл Excel підготовлений правильно, у таблиці попереднього перегляду кожна змінна буде відображатися в окремому стовпці: id, latitude, longitude та z. Це означає, що програма коректно розпізнала роздільник (кому) і правильно зчитала структуру даних.

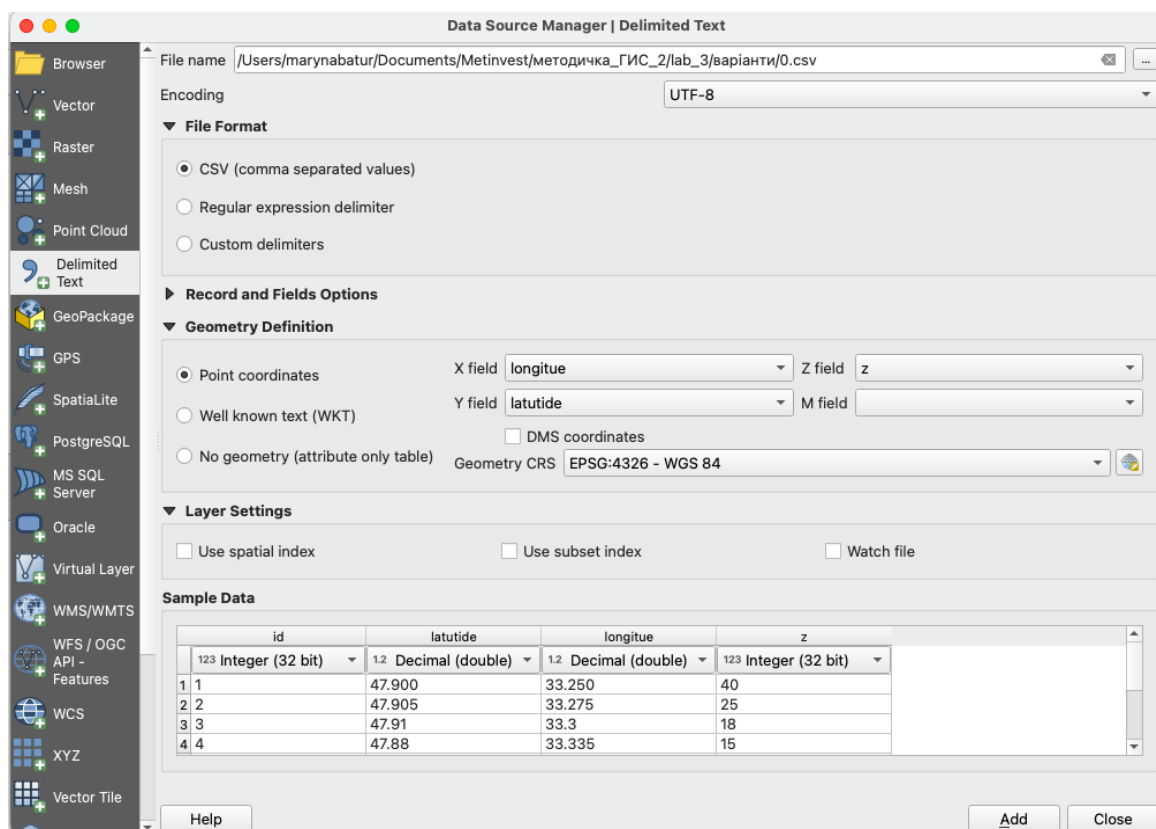


Рис.2. Data Source Manager – імпорт даних у QGIS

Після виконання цього кроку у головному вікні QGIS відобразяться ваші точки (станції), як показано на Рисунку 3. Якщо координати були введені правильно, точки будуть розташовані у відповідному географічному положенні на карті. Це означає, що імпорт даних виконано коректно і шар готовий до подальшого просторового аналізу та інтерполяції.

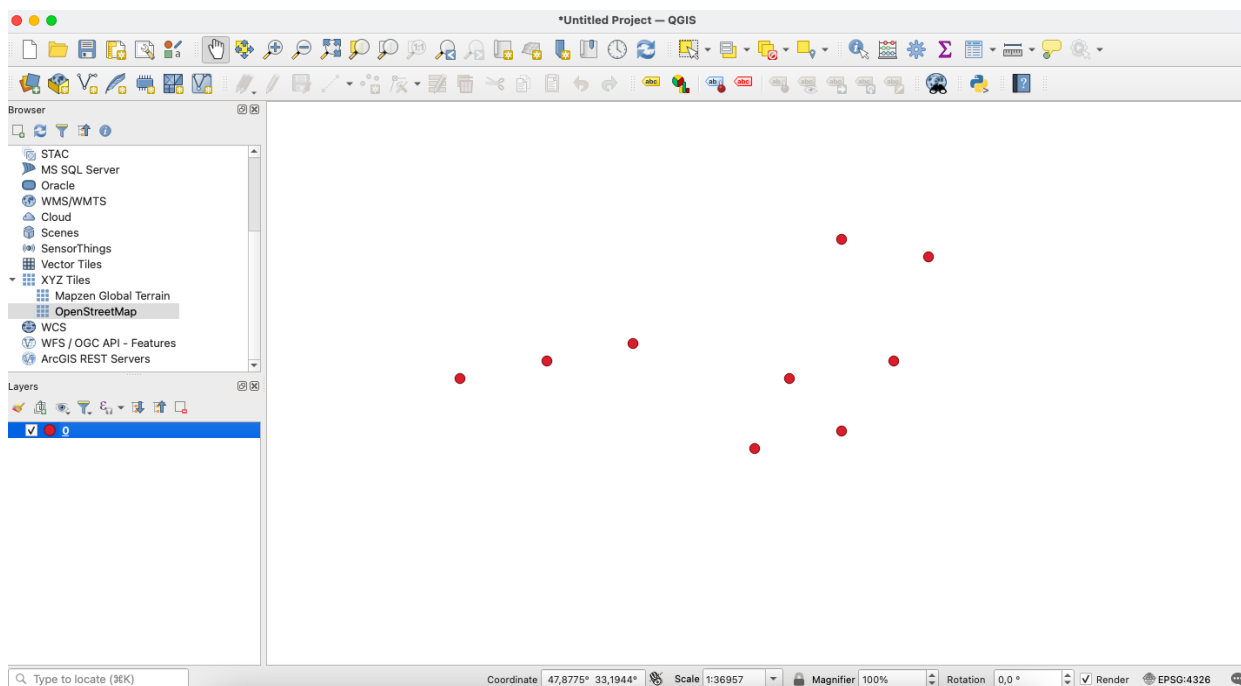


Рис.3. Результат імпорту даних – нанесення точок (станцій)

Крок 3. Побудова інтерполяції методом IDW

Відкрийте Processing Toolbox (Рисунок 4).

Оберіть Interpolation – IDW Interpolation.

У параметрах вкажіть:

Input layer – шар станцій

Interpolation attribute – поле з концентрацією PM

Distance coefficient (Power) – 2

Extent – calculate from layer

Output raster size – розмір пікселя (наприклад, 30)

Натисніть Run.

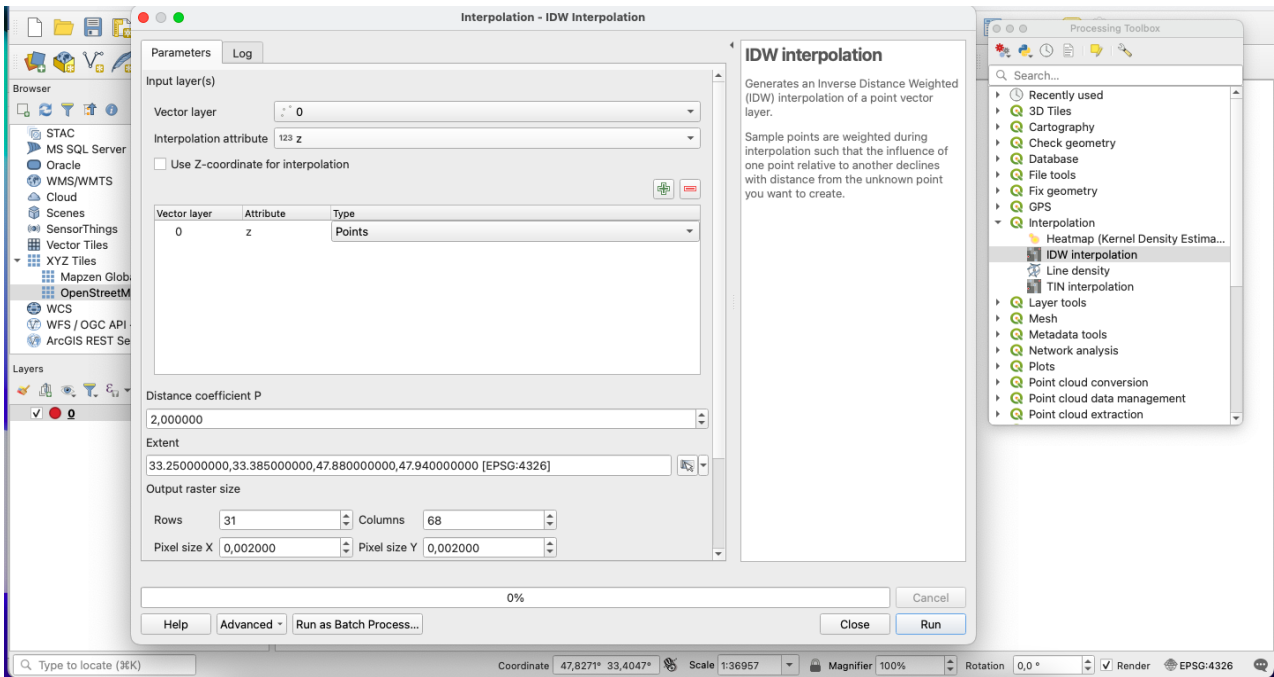


Рис.4. Побудова інтерполяції методом IDW

Після цього в розділі Шари (Layers) ви зможете побачити результат – інтерпольовану карту, як показано на Рисунку 5.

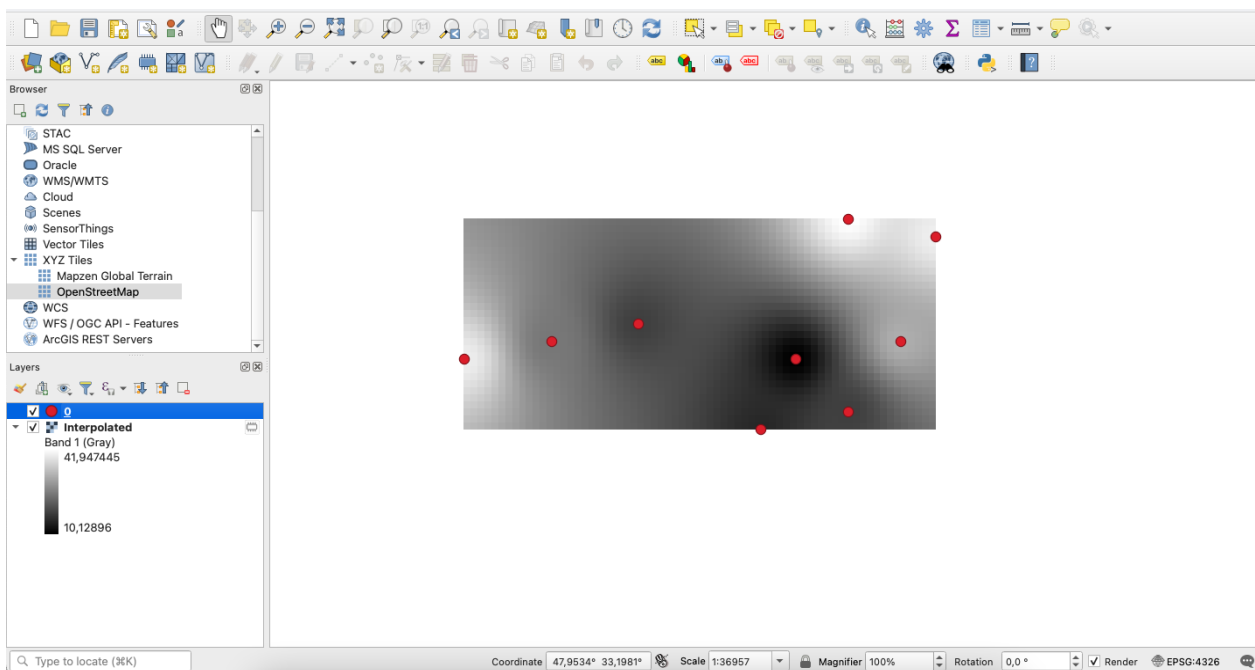


Рис.5. Результат інтерполяції методом IDW

Крок 4. Налаштування візуалізації растру

Правий клік по отриманому растру – Properties – Symbology (Рисунок 6).

Оберіть Singleband pseudocolor.

Встановіть:

Color ramp (градієнт кольорів)

Mode (наприклад, Equal Interval або Natural Breaks)

Classes – 5

Натисніть Classify – Apply – ОК.

Тут ми налаштовуємо зовнішній вигляд растру, щоб він був зрозумілим і наочним. Ми обираємо Singleband pseudocolor, щоб значення растру відображалися різними кольорами. Далі вибираємо Color ramp – тобто градієнт кольорів, який показує перехід від менших значень до більших (наприклад, від світлого до темного). У полі Mode визначаємо спосіб поділу значень на інтервали (наприклад, Equal Interval – рівні інтервали або Natural Breaks – природні розриви). Встановлюємо Classes – 5, тобто розділяємо всі значення на 5 груп. Після натискання Classify програма автоматично розподіляє значення по цих групах. У результаті з'являється кольорова шкала (легенда), яка показує, які кольори відповідають певним значенням на карті як показано на Рисунку 7.

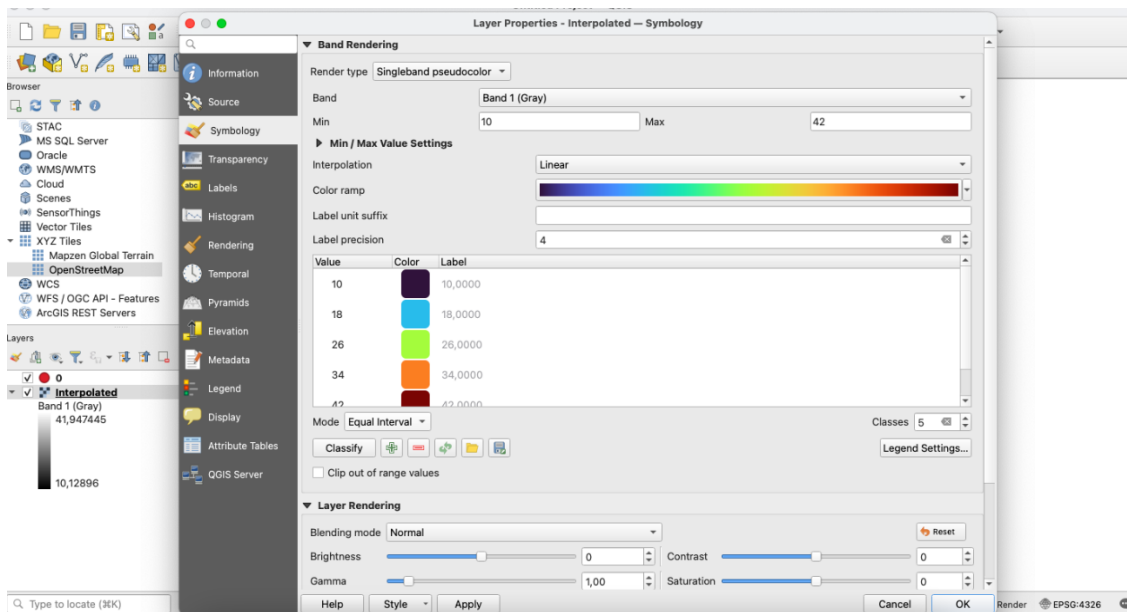


Рис.6. Налаштування візуалізації растру

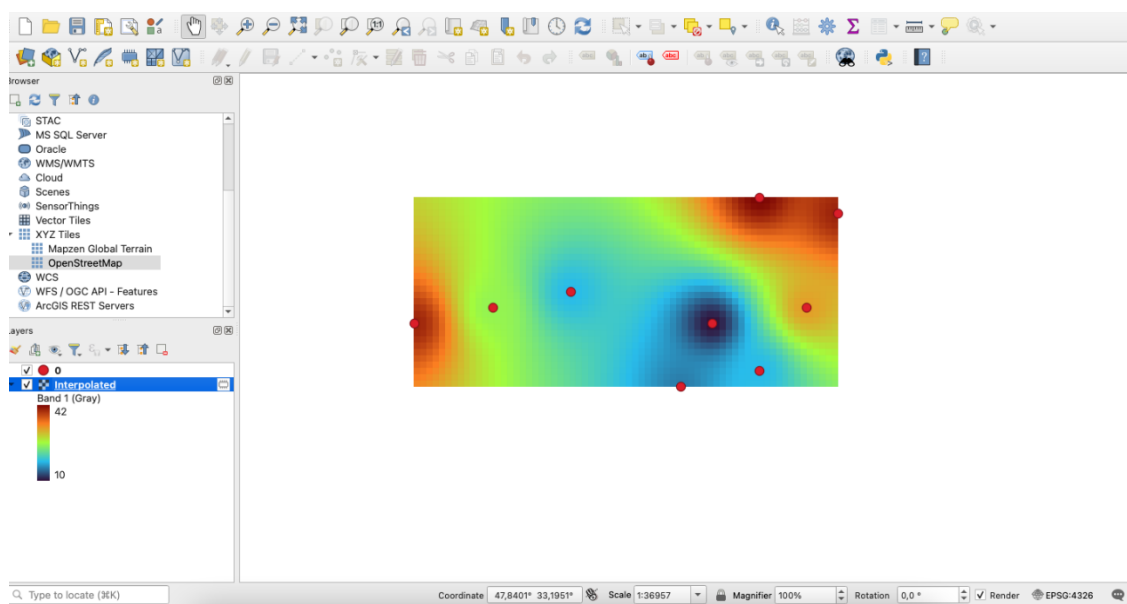


Рис.7. Кінцевий результат інтерполяції

Крок 5. Інтерпретація результатів

Після побудови інтерполяційної карти методом IDW необхідно виконати її просторовий аналіз та сформулювати висновки. На цьому етапі слід визначити загальний характер розподілу показника по території, встановити зони підвищених і знижених значень, а також оцінити просторові закономірності їх зміни.

4.4. Приклад виконання (Варіант 0)

Отриману інтерполяцію необхідно зберегти у форматі JPEG через модуль макетування в QGIS. Для цього потрібно відкрити Project – New Print Layout, задати назву макета та натиснути ОК. У вікні макета обрати інструмент Add Map і виділити область на сторінці, щоб відобразити карту. За потреби додати легенду, сітку координат, масштабну лінійку та заголовок. Після цього перейти в меню Layout – Export as Image, у вікні збереження вибрати формат JPEG, вказати папку та назву файлу і натиснути Save. Отримане зображення у форматі JPEG необхідно вставити до звіту та виконати його інтерпретацію відповідно до результатів розрахунку.

Приклад інтерпретації наведено нижче.

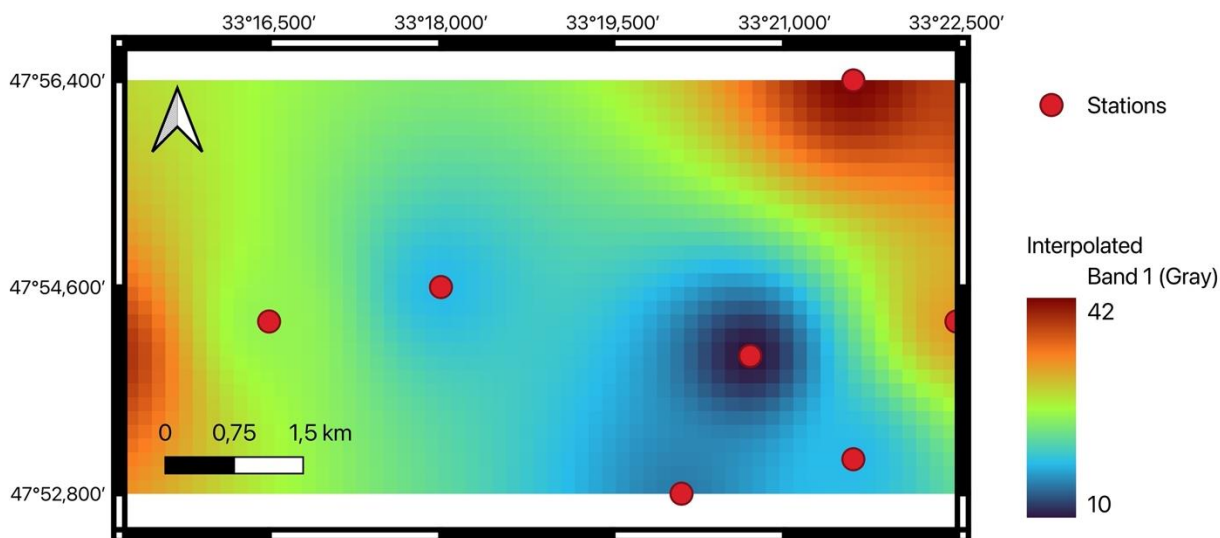


Рис.8. Інтерполяція показників забруднення атмосферного повітря в межах гірничодобувної території методом IDW

Побудована карта (Рисунок 8) відображає просторовий розподіл концентрацій дрібнодисперсних частинок, отриманий методом зворотного зважування за відстанню. Інтерполяційна поверхня створена на основі даних моніторингових станцій і демонструє безперервний розподіл рівнів забруднення в межах досліджуваної гірничодобувної території.



На карті чітко простежуються зони підвищених і знижених концентрацій. Найвищі значення (позначені теплими кольорами – жовто-помаранчевими та червоними відтінками) зосереджені у північно-східній частині території. Це може свідчити про локалізацію основних джерел викидів у цій частині району, що потенційно пов'язано з технологічними процесами видобутку, транспортуванням породи або функціонуванням допоміжної інфраструктури. Найнижчі концентрації (сині відтінки) спостерігаються у центрально-південній частині території. Формування «депресії» концентрацій навколо однієї зі станцій свідчить про локально кращі умови якості повітря або про віддаленість від активних джерел пиловиділення. Плавний перехід кольорів між зонами підтверджує поступову зміну показників, що характерно для дифузійного поширення забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери.

Просторова мінливість показників обумовлена кількома чинниками: розташуванням стаціонарних джерел викидів; напрямком та швидкістю вітру; рельєфом місцевості; особливостями виробничої діяльності; щільністю розташування моніторингових пунктів. Метод IDW формує поверхню таким чином, що найбільший вплив на значення в кожній точці мають найближчі станції спостереження. Тому навколо пунктів з високими або низькими значеннями формуються характерні концентричні зони впливу.

До переваг методу IDW можна віднести:

- Простота реалізації та інтерпретації. Метод легко застосовується в ГІС-середовищах і не потребує складних статистичних припущень;
- Чітке врахування просторової близькості. Значення визначаються на основі принципу: ближче – сильніший вплив;
- Відсутність потреби у великій кількості даних. Метод ефективний навіть при обмеженій кількості точок спостереження;
- Контроль параметрів. Можливість регулювання коефіцієнта $power$ дозволяє змінювати ступінь згладжування поверхні;



Разом з тим IDW не враховує фізичні процеси переносу домішок (вітер, турбулентність), а тому результати є статистично-геометричною оцінкою, а не повноцінною моделлю атмосферної дисперсії.

Таким чином, побудована карта дозволяє визначити зони підвищеного ризику для населення та працівників, локалізувати потенційні джерела інтенсивного пилового забруднення, планувати розміщення додаткових станцій моніторингу, обґрунтовувати природоохоронні заходи, здійснювати порівняльний аналіз варіантів виробничої діяльності, використовувати результати для екологічної оцінки впливу на довкілля.

Нижче наведено приклад запитань, які допоможуть виконати подібну інтерпретацію карти:

Що саме відображає побудована карта? Який показник інтерпольовано та який метод використано для створення безперервної поверхні?

Який діапазон значень концентрацій зафіксовано на карті? Де розташовані зони найвищих та найнижчих показників?

Який характер має просторовий розподіл забруднення? Чи є він рівномірним, локалізованим, мозаїчним? Чи простежуються градієнти зміни показників?

Які можливі причини формування зон підвищених та знижених концентрацій? Яку роль можуть відігравати: джерела викидів, напрямок вітру, рельєф, виробнича діяльність, розміщення станцій спостереження?

Як метод IDW впливає на вигляд інтерполяційної поверхні? Чому навколо станцій формуються концентричні зони впливу?

Які переваги методу IDW у даному дослідженні? Чому його доцільно застосовувати при обмеженій кількості точок?

Які обмеження має метод IDW? Чому результати не можна вважати повноцінною фізичною моделлю поширення забруднення?



Яке практичне значення має отримана карта? Як її можна використати для екологічного моніторингу, оцінки ризиків, планування природоохоронних заходів, управлінських рішень?



ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ТЕХНОГЕННО ІНДУКОВАНОЇ СЕЙСМІЧНОСТІ МЕТОДОМ К-СЕРЕДНІХ (K-MEANS)

5.1. Мета, завдання та значення практичної роботи

Метою практичної роботи є ознайомлення студентів із методом кластерного аналізу k-середніх (k-means) та набуття практичних навичок його застосування для аналізу просторових даних техногенно індукованої сейсмічності.

Основними завданнями роботи є:

- вивчення теоретичних основ методу k-середніх;
- підготовка та попередня обробка просторових даних сейсмічних подій;
- виконання кластеризації з використанням інструментів ГІС;
- візуалізація отриманих кластерів на карті;
- аналіз та інтерпретація просторової структури сейсмічності.

Значення даної практичної роботи полягає у формуванні розуміння просторових закономірностей розподілу техногенно індукованих сейсмічних подій. Застосування кластерного аналізу дозволяє виділити зони концентрації сейсмічної активності, які можуть бути пов'язані з конкретними гірничими об'єктами або технологічними процесами. Це, у свою чергу, є важливим для оцінки геодинамічних ризиків, підвищення безпеки гірничих робіт та прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері надрокористування.



5.2. Вихідні дані для виконання роботи

Вихідні дані для виконання цієї практичної роботи надаються викладачем за індивідуальним запитом студента. Дані представлені у вигляді електронного файлу формату Excel, який містить інформацію про техногенні землетруси. Файл включає просторові та атрибутивні дані. До просторових даних належать географічні координати кожної події – широта (latitude) та довгота (longitude), що дозволяє відобразити їх на карті. Атрибутивні дані містять основні характеристики кожного землетрусу, зокрема дату виникнення, глибину та магнітуду. Для подальшої роботи у програмному середовищі QGIS файл вже попередньо підготовлений і збережений у форматі CSV. Структура таблиці впорядкована відповідно до вимог імпорту в QGIS: назви колонок задані коректно, координати записані в числовому форматі, а всі записи розділені стандартними розділювачами. Це дозволяє без додаткової обробки завантажити файл як точковий шар і одразу перейти до аналізу. Загалом підготовлено 20 різних варіантів файлів, які розподіляються між студентами індивідуально. Кожен студент працює зі своїм варіантом даних. У даних методичних вказівках як приклад використовується Варіант 0.

5.3. Послідовність виконання роботи

Крок 1. Додавання Excel-файлу до QGIS

Відкрийте програму QGIS.

У верхньому меню виберіть Layer – Add Layer – Add Delimited Text Layer (дивись Рисунок 1).

Натисніть Browse та оберіть підготовлений Excel-файл (.csv) з даними про техногенні землетруси.

У полі Geometry Definition оберіть Point coordinates.

Вкажіть відповідні поля:

X field – довгота (Longitude)

Y field – широта (Latitude)

Встановіть систему координат WGS 84 (EPSG:4326).

Натисніть Add, після чого точки землетрусів з'являться на карті.

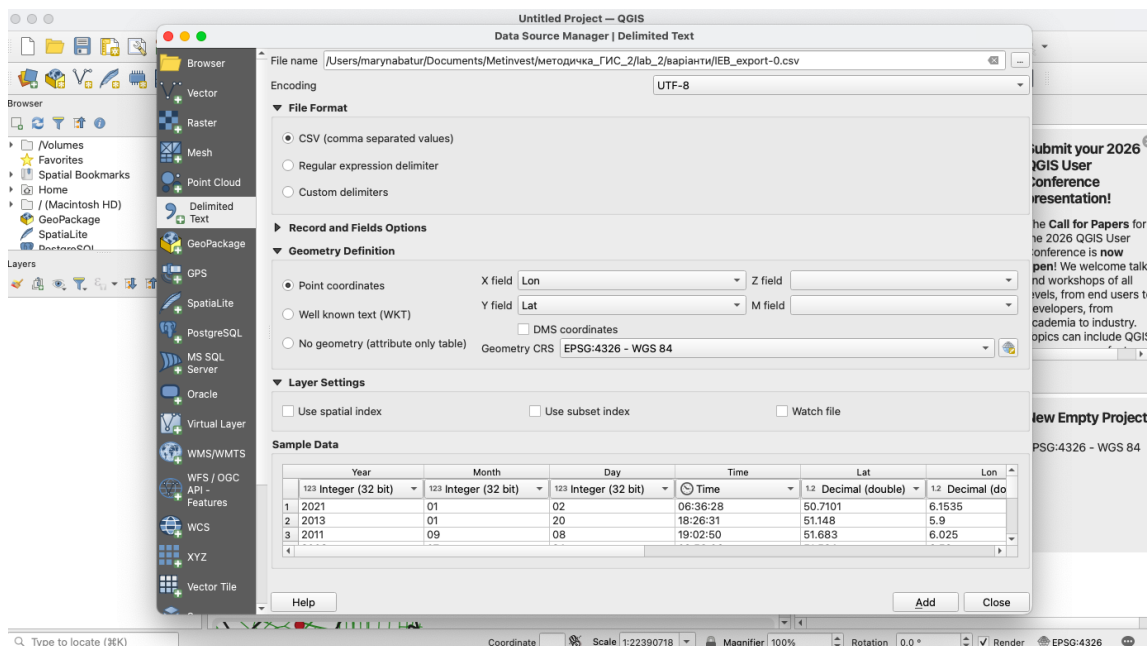


Рис.1. Data Source Manager – імпорт даних у QGIS

Крок 2. Виконання кластеризації методом k-середніх (k-means)

Відкрийте панель Processing Toolbox (якщо вона не відображається, увімкніть її через меню Processing). У полі пошуку введіть k-means clustering та оберіть відповідний інструмент (див. Рисунок 2).

У новому вікні (див. Рисунок 3) задайте такі параметри:

Input layer – оберіть шар із даними про землетруси, який ви вже додали до QGIS;

Number of clusters – встановіть значення 5;

Method – оберіть farthest points;

У розділі Advanced parameters поля Cluster field name та Cluster size field name будуть створені автоматично та після виконання кластеризації додадуться до атрибутивної таблиці.

Далі оберіть місце збереження результатів у полі Output та натисніть кнопку RUN.

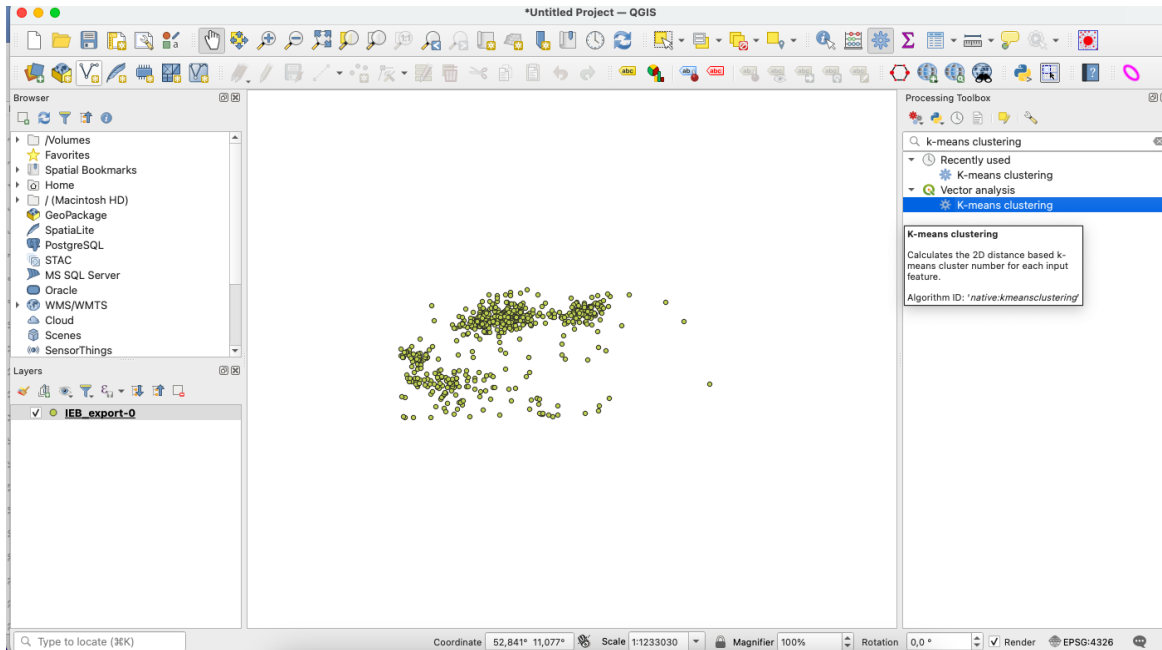


Рис.2. Панель Processing Toolbox

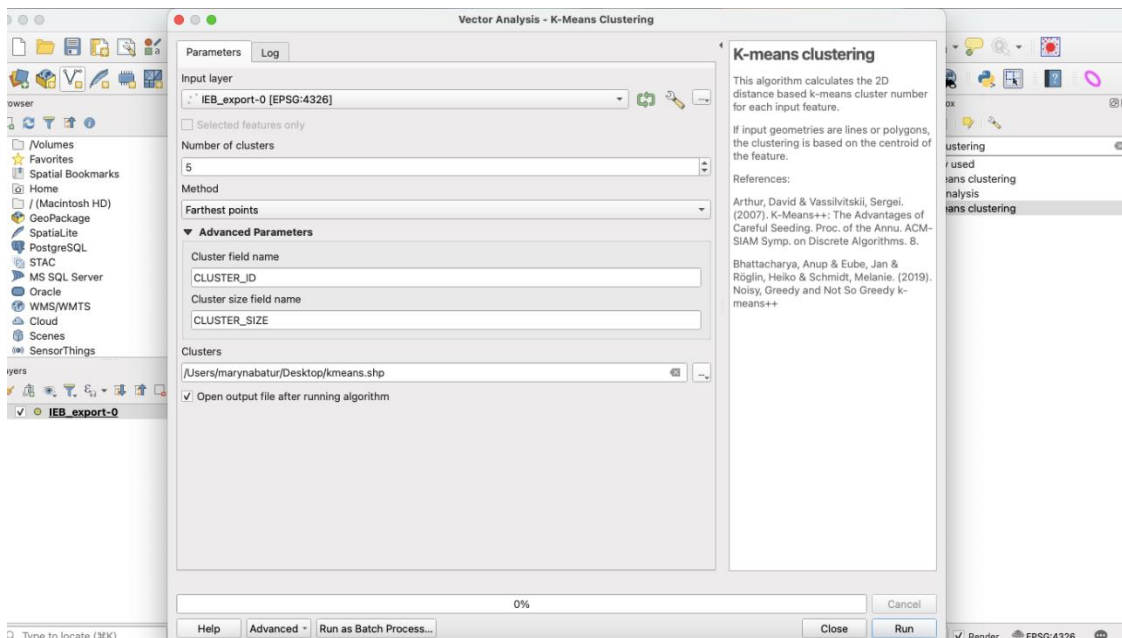


Рис.3. Панель параметрів k-means clustering

Після запуску розпочнеться процес кластеризації. Коли він завершиться, у вікні з'явиться повідомлення COMPLETE (див. Рисунок 4). Натисніть CLOSE.

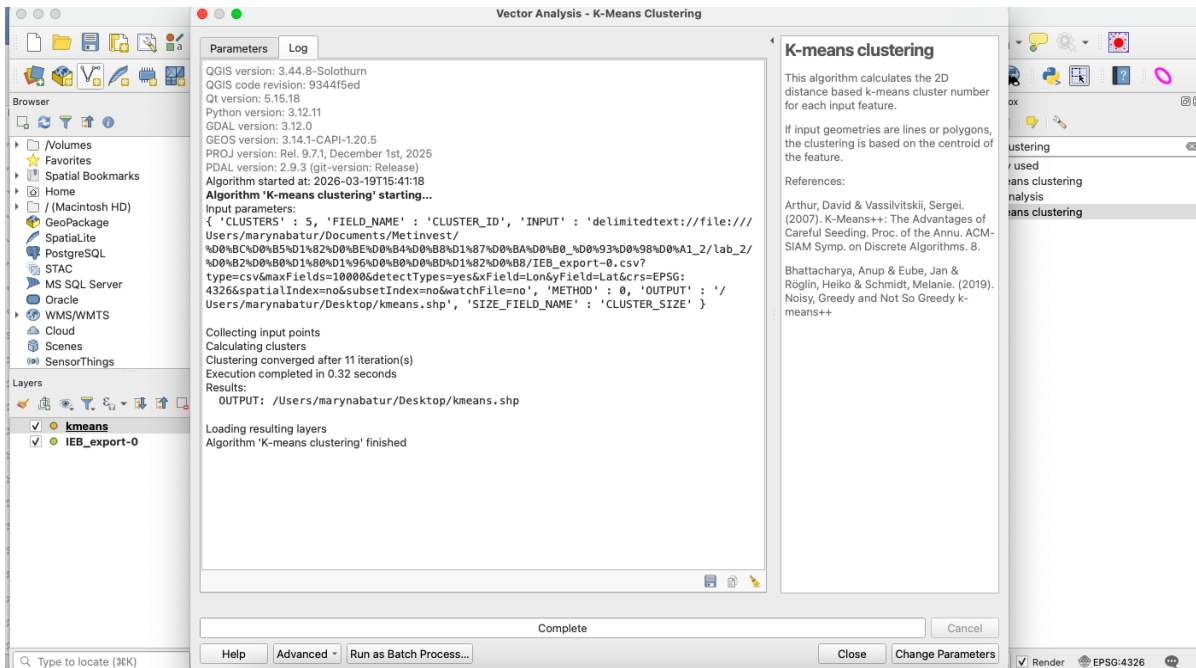


Рис.4. Завершення процесу k-means

Крок 3. Візуалізація результатів кластеризації

У вікні шарів (Layers) з'явиться новий шар із назвою kmeans. Натисніть на ньому правою кнопкою миші та оберіть Properties – Symbology.

У вікні налаштувань виконайте такі дії (див. Рисунок 5):

- оберіть тип відображення Categorized;
- у полі Value виберіть CLUSTER_ID;
- оберіть бажану кольорову шкалу (Color ramp);
- натисніть Classify, а потім OK.

Після цього у вікні QGIS ви побачите дані про землетруси, класифіковані за кластерами, як показано на Рисунок 6.

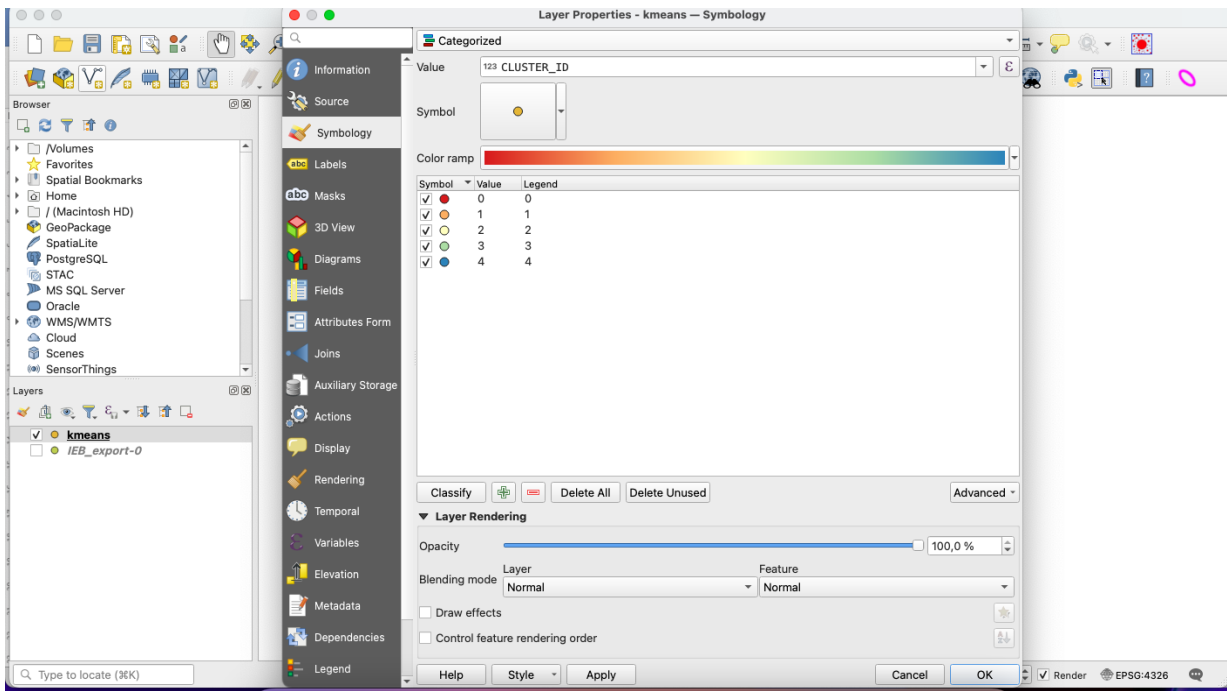


Рис.5. Вікно налаштувань Symbology

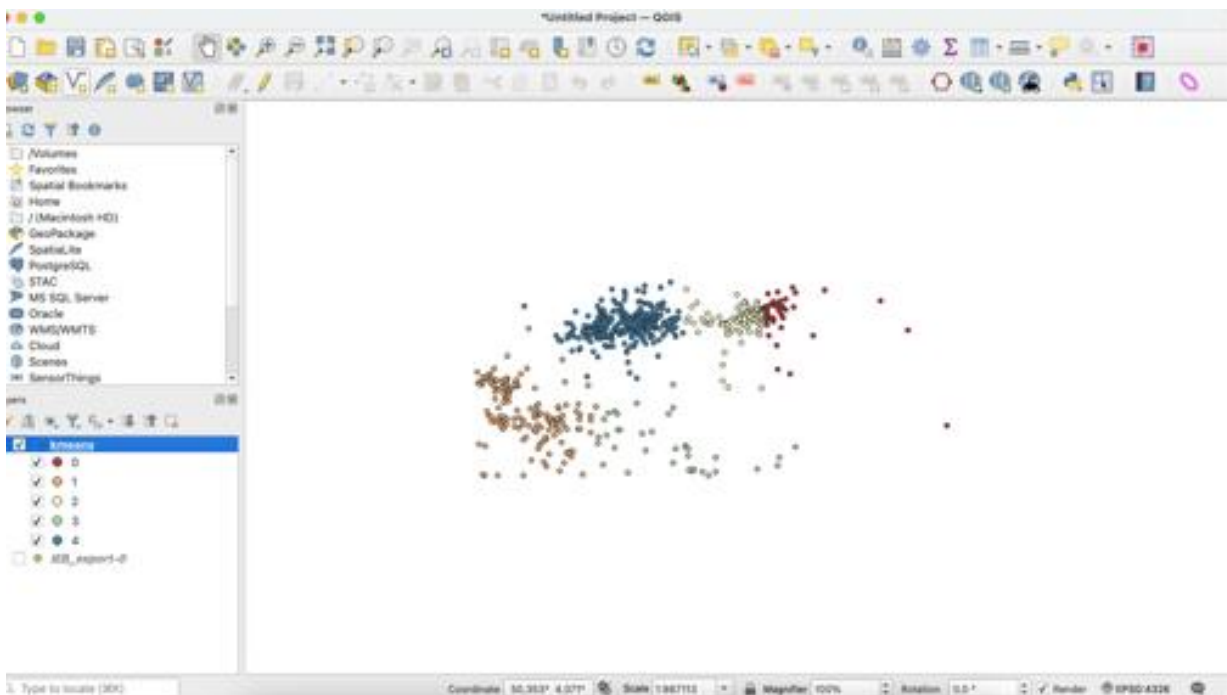


Рис.6. Відображення результатів кластеризації сейсмічних подій у QGIS

5.4. Приклад виконання (Варіант 0)

Отримані карти необхідно зберегти у форматі JPEG через модуль макетування в QGIS. Для цього потрібно відкрити Project – New Print



Layout, задати назву макета та натиснути ОК. У вікні макета обрати інструмент Add Map і виділити область на сторінці, щоб відобразити карту. За потреби додати легенду, сітку координат, масштабну лінійку та заголовок. Після цього перейти в меню Layout – Export as Image, у вікні збереження вибрати формат JPEG, вказати папку та назву файлу і натиснути Save. Отримане зображення у форматі JPEG необхідно вставити до звіту та виконати його інтерпретацію відповідно до результатів розрахунку.

Приклад інтерпретації наведено нижче.

На цій карті (Рисунок 7) показано точки сейсмічних подій (маленькі кружечки), які згруповані в кластери різними кольорами (0-4). Кожен колір відповідає окремій групі подій, що мають схожі характеристики або розташовані близько одна до одної. Видно, що кластери утворюють окремі зони: сині точки (кластер 4) щільно зосереджені в центральній частині, що вказує на зону високої активності; помаранчеві (кластер 1) розташовані ліворуч і представляють іншу активну ділянку; червоні (кластер 0) – праворуч, формуючи ще одну окрему зону. Щільність точок має важливе значення: там, де точки розміщені дуже близько одна до одної, ймовірно відбувається інтенсивна деформація порід, тоді як розріджене розташування може свідчити про слабшу або розсіяну активність. Кластери можуть відповідати різним процесам і бути пов'язаними з різними гірничими виробками, різними горизонтами (глибинами) або різними стадіями проведення робіт. Чітке просторове розділення кластерів означає, що сейсмічні події виникають у різних частинах родовища. Окремі точки, які знаходяться поза основними групами, можуть бути поодинокими подіями або вказувати на формування нової активної зони. Загалом, кластеризація допомагає зрозуміти, де саме концентрується сейсмічна активність, пов'язати її з гірничими роботами та виділити потенційно небезпечні зони, де можливі сильніші сейсмічні події.

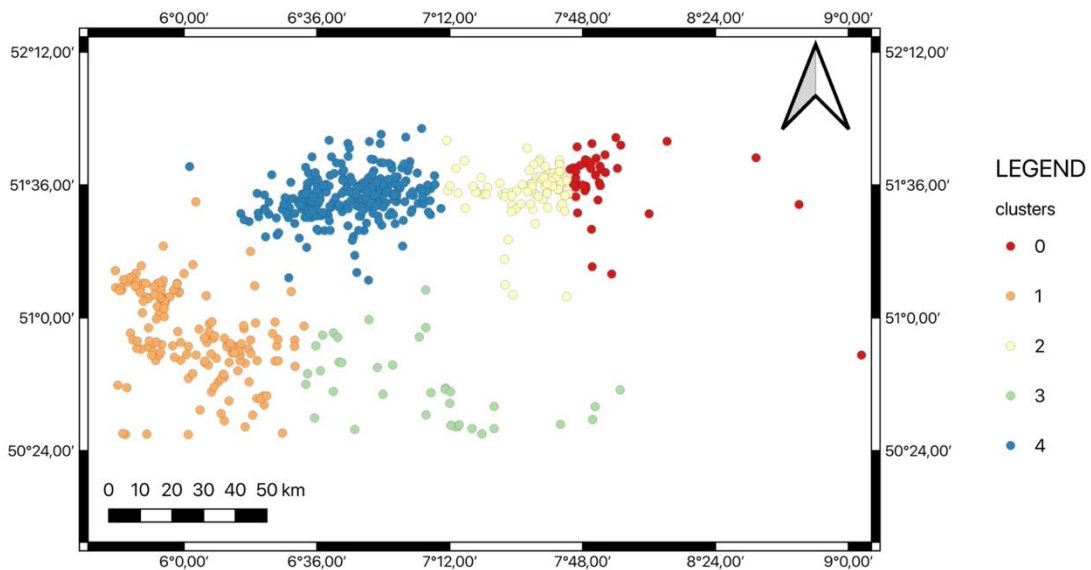


Рис.7. Кластеризація сейсмічних подій, індукованих гірничими роботами, та їх просторовий розподіл

Нижче наведено приклад запитань, які допоможуть виконати подібну інтерпретацію карти:

Що зображено на карті? Який тип даних представлений точками?

Що означають різні кольори точок?

Чи видно на карті окремі групи (кластери) подій? Скільки їх?

Де розташовані основні кластери (центр, ліворуч, праворуч)?

Який кластер є найбільш щільним? Що це може означати?

Чи є кластери з меншою щільністю? Як це можна пояснити?

Чи відокремлені кластери один від одного в просторі?

Що може бути причиною формування різних кластерів?

Чи можна пов'язати кластери з гірничими роботами (наприклад, різними виробками або горизонтами)?

Чи є поодинокі точки поза межами кластерів? Що вони можуть означати?

Які зони на карті можна вважати потенційно небезпечними?

Які загальні висновки можна зробити про розподіл сейсмічної активності?



ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ СЕЙСМІЧНОСТІ, ВИКЛИКАНОЇ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ, У QGIS З ВИКОРИСТАННЯМ PYTHON

6.1. Мета, завдання та значення практичної роботи

Мета роботи полягає у набутті практичних навичок виконання статистичного аналізу сейсмічності, викликані гірничими роботами, у середовищі QGIS із використанням мови програмування Python, а також у формуванні розуміння методів обробки, аналізу та інтерпретації просторових і атрибутивних даних.

Завдання дослідження:

- ознайомитися з вихідними просторовими та атрибутивними даними щодо гірничо-індукованих сейсмічних подій;
- здійснити імпорт, попередню обробку та структурування даних у середовищі QGIS;
- застосувати інструменти Python (PyQGIS) для виконання статистичного аналізу;
- розрахувати основні статистичні показники (середні, мінімальні та максимальні значення, дисперсію, розподіли, частоти, тощо);
- дослідити залежності між параметрами сейсмічних подій (магнітуда, глибина, тощо);
- інтерпретувати отримані результати та зробити висновки щодо характеру сейсмічності.

Використання Python у середовищі QGIS значно розширює можливості дослідження, дозволяючи автоматизувати обробку великих обсягів даних, виконувати складні статистичні обчислення та створювати аналітичні моделі. Зокрема, це дає змогу виявляти закономірності у просторово-часовому розподілі сейсмічних подій, аналізувати тренди та



оцінювати ризики. Вивчення статистичних характеристик гірничо-індукованої сейсмічності має важливе практичне значення. Отримані результати можуть бути використані для прогнозування небезпечних ситуацій, підвищення безпеки гірничих робіт, оптимізації технологічних процесів та мінімізації негативного впливу на довкілля і інфраструктуру.

6.2. Вихідні дані для виконання роботи

Вихідні дані для виконання цієї практичної роботи надаються викладачем за індивідуальним запитом студента. Дані представлені у вигляді електронного файлу формату Excel, який містить інформацію про техногенні землетруси. Файл включає просторові та атрибутивні дані. До просторових даних належать географічні координати кожної події – широта (latitude) та довгота (longitude), що дозволяє відобразити їх на карті. Атрибутивні дані містять основні характеристики кожного землетрусу, зокрема дату виникнення, глибину та магнітуду. Для подальшої роботи у програмному середовищі QGIS файл вже попередньо підготовлений і збережений у форматі CSV. Структура таблиці впорядкована відповідно до вимог імпорту в QGIS: назви колонок задані коректно, координати записані в числовому форматі, а всі записи розділені стандартними розділювачами. Це дозволяє без додаткової обробки завантажити файл як точковий шар і одразу перейти до аналізу. Загалом підготовлено 20 різних варіантів файлів, які розподіляються між студентами індивідуально. Кожен студент працює зі своїм варіантом даних. У даних методичних вказівках як приклад використовується Варіант 0.

6.3. Послідовність виконання роботи

Крок 1. Додавання Excel-файлу до QGIS

Відкрийте програму QGIS.

У верхньому меню виберіть Layer – Add Layer – Add Delimited Text Layer (дивись Рисунок 1).

Натисніть Browse та оберіть підготовлений Excel-файл (.csv) з даними про техногенні землетруси.

У полі Geometry Definition оберіть Point coordinates.

Вкажіть відповідні поля:

X field – довгота (Longitude)

Y field – широта (Latitude)

Встановіть систему координат WGS 84 (EPSG:4326).

Натисніть Add, після чого точки землетрусів з'являться на карті.

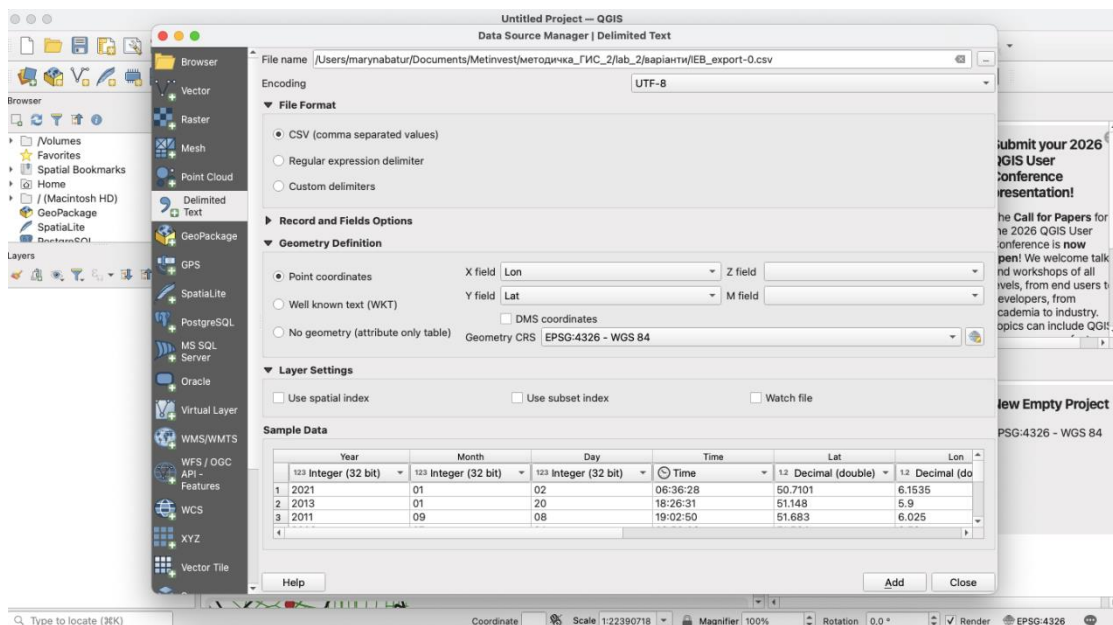


Рис.1. Data Source Manager – імпорт даних у QGIS

Крок 2. Використання векторного аналізу для розрахунку базової статистики

У верхньому меню QGIS оберіть Processing – Toolbox.

У вікні Processing Toolbox знайдіть інструмент Vector Analysis – Basic statistics for fields (див. Рисунок 2).

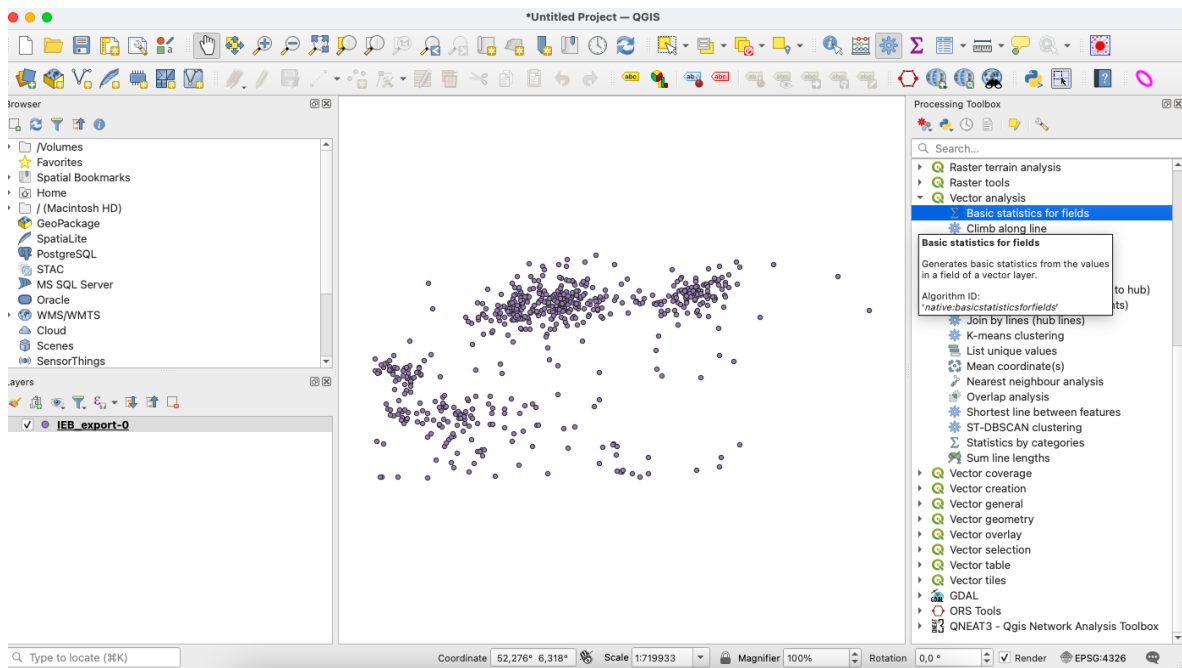


Рис.2. Вибір інструменту Basic statistics for fields у Processing Toolbox

У новому вікні оберіть:

Input layer – ваш доданий Excel-файл з даними про сейсмічність.

Field to calculate statistics on – Mag (магнітуда).

Вкажіть місце на вашому комп'ютері, куди зберегти результати, або залиште як TEMPORARY OUTPUT.

Натисніть RUN (Рисунок 3).

Після завершення обчислень відкриється вікно з результатами (Рисунок 4). Ці результати слід занести у ваш звіт. Повторіть ті ж дії для поля Depth (глибина землетрусу). Після цього у вас будуть готові статистичні показники для обох параметрів.

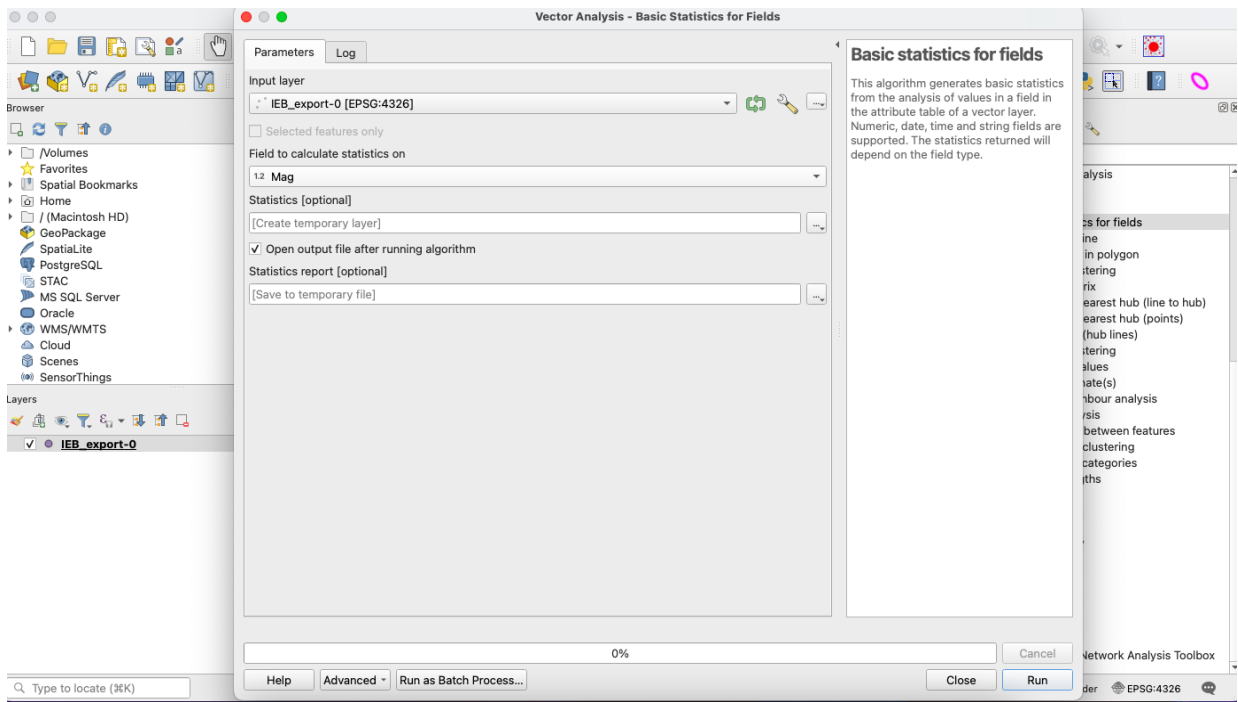


Рис.3. Вікно налаштувань інструменту Basic statistics for fields для обчислення статистики магнітуди

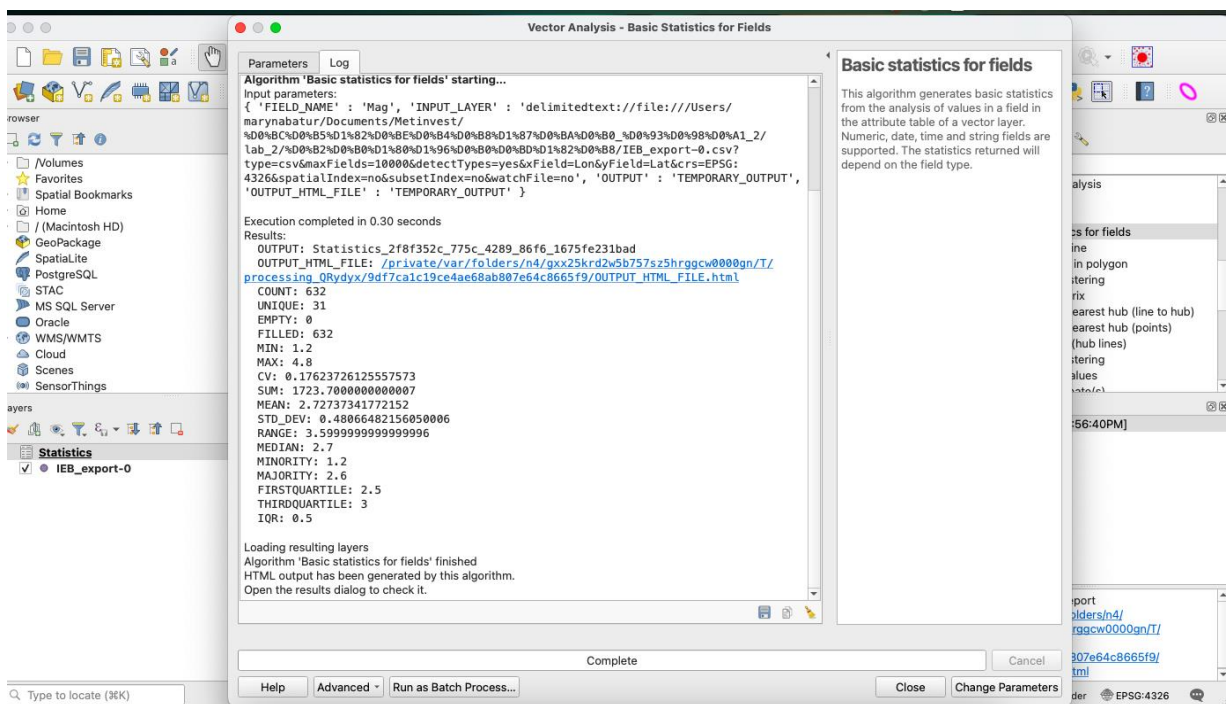


Рис.4. Результати обчислення базових статистичних показників магнітуди (Basic Statistics for Field)



Крок 3. Розрахунок коефіцієнта кореляції Пірсона за допомогою

Python

Відкрийте Python Console у QGIS:

Меню Plugins – Python Console.

У відкритому вікні скопіюйте та вставте наступний код:

```
# Get the layer by name
```

```
layer = QgsProject.instance().mapLayersByName('IEB_export-0')[0]
```

```
# Initialize lists to store values
```

```
magnitudes = []
```

```
depths = []
```

```
# Iterate over features and collect values
```

```
for feature in layer.getFeatures():
```

```
    mag = feature['Mag']
```

```
    depth = feature['Depth']
```

```
    # Make sure the values are not NULL
```

```
    if mag is not None and depth is not None:
```

```
        magnitudes.append(mag)
```

```
        depths.append(depth)
```

```
# Calculate means
```

```
mean_mag = sum(magnitudes) / len(magnitudes)
```

```
mean_depth = sum(depths) / len(depths)
```

```
# Calculate numerator and denominators
```

```
numerator = sum((m - mean_mag)*(d - mean_depth) for m,d in  
zip(magnitudes, depths))
```

```
denominator_mag = sum((m - mean_mag)**2 for m in magnitudes) ** 0.5
```

`denominator_depth = sum((d - mean_depth)**2 for d in depths) ** 0.5`

`# Pearson correlation`

`r = numerator / (denominator_mag * denominator_depth)`

`print("Pearson correlation (Mag vs Depth):", r)`

Натисніть RUN SCRIPT.

Після виконання скрипту в консолі Python з'явиться результат у червоному кольорі (Рисунок 5). Це значення коефіцієнта кореляції Пірсона слід також занести у ваш звіт.

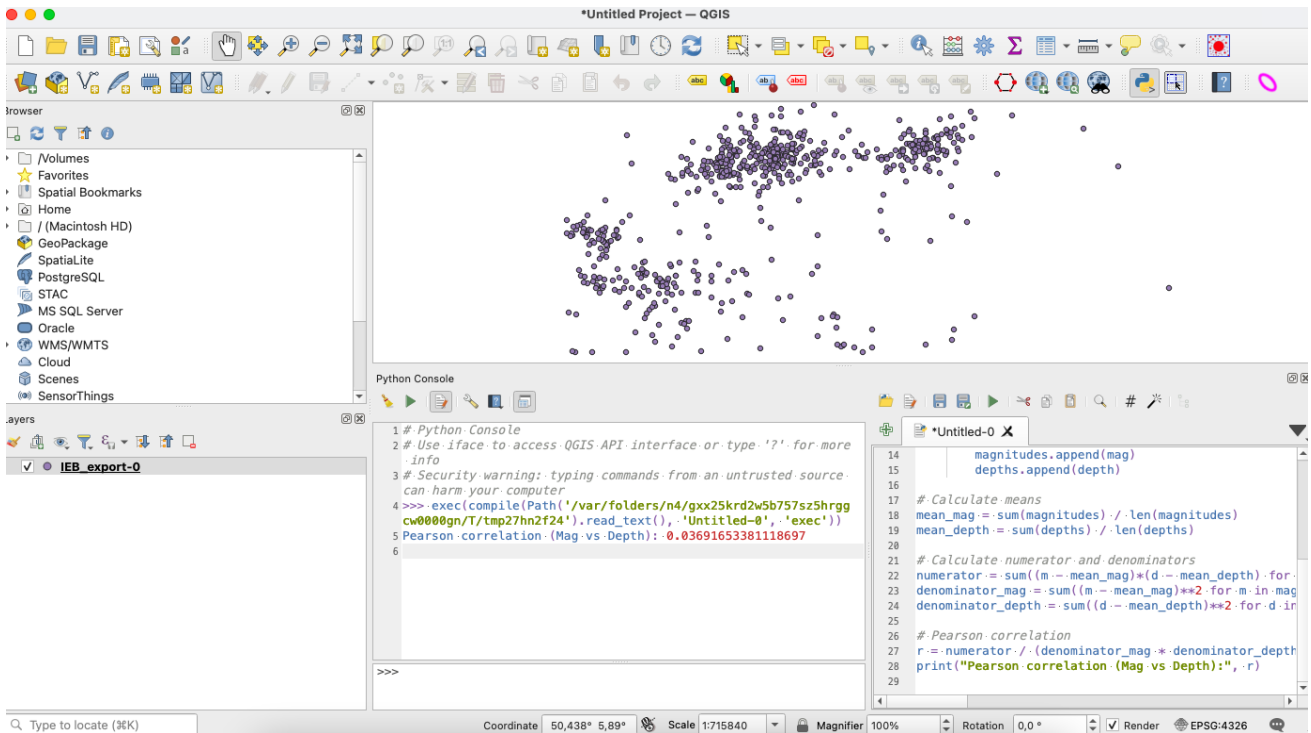


Рис.5. Результат виконання Python-скрипту: коефіцієнт кореляції Пірсона між магнітудою та глибиною

6.4. Приклад виконання (Варіант 0)

Приклад виконання роботи та інтерпретації наведено нижче.

Таблиця 3 – Статистичні показники – магнітуда та глибина.

Показник	Пояснення	Значення для магнітуди	Значення для глибини
COUNT	Загальна кількість значень	632	632
UNIQUE	Кількість унікальних значень	31	50
EMPTY	Кількість пропущених значень	0	0
FILLED	Кількість заповнених значень	632	632
MIN	Найменше значення	1.2	0
MAX	Найбільше значення	4.8	33
RANGE	Розмах значень (Max-Min)	3.6	33
MEAN	Середнє значення	2.72	7.9
MEDIAN	Медіана	2.7	10
MAJORITY	Мода	2.6	10
MINORITY	Найрідкісніше значення	1.2	1.2
STD_DEV	Стандартне відхилення	0.481	4.463
CV	Коефіцієнт варіації	0.176	0.564
FIRST QUARTILE Q1	25% значень менші за	2.5	5
THIRD QUARTILE Q3	75% значень менші за	3.0	10
IQR	Міжквартильний розмах	0.5	5

Таблиця 3 показує основні статистичні характеристики магнітуди та глибини гірничо-індукованих землетрусів отримані на основі аналізу Basic Statistics for Field. У вибірці всього 632 події, і пропущених значень немає. Магнітуда подій коливається від 1.2 до 4.8, а глибина – від 0 до 33 км. Середня магнітуда – близько 2.7, а середня глибина – приблизно 7.9 км, що означає, що більшість землетрусів слабкі й відбуваються на невеликій глибині. Медіана та мода показують, що типовий землетрус має магнітуду 2.7 – 2.6, а глибину 10 км. Розмах і стандартне відхилення показують, що магнітуда змінюється не дуже сильно, а глибина має більшу різницю між



мінімальними та максимальними значеннями, тому вона більш нерівномірна. Квартильні показники (Q1 і Q3) та міжквартильний розмах (IQR) показують, що половина магнітуд лежить між 2.5 і 3.0, а половина глибин – між 5 і 10 км, тобто більшість землетрусів невеликі та відбуваються на невеликій глибині. Коефіцієнт варіації підтверджує, що магнітуда досить стабільна, а глибина змінюється сильніше. У простих словах: землетруси за магнітудою майже однакові, а за глибиною бувають дуже різні, але більшість відбувається неглибоко.

З розрахунків у Python коефіцієнт кореляції Пірсона між магнітудою та глибиною дорівнює 0.0369. Це число дуже близьке до 0, що означає, що майже немає лінійного зв'язку між силою землетрусу (магнітудою) та його глибиною. Іншими словами, знаючи глибину землетрусу, майже неможливо передбачити його магнітуду, і навпаки. Тобто магнітуда і глибина у цій вибірці фактично не залежать одна від одної.

Нижче наведено приклад запитань, які допоможуть виконати подібну інтерпретацію:

Скільки всього подій у вибірці? Є пропущені значення?

Яка найменша і найбільша магнітуда? А глибина?

Яке середнє значення магнітуди та глибини? Що це означає про типі землетруси?

Яка медіана та мода магнітуди і глибини? Що вони показують?

Який розмах і стандартне відхилення для магнітуди та глибини? Що це означає про змінність даних?

Які значення першого (Q1) та третього (Q3) квартилю? Який міжквартильний розмах (IQR)?

Що показує коефіцієнт варіації для магнітуди та глибини?

Яке значення коефіцієнта кореляції Пірсона між магнітудою та глибиною? Що це означає про їх зв'язок?

Як можна простими словами описати загальний розподіл магнітуд і глибин у вибірці?



КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Кожна практична робота оцінюється максимум у 6 балів.

Таблиця 4 - Критерії оцінювання практичних робіт

Кількість балів	Критерії оцінювання
6	Робота виконана повністю та правильно; усі завдання розв'язані; результати обґрунтовані, оформлення чітко та логічне
5	Робота виконана майже повністю; наявні незначні помилки або неточності, які не впливають суттєво на загальний результат
4	Виконано більшу частину завдань; окремі помилки в поясненнях; обґрунтування частково неповне
3	Виконано приблизно половину завдань; відповіді поверхневі або недостатньо обґрунтовані
1-2	Виконано незначну частину роботи; відповіді фрагментарні, відсутні пояснення
0	Роботу не подано або вона не відповідає завданню



РЕКОМЕНДОВАНИ ДЖЕРЕЛА

1. Moyroud N., Portet F. Introduction to QGIS // QGIS and Generic Tools/eds. N. Baghdadi, C. Mallet, M. Zribi. 2018. DOI: 10.1002/9781119457091.ch1.

2. Ahmed Z., Krupnik T. J., Kamal M. Introduction to basic GIS and spatial analysis using QGIS: Applications in Bangladesh. Dhaka : CIMMYT-Bangladesh, 2018. P. 80–94.

3. Bian Z., Lei S., Inyang H. I., Chang L., Zhang R., Zhou C., He X. Integrated method of RS and GPR for monitoring the changes in the soil moisture and groundwater environment due to underground coal mining // Environmental Geology. 2009. Vol. 57, No. 1. P. 131–142. DOI: 10.1007/s00254-008-1289-x.

4. Karan S. K., Samadder S. R., Maiti S. K. Assessment of the capability of remote sensing and GIS techniques for monitoring reclamation success in coal mine degraded lands // Journal of Environmental Management. 2016. Vol. 182. P. 272–283. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.07.070.

5. Batur M., Babii K. Spatial assessment of air pollution due to mining and industrial activities: a case study of Kryvyi Rih, Ukraine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 970, No. 1. Art. 012004. DOI: 10.1088/1755-1315/970/1/012004.

6. Miao D., Wang W., Lv Y., Liu L., Yao K., Sui X. Research on the classification and control of human factor characteristics of coal mine accidents based on K-Means clustering analysis // International Journal of Industrial Ergonomics. 2023. Vol. 97. Art. 103481. DOI: 10.1016/j.ergon.2023.103481.



ДОДАТОК А.

**ПРИКЛАД ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра ГС**

Практична робота №1

з навчальної дисципліни

«Геоінформаційні системи в маркшейдерії»

Варіант №_

Здобувача групи 184-XX-XX
Прізвище Ім'я По батькові

Керівник:
Ph.D.
М.О. Батур

Запоріжжя, 20XX



Навчально-методичне видання

Батур Марина Олександрівна

Геоінформаційні системи в маркшейдерії:

**методичні рекомендації
до виконання практичних робіт**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції