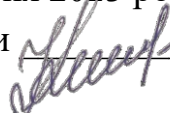



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Прийняття рішень засобами ГІС»  
для студентів 4 курсу  
рівень вищої освіти – «бакалавр»  
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні групи забезпечення  
спеціальності 122 Комп'ютерні науки  
від «30» березня 2023 року протокол №13  
Голова групи  Кузніченко С.Д.

Затверджено на засіданні  
кафедри Інформаційних технологій  
протокол № 6 від «16» березня 2023 р.  
Зав. кафедри  Казакова Н.Ф.

ОДЕСА – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Прийняття рішень засобами ГІС»  
для студентів 4 курсу  
рівень вищої освіти – «бакалавр»  
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

ОДЕСА – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Прийняття рішень засобами ГІС»  
для студентів 4 курсу  
рівень вищої освіти – «бакалавр»  
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Затверджено  
на засіданні групи  
забезпечення спеціальності  
Протокол № 13  
від «30» березня 2023 р.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Прийняття рішень засобами ГІС» для студентів 4 курсу очної форми навчання, спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» / Укладачі: к.геогр.н., доц. Кузніченко С.Д., ас. Молчанова А.Ю.

## ЗМІСТ

Передмова .....	6
Лабораторна робота № 1 .....	8
Лабораторна робота № 2 .....	23
Лабораторна робота № 3 .....	33
Лабораторна робота № 4 .....	39
Лабораторна робота № 5 .....	45
Основна література .....	52
Додаткова література .....	52

## Передмова

Освоєння дисципліни «Прийняття рішень засобами ГІС» на сучасному рівні необхідно для формування у студентів комплексного підходу до розробки прикладних геоінформаційних технологій на основі знань з теорії прийняття рішень та геоінформатики. Вивчення дисципліни «Прийняття рішень засобами ГІС» повинно сформувати навички застосування та інтегрування моделей та методів прийняття рішень у геоінформаційні системи в професійній діяльності.

### *Мета та задачі*

Метою методичних вказівок є вивчення студентами загальних і спеціальних знань та придбання практичних навичок з методологічних та технологічних основ створення геоінформаційних систем підтримки прийняття рішень в різних прикладних областях.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні *знати*:

– основи теорії прийняття рішень і експертного оцінювання; моделі та методи прийняття рішень за умов багатокритеріальності та їх формалізація в географічному просторі; методи прийняття рішень за умов нечіткості інформації, невизначеності та ризику; моделі та методи групового прийняття рішень; технології інтеграції методів прийняття рішень в геоінформаційні системи.

*вміти*:

– застосовувати методи та моделі теорії прийняття рішень для обґрунтування та прийняття управлінських і технічних рішень засобами ГІС, за умов багатокритеріальності, невизначеності та ризику; використовувати та створювати інструменти програмної реалізації моделей прийняття рішень; інтегрувати методи прийняття рішень та багатокритеріального аналізу рішень в геоінформаційні системи.

Дисципліна «Прийняття рішень засобами ГІС» відноситься до вибіркових дисциплін спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Логічно і змістовно-методично дисципліна базується на компетенціях, сформованих при вивченні дисциплін: алгоритмізація та програмування, організація баз даних та знань, методи та моделі нечіткої логіки, просторове моделювання та ГІС-аналіз, картографічні WEB-сервіси, технологія створення програмних продуктів та теорія прийняття рішень.

## Методика проведення та оцінювання лабораторних робіт

Контроль проводиться в формі:

– усного опитування при підготовці до лабораторної роботи з метою допуску до її виконання (кількість запитань – до 5, максимальна кількість балів – 5),

– захисту результатів лабораторної роботи наведених у звіті до лабораторної роботи (кількість запитань залежить від ходу виконання студентом роботи і якості звіту, інформація щодо максимальної кількості балів за кожну лабораторну роботу наведена в табл.1).

Таблиця 1 – Максимальна кількість балів за захист лабораторних робіт

№ ЛР	Назва лабораторної роботи	Максимальна кількість балів	Загальний бал за ЛР
1	Структуризація проблеми. Обробка вихідних геоданих для завдання багатокритеріального аналізу рішень.	5	10
2	Стандартизація та перекласифікація шарів критеріїв	10	15
3	Способи формалізації експертних знань та переваг ОПР. Розрахунок ваг важливості критеріїв.	10	15
4	Агрегування атрибутів критеріїв операторами нечіткого та зваженого накладання	5	10
5	Інтерпретування результатів аналізу. Формування рекомендацій для ОПР.	5	10

Якщо студент за усне опитування одержав 2 і менше балів він не допускається до виконання роботи.

Підсумковою оцінкою за кожну лабораторну роботу буде сума балів за усне опитування і захист результатів. Якщо обов'язкові заходи контролю виконуються студентом після строків, визначених у програмі навчальної дисципліни, кількість балів, що може отримати студент, не може перевищувати 60% від максимально можливої для цієї форми контролю.

## Лабораторна робота № 1

### «Структуризація проблеми. Обробка геоданих для виконання багатокритеріального аналізу рішень»

*Мета лабораторної роботи* – навчитися визначати фактори впливу на вирішення просторової задачі прийняття рішень, будувати ієрархію прийняття рішень, виконувати декомпозицію множини об'єктів території, що впливають на рішення, в результаті якої формувати критерії оцінки у вигляді окремих тематичних растрових шарів карти в середовищі ГІС.

*Завдання лабораторної роботи* – для задачі багатокритеріального аналізу рішень згідно з отриманим варіантом:

1. Визначити основні фактори впливу на вирішення задачі багатокритеріального прийняття рішень.
2. Побудувати ієрархію багатокритеріального прийняття рішень.
3. Сформувати множини критеріїв та альтернатив за якими буде виконуватися багатокритеріальний аналіз рішень.
4. Імпортувати векторні шари геоданих для території, що досліджується, з картографічного веб-сервісу OpenStreetMap.
5. Виконати декомпозицію множини об'єктів території, що впливають на рішення, в результаті якої сформувати критерії оцінки у вигляді окремих тематичних векторних та растрових шарів критеріїв.
6. Визначити просторові обмеження, що впливають на рішення, у вигляді векторних шарів карти.

#### *Варіанти завдань*

Для отриманого варіанту завдання визначити 3-5 критеріїв оцінки придатності території та 3 обмежувальних фактора.

1. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню аптеки.
2. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню кафе.
3. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню промислового підприємства.
4. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню орендованого житла.
5. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню полігону твердих побутових відходів.
6. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню торгівельного центру.



7. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню спортивного майданчика.
8. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню молодіжного розважального центру.
9. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню медичного центру.
10. Задача багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню водозабору.
11. Будь-яка інша задача багатокритеріального прийняття рішень, яка узгоджена з викладачем.

### *Теоретичний матеріал до виконання лабораторної роботи №1*

Розглянемо етапи виконання лабораторної роботи на прикладі задачі пошуку придатної ділянки для будівництва умовного промислового підприємства.

Критеріями оцінки придатності ділянки в даній задачі будемо вважати:

- похил, що оцінюється відношенням різниці висот точок місцевості до відстані між точками за ЦМР;
- відстань від транспортної мережі;
- відстань від населених пунктів.

З огляду на те, що промислове підприємство може бути небезпечним для довкілля, обмеженнями будемо вважати:

- 3 км від заповідних зон та зон відпочинку;
- 500 м від водних об'єктів;
- 200 м від земель сільськогосподарського призначення та лісопосадок.

В цій та наступних лабораторних роботах багатокритеріальний аналіз рішень та побудова моделі придатності для пошуку місць будівництва промислового підприємства буде виконуватися у QGIS - геоінформаційній системі з відкритим кодом, що розповсюджується під GNU General Public License. Будуть використовуватись інструменти GDAL, інтегровані в QGIS або альтернативні інструменти GRASS та SAGA.

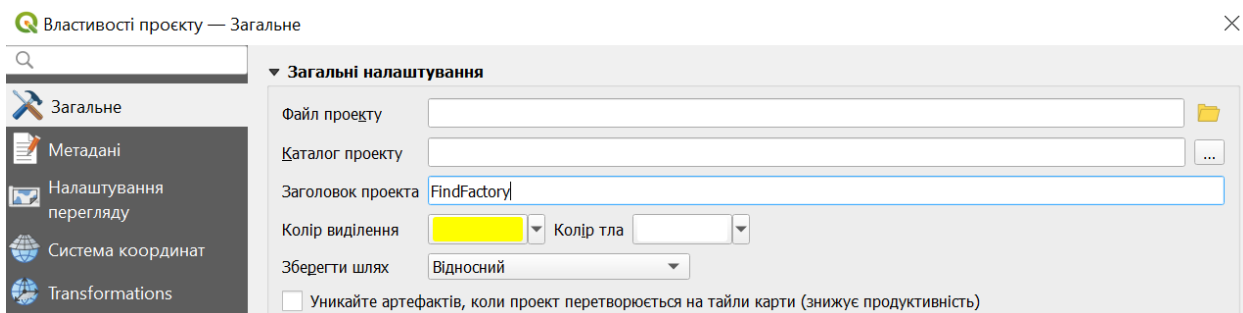
На даний час (лютий 2023 року) остання версія QGIS з довгостроковою підтримкою - це QGIS 3.22.16 'Białowieża'. Її можна безкоштовно завантажити з офіційного сайту [qgis.org](https://qgis.org) за посиланням:

<https://qgis.org/uk/site/forusers/download.html>.

## Створення і налаштування нового проекту

Для створення нового проекту у стартовому вікні QGIS виберіть Проект > Новий (або комбінація клавіш Ctrl+N). Відкриється порожнє вікно проекту.

У головному меню натисніть Проект > Властивості... В розділі Загальне вкажіть заголовок проекту FindFactory. В пункті Зберегти шлях виберіть Відносний. Включення цієї опції робить всі шляхи, що використовуються інструментом, відносними до розташування набору інструментів; тому, якщо модель переміщається в іншу папку, вона все одно зможе працювати.



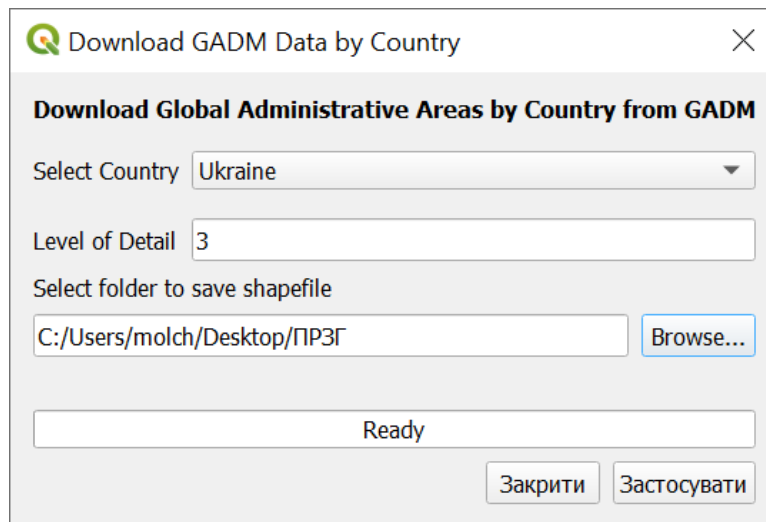
Натисніть Застосувати та Ок для збереження змін.

## Завантаження шарів карти

Для того, щоб додати у проект та використовувати карти, що містять об'єкти території, які істотно впливають на рішення, такі як карти землекористування, зон відпочинку, існуючих шкіл та цифрову модель рельєфу, необхідно встановити плагін HCMGIS.

Для цього в меню Плагіни клацніть Управління та встановлення плагінів.... Дочекайтеся підключення до офіційного репозиторію QGIS. У рядку пошуку введіть назву плагіну HCMGIS та натисніть Встановити плагін. Після успішного встановлення плагіну у рядку головного меню QGIS з'явиться пункт HCMGIS.

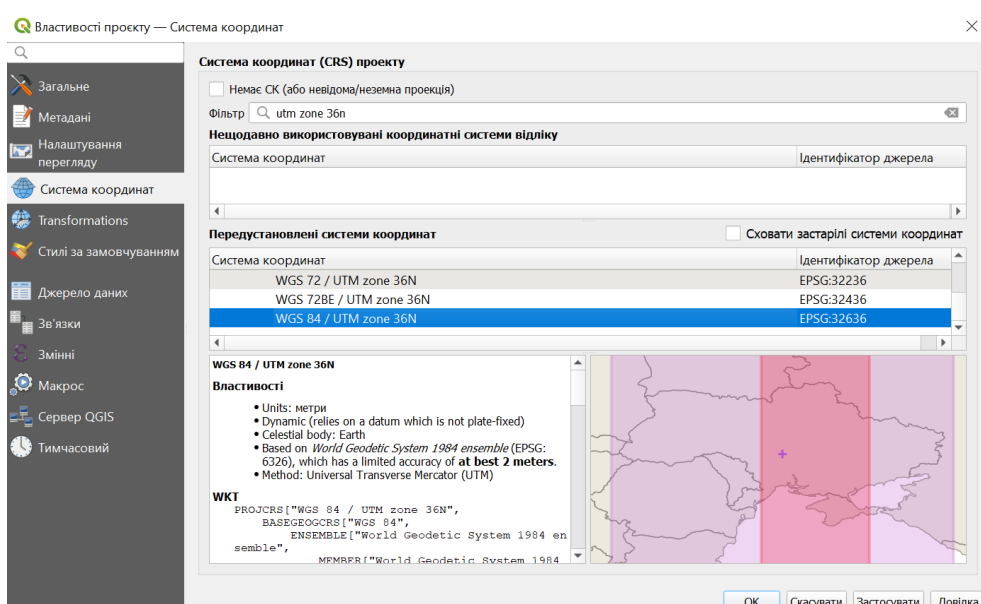
Для прикладу буде розглядатися територія Одеської області. Щоб завантажити шари, що містять кордони держави, а також областей і районів, можна скористатися інструментом HCMGIS > Download Open Data > Global Administrative Areas by Country from GADM. Виберіть Україну зі списку країн. В налаштуванні Level of Detail вкажіть значення 3. Це означає, що буде завантажено шари з трьома ступенями деталізації адміністративних одиниць (країна - область - район).



Виберіть папку для збереження шарів та натисніть Застосувати. Дочекайтесь завантаження та натисніть Закрити. У проект будуть додані 3 шари: gadm36\_UKR\_0 (кордони України), gadm36\_UKR\_1 (кордони областей) та gadm36\_UKR\_2 (кордони районів).




За замовчуванням карта відображається у проекції EPSG:4326 - WGS 84. Для того, щоб змінити відображення на більш звичне для обраної території, в нижньому правому куті вікна QGIS натисніть на рядок з поточною системою координат (або Проект > Властивості... > Система координат). Відкриється вікно налаштувань систем координат проекту.

Для півдня Одеської області підійде проекція UTM Zone 35N, для центральної частини області (в т.ч. м. Одеса) - проекція UTM Zone 36N. Для пошуку проекції у рядку Фільтр введіть назву необхідної проекції. Перед застосуванням нової проекції можна переглянути, яку ділянку земної кулі вона покриває, щоб переконатися, що вона підходить для обраної території.



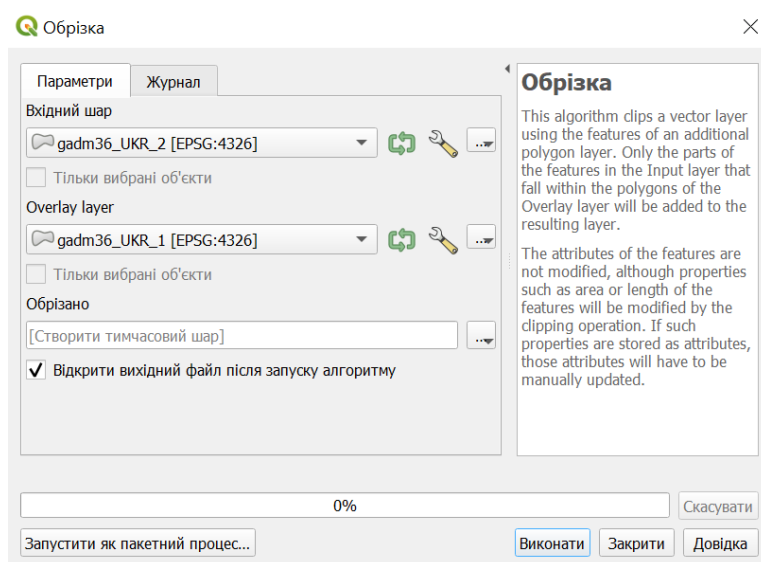
Після вибору проекції натисніть Застосувати та Ок.

Так як у прикладі буде розглядатися лише декілька районів Одеської області, можна видалити з проекту зайві шари та території. Шар `gadm36_UKR_0` з державними кордонами України можна видалити повністю. Для цього виберіть його в списку шарів, клацніть правою кнопкою миші та виберіть Видалити шар.

Для того, щоб з областей залишити тільки Одеську, клацніть правою кнопкою миші на шарі `gadm36_UKR_1` з областями та виберіть Відкрити таблицю атрибутів. Буде відкрита таблиця атрибутів даного шару, яка містить дані про елементи шару, в даному випадку - області. Знайдіть Одеську область та натисніть на її номер рядка, щоб виділити. Натисніть на значок Інвертувати вибір  на верхній панелі (або комбінацію `Ctrl+R`), Переключити режим редагування  (або `Ctrl+E`) та Видалити обрані об'єкти  (або `Delete`). Збережіть зміни та закрийте таблицю.

Для того, щоб з шару районів залишити тільки необхідні, можна також скористатися таблицею атрибутів та видалити всі райони, які не відносяться до Одеської області. Ще один варіант - обрізати векторний шар. Для цього в списку шарів натисніть на шар `gadm36_UKR_2` з районами. В верхньому меню виберіть Вектор > Обробка даних > Обрізка.

Вхідний шар - це шар, який буде обрізаний. Overlay layer - це шар, за яким він буде обрізаний (маска). Вкажіть шар `gadm36_UKR_1` з областями як Overlay layer. Натисніть Виконати та після виконання Закрити.

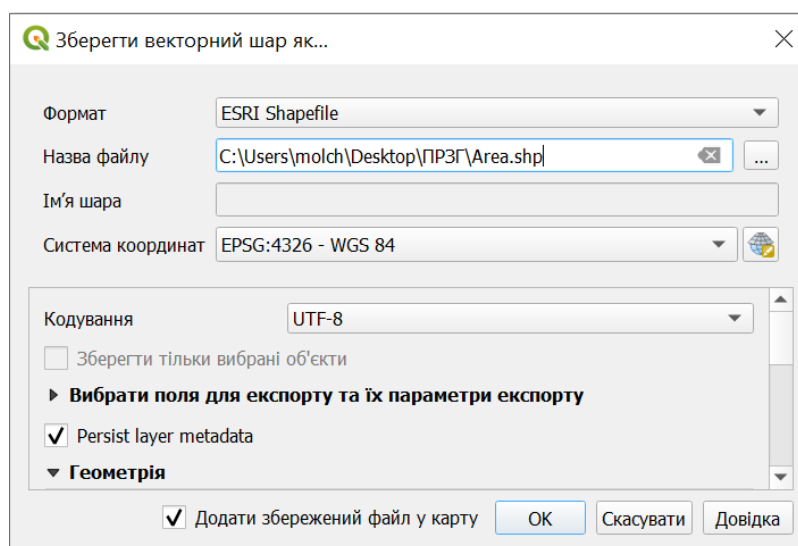


Після успішного виконання обрізки буде створений новий тимчасовий шар Обрізано, який містить тільки райони Одеської області. Всі інші шари можна видалити.

За допомогою атрибутивної таблиці також можна обрати тільки частину районів, які будуть розглядатися. У прикладі буде розглянута територія на північ від Одеси: Біляївський, Іванівській, Комінтернівський та Роздільнянський райони (за старими кордонами, встановленими до 2022 року).

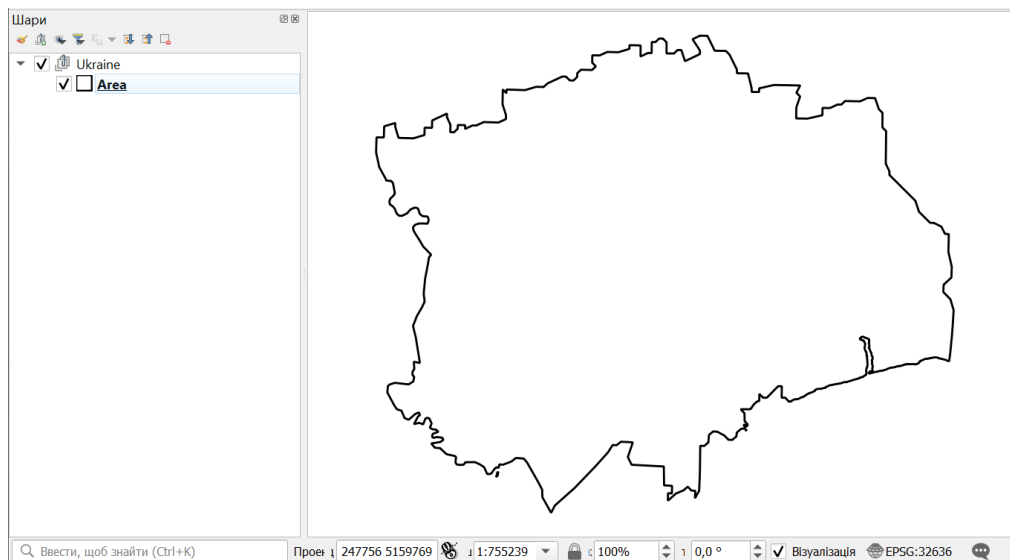
Щоб об'єднати райони в один полігон для зручності роботи виберіть Вектор > Обробка даних > Злиття... Натисніть Виконати та Закрити.

Збережіть отриманий шар: клацніть правою кнопкою миші на шар Обрізано, виберіть Export > Зберегти об'єкти як...



Задайте місце збереження та назву файлу, вкажіть формат ESRI Shapefile та натисніть Ок. Після успішного збереження з'явиться повідомлення про те, що шар експортовано, і він буде доданий до списку шарів проекту. Тимчасові шари можна видалити.

Також можна налаштувати зовнішній вигляд шару. Для цього правою кнопкою миші натисніть на шар та виберіть Властивості. У вікні, що відкриється, в розділі Символіка, самостійно встановіть стиль шару або виберіть з існуючих варіантів.



На цій території буде проводитись пошук ділянки для побудови промислового підприємства.

#### Завантаження шарів обмежень та критеріїв

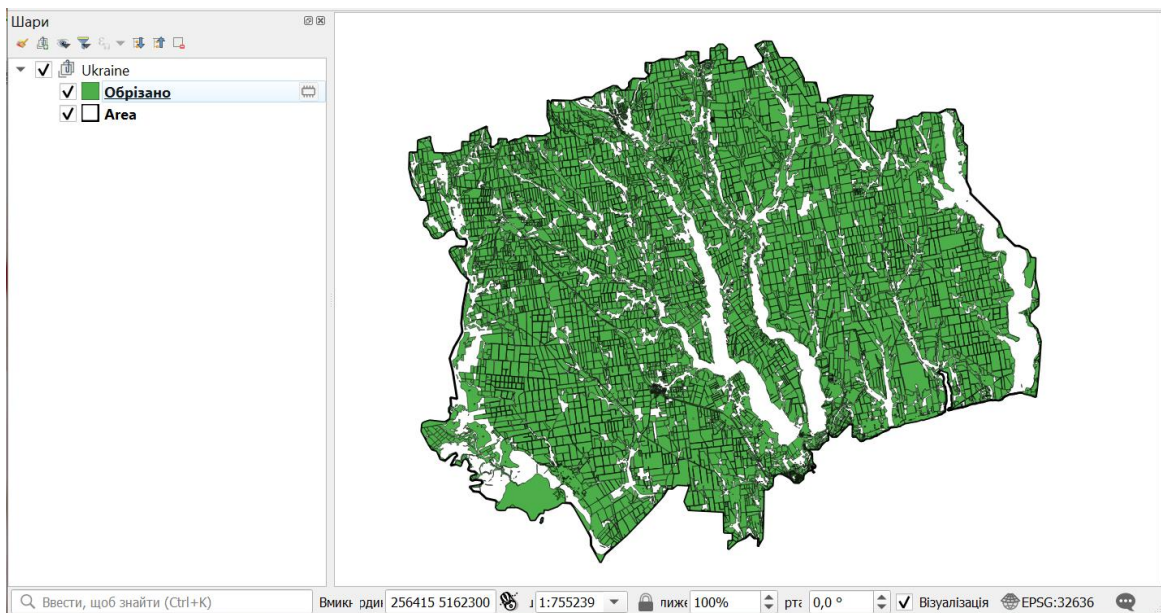
Для завантаження даних картографічного сервісу OpenStreetMap виберіть HCMGIS > Download Open Data > OSM Data by Country from Geofabrik. Виберіть необхідний регіон та країну. Після натискання Застосувати буде завантажений широкий набір векторних шарів, які покривають всю обрану територію, тому він має дуже великий розмір. Необхідно нічого не натискаючи дочекатися завантаження, яке може зайняти до 10-20 хвилин в залежності від швидкості інтернету.

Дані землекористування можна отримати з шару `gis_osm_landuse_a_free_1`. Непотрібні у роботі шари можна відразу видалити.

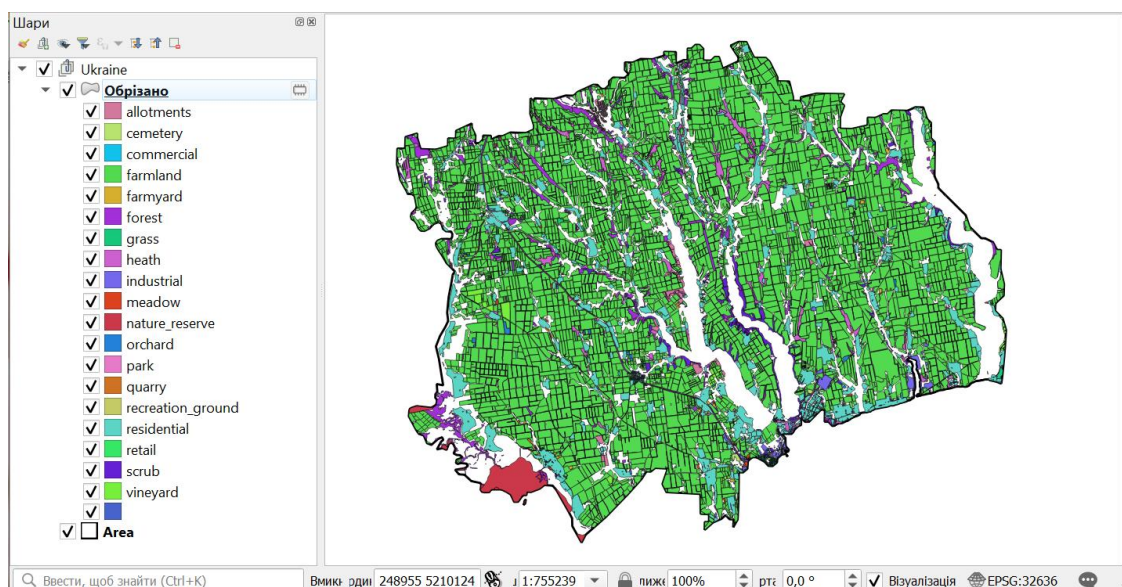
Якщо ці шари вже були завантажені раніше, додайте необхідний до проекту за допомогою команди Шар > Додати шар > Додати векторний шар та виберіть необхідний шар (формат `.shp`). Виберіть `gis_osm_landuse_a_free_1.shp` та натисніть Додати і Закрити.

Шар покриває всю територію України, тому необхідно обрізати його до кордонів території, яка досліджується (Вектор > Обробка даних > Обрізка). Після цього шар `gis_osm_landuse_a_free_1` можна видалити.






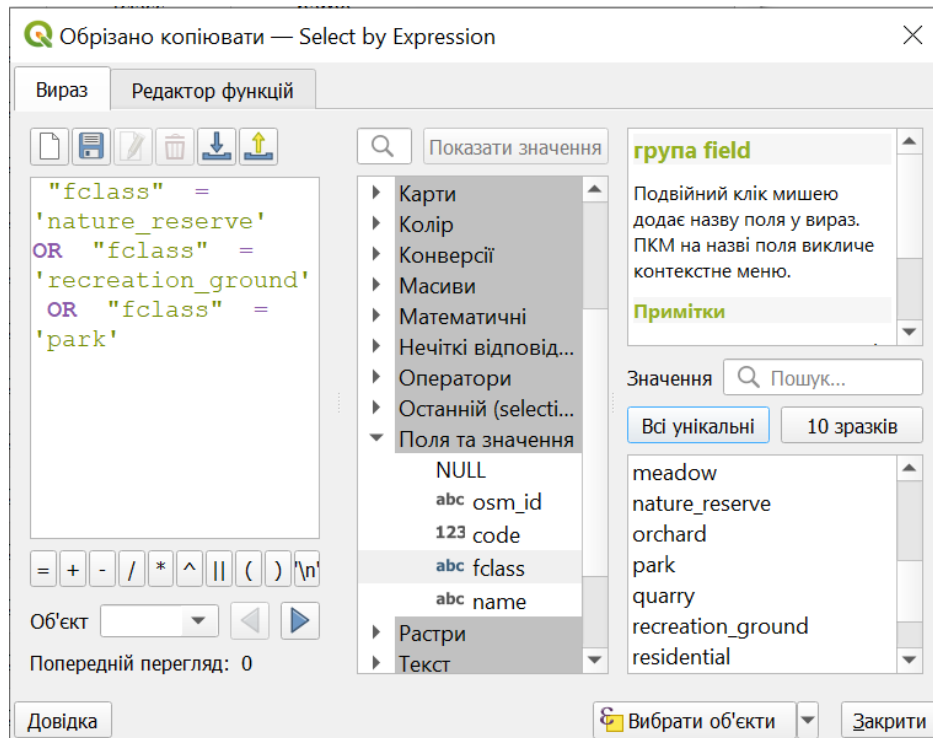
В таблиці атрибутів шару Обрізано в стовпці fclass можна побачити тип використання земельних ділянок: парк, рекреаційна зона, ліс, промислова зона, житлова зона тощо. Для того, щоб для наочності відобразити їх на карті різними кольорами, клацніть правою кнопкою миші на шар, натисніть Властивості. Замість Звичайний знак виберіть Категоріальний та у полі Значення - fclass. Натисніть Класифікувати та Ок.



### Створення обмежувальних шарів

Для того, щоб створити обмежувальний шар заповідних зон та зон відпочинку, необхідно знайти відповідні категорію даних на шарі даних землекористування з картографічних даних OpenStreetMap. Створіть дублікат шару. Відкрийте таблицю атрибутів. Вона може містити декілька тисяч рядків, тому шукати необхідні категорії вручну не вийде. Скористайтеся

інструментом Вибрати об'єкти, використовуючи вираз . Введіть вираз, якому повинні відповідати об'єкти.



Натисніть Вибрати об'єкти. В таблиці атрибутів інвертуйте вибір та видаліть зайві рядки. Збережіть зміни.

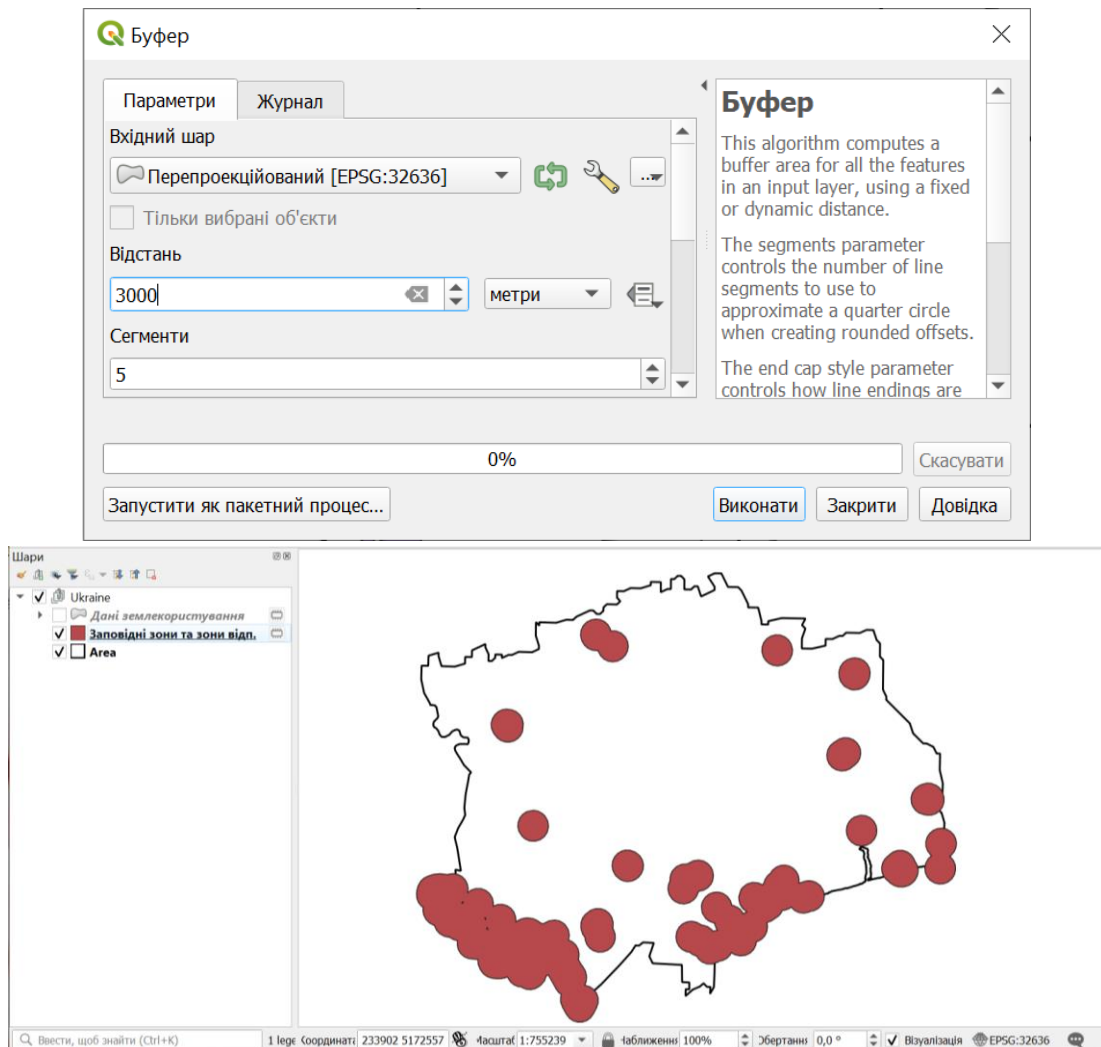
За встановленими обмеженнями необхідно побудувати буферну зону 3 км від заповідних зон та зон відпочинку.

Перед побудовою буферних зон необхідно змінити проекцію шару, а не просто його відображення. Для цього виберіть шар та скористайтеся інструментом Вектор > Управління даними > Змінити проекцію шару. В цільовій системі координат вкажіть ту ж проекцію, яку ви обрали на початку роботи з проектом (UTM Zone 35N або 36N), та натисніть Виконати і Закрити. Після успішної перепроєкції до проекту буде доданий шар Перепроєкційований. Тимчасовий шар Обрізано копіювати можна видалити.

Для побудови буферної зони виберіть Вектор > Обробка даних > Буфер. Вкажіть розмір буферної зони та натисніть Виконати і Закрити.

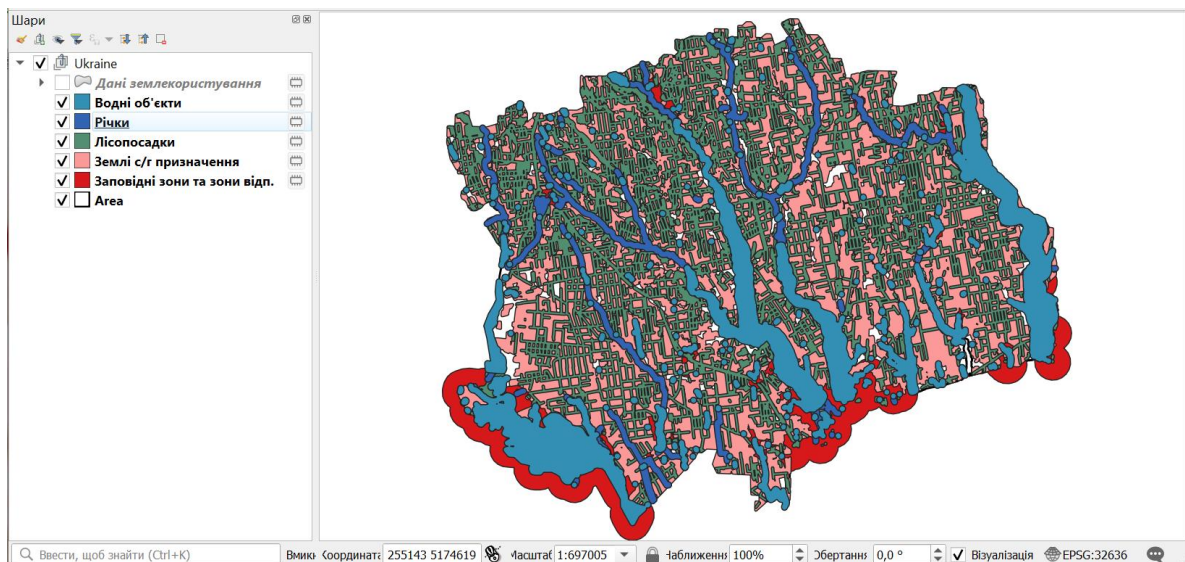
Виконайте злиття (Вектор > Обробка даних > Злиття). Переназвіть отриманий в результаті шар Злитий на Заповідники та зони відпочинку.



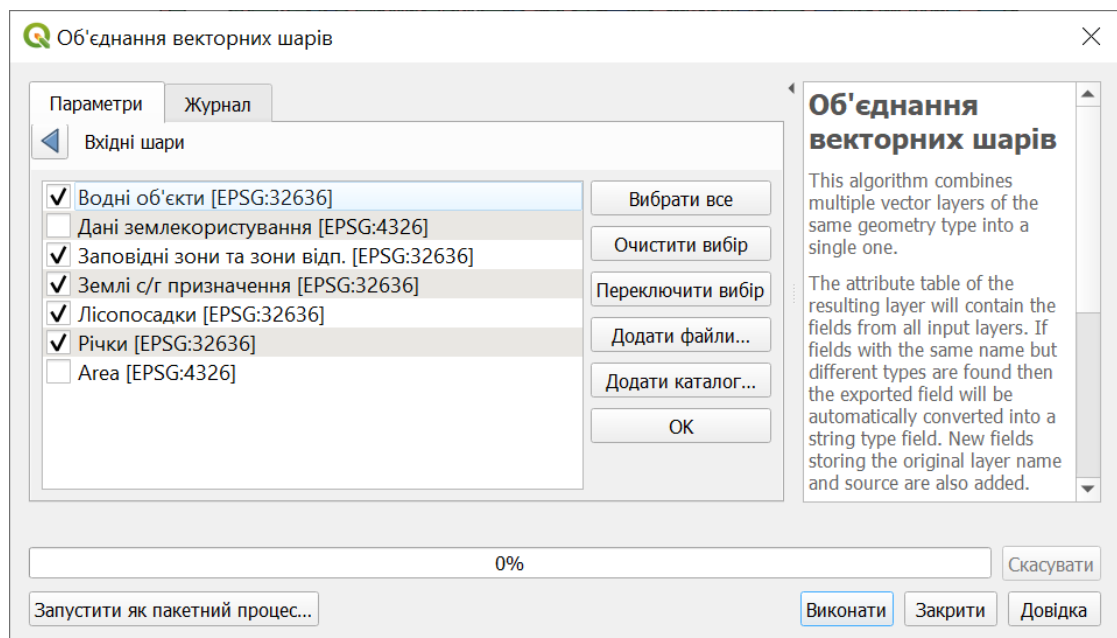


Для побудови шарів буферних зон інших обмежень, що пов'язані з типом землекористування, дотримуйтесь того ж алгоритму: зробіть дублікат шару з даними землекористування, відкрийте таблицю атрибутів, виберіть об'єкти за значенням атрибуту `fclass`, використовуючи вираз, інвертуйте вибір та видаліть зайві рядки. Змініть проєкцію шару на ту, яку ви використовуєте в проєкті. Побудуйте буферну зону заданого розміру. Виконайте злиття шару та видаліть зайві тимчасові шари. Переназвіть шар так, щоб його назва відображала його вміст.

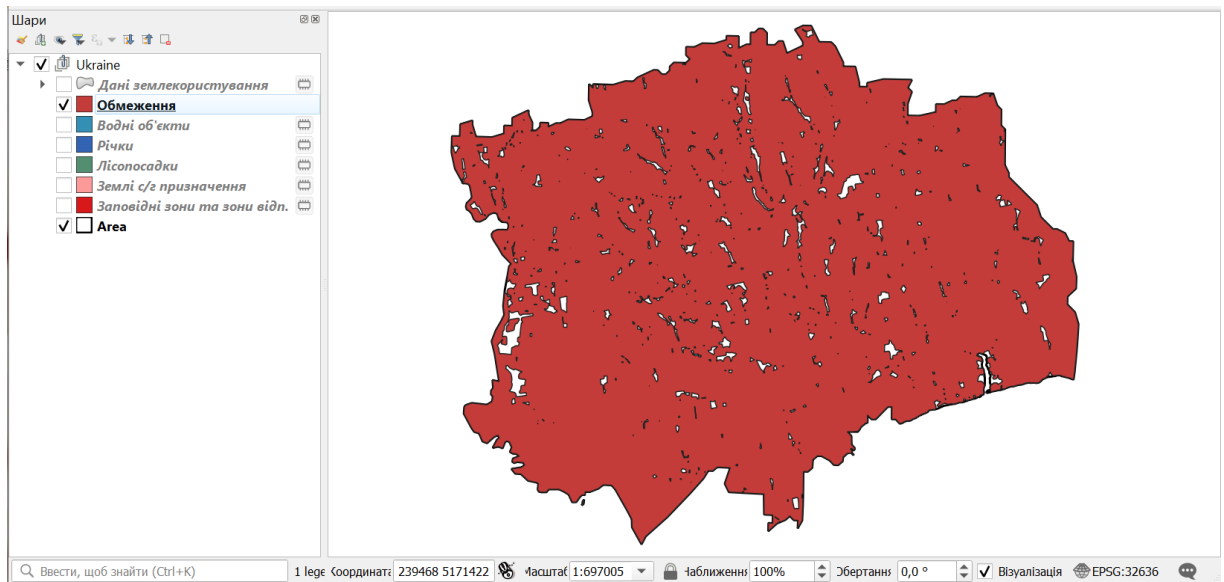
Якщо необхідні дані містяться в іншому шарі карти OpenStreetMap, додайте його до проєкту (Шар > Додати шар > Додати векторний шар) та повторіть дії, описані вище.



Після того, як побудовані всі шари обмежень, необхідно об'єднати їх в один шар. Для цього скористайтеся інструментом Вектор > Управління даними > Об'єднання векторних шарів. Виберіть всі тимчасові шари обмежень як вхідні шари. В цільовій системі координат вкажіть проекцію, яка використовується в проєкті. Натисніть Виконати та Закрити.

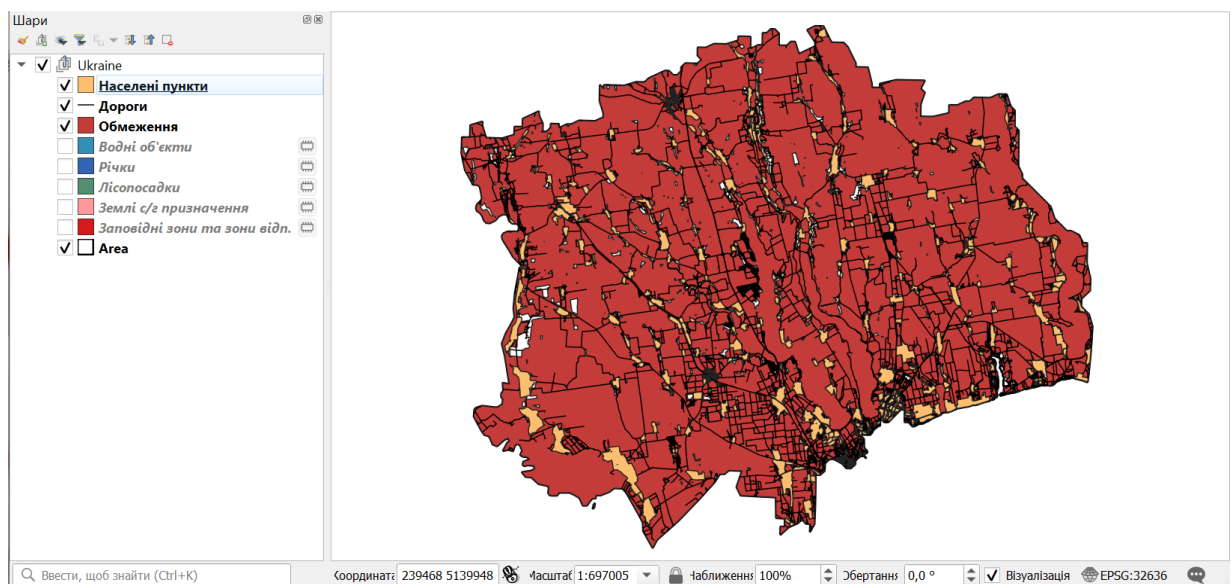


Виконайте злиття отриманого шару та обріжте його за кордонами території, що досліджується. Переназвіть шар та збережіть його.



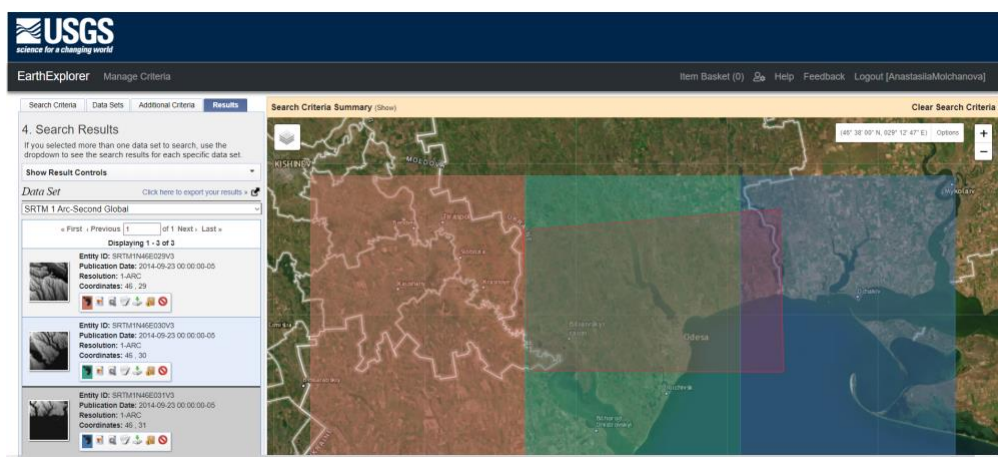
Необхідно додати шари критеріїв, які будуть використовуватися в задачі. Для оцінки придатності ділянки для будівництва промислового підприємства в даній задачі визначені наступні критерії: похил, відстань від доріг та населених пунктів.

Додайте до проекту відповідні шари з карт OpenStreetMap. Наприклад, шар доріг можна отримати з шару `gis_osm_roads_free_1.shp`. Збережіть шари критеріїв як постійні шари.

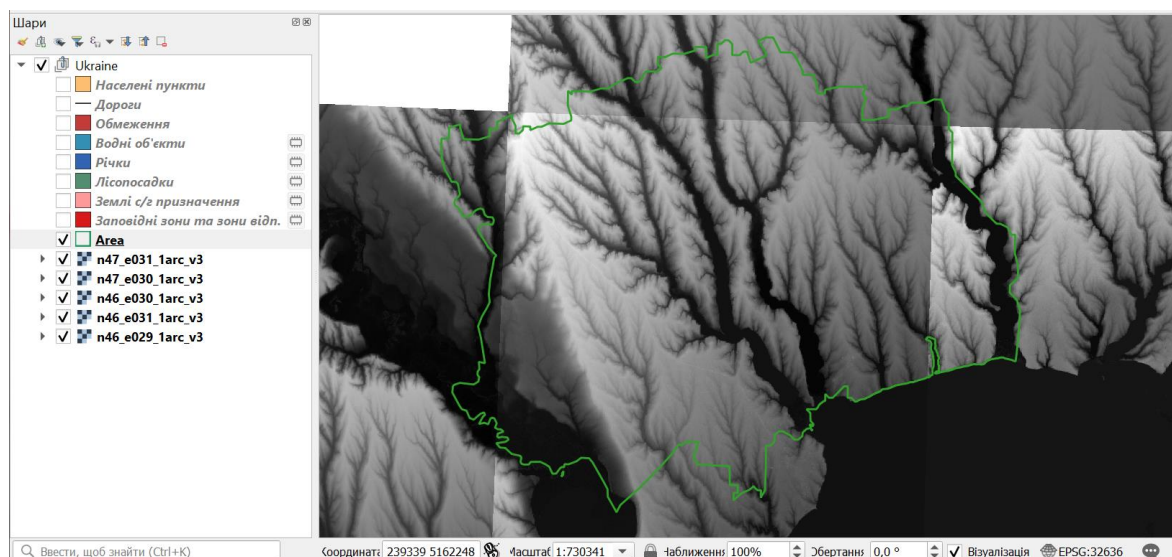


Похил оцінюється відношенням різниці висот точок місцевості до відстані між точками за ЦМР (цифрова модель рельєфу). Завантажити ЦМР для будь-якої ділянки земної поверхні можна на сайті Геологічної служби США (англ. USGS — United States Geological Survey) за посиланням: [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov) (попередньо необхідно зареєструватися). Введіть назву

місцевості або клацніть на карті, щоб вказати необхідну ділянку. На вкладці Data Sets у списку доступних баз виберіть Digital Elevation > SRTM > SRTM 1 Arc-Second Global. Після цього перейдіть у вкладку Results. Натисніть на значок відбитка ступні, щоб переглянути територію, яку покривають знайдені знімки.

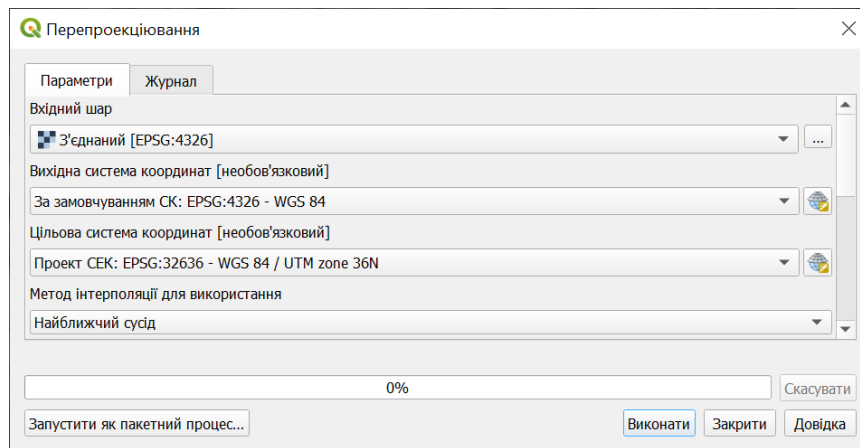


Завантажте всі потрібні знімки у форматі GeoTIFF. У проєкті додайте їх через Шар > Додати шар > Додати растровий шар. Для ділянки території Одеської області, яка досліджується у прикладі, знадобиться 5 знімків.



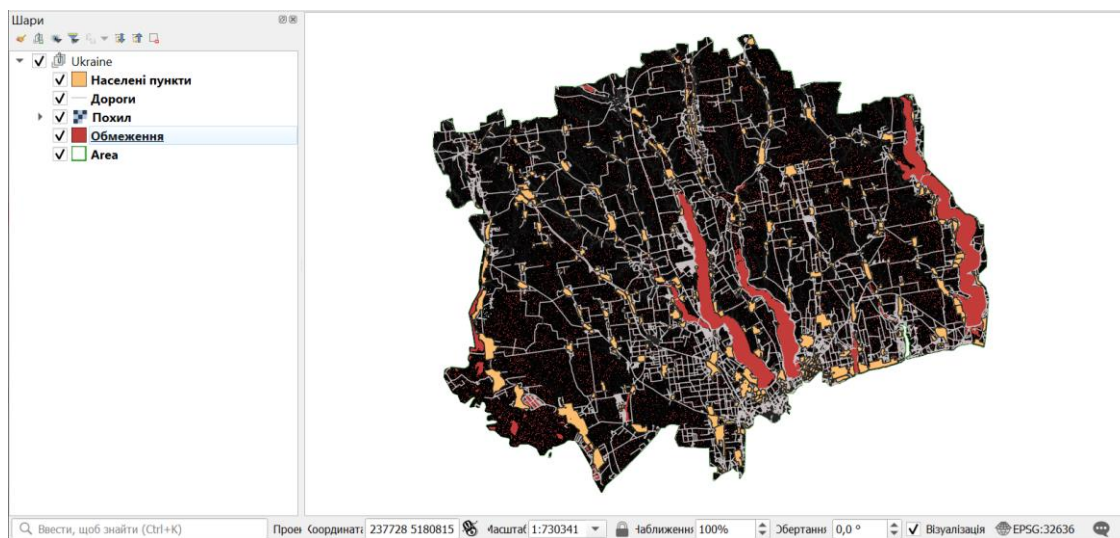
Щоб їх об'єднати, виберіть Растр > Розбіжності > Об'єднати та обрати шари та відмітьте у вхідних шарах всі 5 растрових шарів. Змініть проєкцію шару через Растр > Проекції > Перепроєкціювання.





Обріжте шар за допомогою інструмента Растр > Вилучення > Вирізати растр за шаром маски. Щоб приховати чорну рамку навколо території, що досліджується, у властивостях шару у розділі Прозорість у полі Додаткове значення “немає даних” вкажіть 0.

Щоб розрахувати похил, можна скористатися інструментом Растр > Аналіз > Схил. Перевірте, щоб вхідним шаром був вказаний шар ЦРМ, вирізаний за маскою. Чорну рамку можна приховати за тим самим алгоритмом. Збережіть шар як і інші шари критеріїв.



В результаті у проекті повинні залишитися наступні шари: кордони території, що досліджується; шар обмежень, в якому об'єднані всі обмеження за задачею індивідуального варіанту та окремі шари критеріїв. У прикладі це шари Похил, Населені пункти та Дороги.

### *Контрольні питання*

1. Назвіть інструменти ГІС які можуть бути використані для врахування просторових обмежень на розміщення об'єктів (наприклад, санітарних зон).

2. Опишіть процедуру декомпозиції множини об'єктів території, що впливають на рішення, на окремі шари критеріїв. Які умови повинні бути враховані?

3. Яким умовам повинні відповідати критерії оцінки в просторових задачах багатокритеріального аналізу рішень?

4. Яким чином виконується розрахунок Евклідової відстані для векторного шару в ГІС?

5. Як чином може впливати розмір комірки растру на рішення?

#### *Прилади, устаткування та інструменти*

Для виконання лабораторної роботи використовується ПЕОМ зі встановленим пакетом QGIS 3.22.16 'Białowieża'.

#### *Правила техніки безпеки та охорони праці*

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи регламентуються «Правилами техніки безпеки при роботі в комп'ютерній лабораторії».

#### *Порядок проведення лабораторної роботи*

Для виконання роботи кожен студент повинен:

1. Відповісти на контрольні питання та пройти усне опитування за теоретичним матеріалом лабораторної роботи;
2. Пройти інструктаж за правилами охорони праці;
3. Отримати варіант завдання у викладача;
4. Розробити модель придатності;  
Виконати відповідні етапи багатокритеріального аналізу рішень;
5. Отримати результати моделювання і показати їх викладачу;
6. Підготувати і захистити звіт до лабораторної роботи.

#### *Звіт з лабораторної роботи 1 повинен містити:*

1. Титульний лист.
2. Мета роботи, постановка проблеми.
3. Ієрархія багатокритеріального прийняття рішень для просторової задачі згідно з отриманим варіантом.
4. Векторний обмежувальний шар та опис основних етапів його побудови.
5. Векторні та растрові шари критеріїв та опис алгоритмів їх побудови.
6. Висновки.

## Лабораторна робота № 2

### «Стандартизація та перекласифікація шарів критеріїв»

*Мета лабораторної роботи* – навчитися виконувати стандартизацію та перекласифікацію растрових шарів критеріїв на основі функцій належності до нечітких множин, запропонованих експертами для моделі придатності територій.

*Завдання лабораторної роботи* – для задачі багатокритеріального аналізу рішень згідно з отриманим варіантом:

1. Визначити функції належності до нечітких множин, за якими буде виконано стандартизація растрових шарів критеріїв.
2. Побудувати таблиці перекласифікації для растрових шарів критеріїв.
3. Виконати перекласифікацію растрових шарів критеріїв за допомогою інструментів QGIS.

#### *Теоретичний матеріал до виконання лабораторної роботи №2*

Розглянемо етап стандартизації шарів критеріїв на прикладі задачі пошуку ділянки для будівництва умовного промислового підприємства з лабораторної роботи №1.

Отримання наборів даних, таких як похил або відстані до населених пунктів, є першим кроком в побудові моделі придатності. Кожна комірка растрових шарів містить значення для кожного критерію (похилу, відстані до транспортної мережі і відстані до населених пунктів). Потрібно скомбінувати отримані набори даних, та отримати карту придатності, на якій будуть показані можливі місця розташування нової школи. Однак в такому вигляді ці набори даних скомбінувати ще неможливо – наприклад, не можна об'єднати комірку, в якій значення ухилу дорівнює 15 градусам, з коміркою зі значенням відстані від доріг 200 м.

Щоб скомбінувати набори даних, для них спочатку повинна бути встановлена єдина шкала вимірювань, наприклад від 0 до 1. Ця загальна шкала вимірювань допоможе визначити ступінь придатності конкретного місця – кожної комірки – для будівництва промислового підприємства.

Високі значення позначають більш високу ступінь придатності ділянки і відповідність вимогам, що пред'являються до ділянки для будівництва підприємства.

Для перекласифікації шарів критеріїв може бути використаний підхід, заснований на теорії нечітких множин.

Вибір придатного місця розташування лише на основі чітких, фіксованих меж класифікації альтернатив (точок території, що досліджується) призводить до прийняття обмежених управлінських рішень. Щоб впоратися з невизначеністю і неточностями, пов'язаними з оцінкою придатності, де важко визначити чіткі межі, доцільним є застосування в моделі апарату теорії нечітких множин.

Традиційний спосіб представлення елемента множини  $A$  полягає в застосуванні функції належності  $\mu_a(x)$ , яка дорівнює 1, якщо елемент  $x$  належить до множини  $A$ , або дорівнює 0 в іншому випадку.

В нечітких системах елемент може належати до множини  $A$  частково, тобто  $\mu_a(x) \in [0,1]$ . Конкретне значення функції належності називається ступенем або коефіцієнтом належності. Цей ступінь може бути визначений явно у вигляді функції належності.

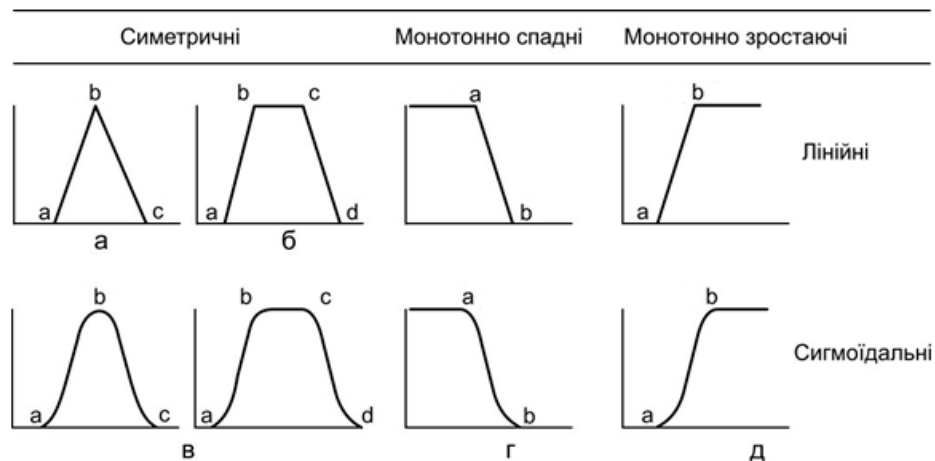
Цей підхід дозволяє віднести територію не до одного, а до декількох класів за різними належностями, з межами між класами, які носять перехідний характер, що поліпшує і робить більш інформативними результати просторового аналізу.

Таким чином, опис просторової інформації на основі апарату теорії нечітких множин базується на перетворенні значень атрибутів  $k$ -го шару у значення ступені належності до нечіткої множини  $\tilde{V}^k$ :

$$\tilde{V}^k = \{(a, \mu_v^k(a)) | a \in U\}, \mu_v^k(a): a \rightarrow [0,1],$$

де  $a$  – значення атрибуту,  $U$  – безперервна множина значень атрибутів.

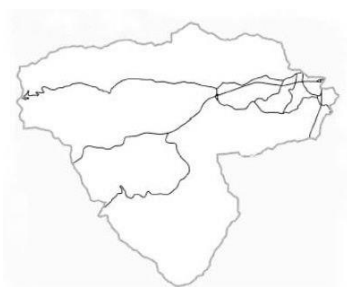
На практиці часто застосовуються такі види функцій належності: лінійні, трикутні і трапецієподібні (лінійно-кускові); нелінійні (функція Гауса, сигмоїдальна функція, сплайн).



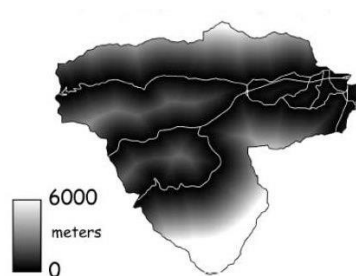
Типи функцій належності, що можуть бути використані для стандартизації критеріїв: а) – трикутна ФН; б) – трапецієподібна ФН; в) – П-образна ФН; г) – Z-образні ФН; д) – S-образні ФН



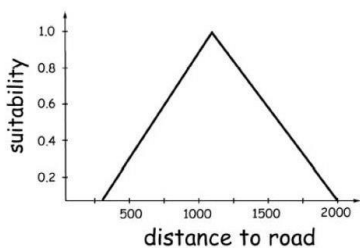
Нижче наведені приклади фазифікації шарів критеріїв.



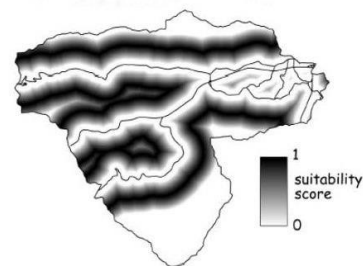
а



б



в

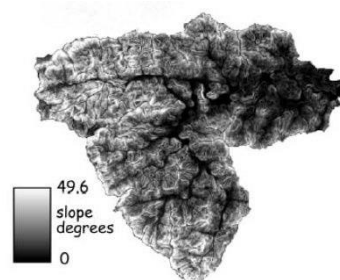


г

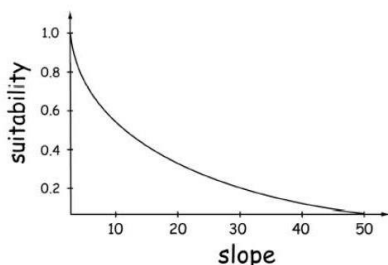
Фазифікація шарів критеріїв: а) – шар транспортної мережі; б) – шар евклідових відстаней від транспортної мережі; в) – функція належності; г) – шар придатності за критерієм відстані від транспортної мережі.



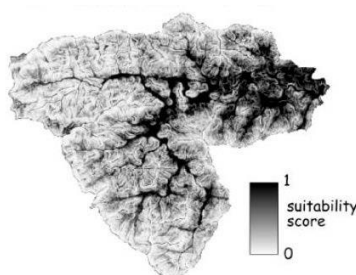
а



б



в



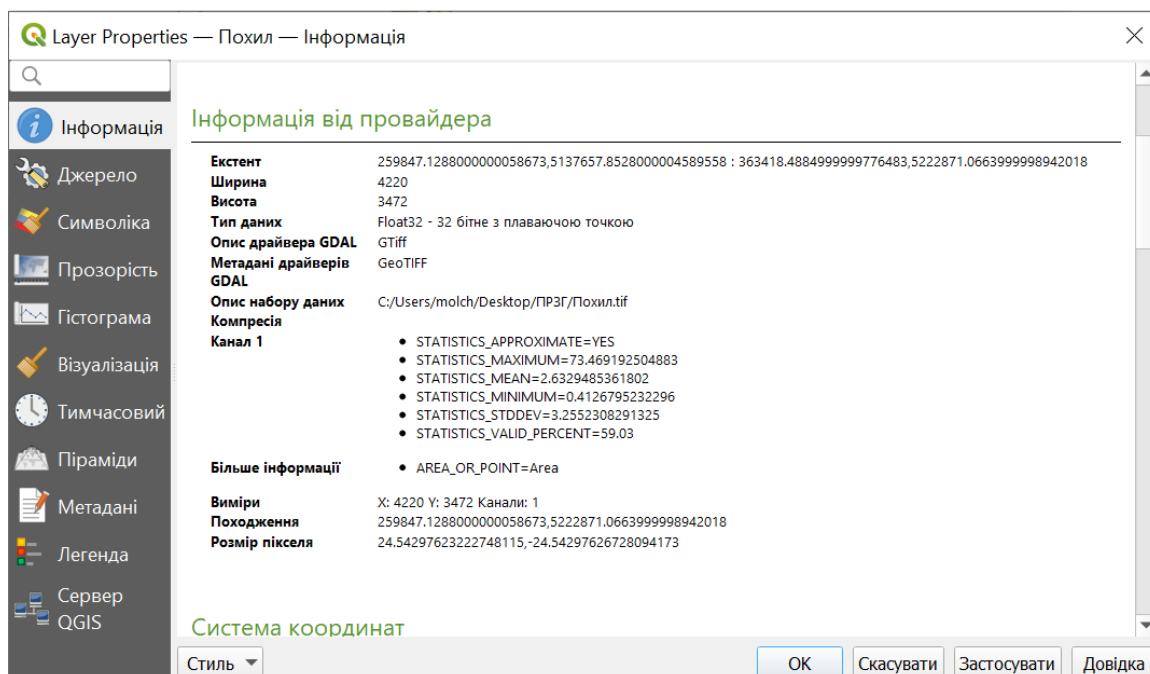
г

Фазифікація шарів критеріїв: а) – шар даних ЦМР; б) – шар похилу; в) – спадна функція належності для критерію; г) – растровий шар придатності за критерієм похилу.

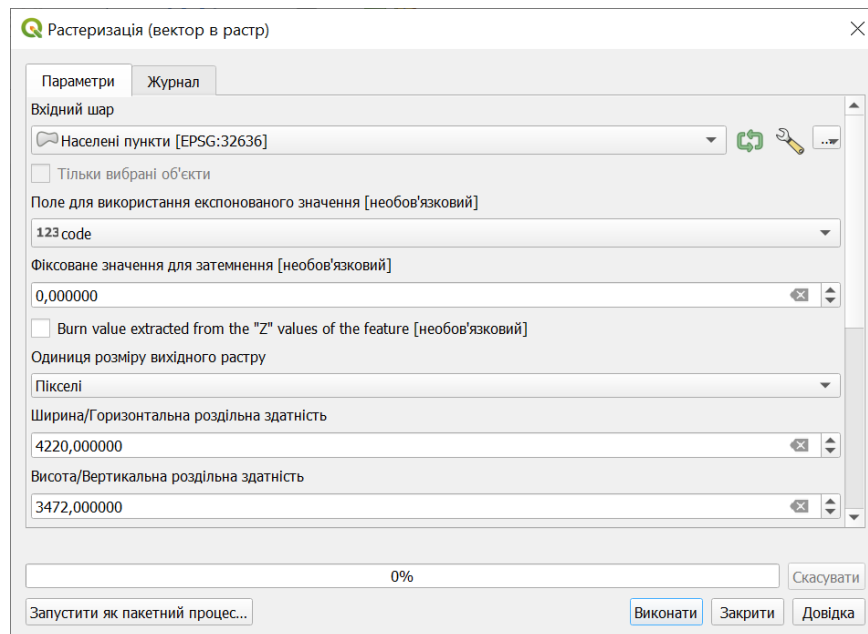
Розглянемо алгоритм перекласифікації у QGIS.

Для багатокритеріального аналізу рішень необхідні растрові шари. Тому всі векторні шари проекту необхідно перетворити на растрові.

Усі растрові шари, які будуть використовуватись для побудови карти придатності, повинні мати єдину роздільну здатність і дорівнювати значенням, які вже встановлені в растровому шарі похилу. Для того, щоб дізнатися значення ширини та висоти пікселя, виберіть шар Похил та відкрийте його властивості. У розділі інформація є ці дані. В даному випадку ширина = 4220, висота = 3472.

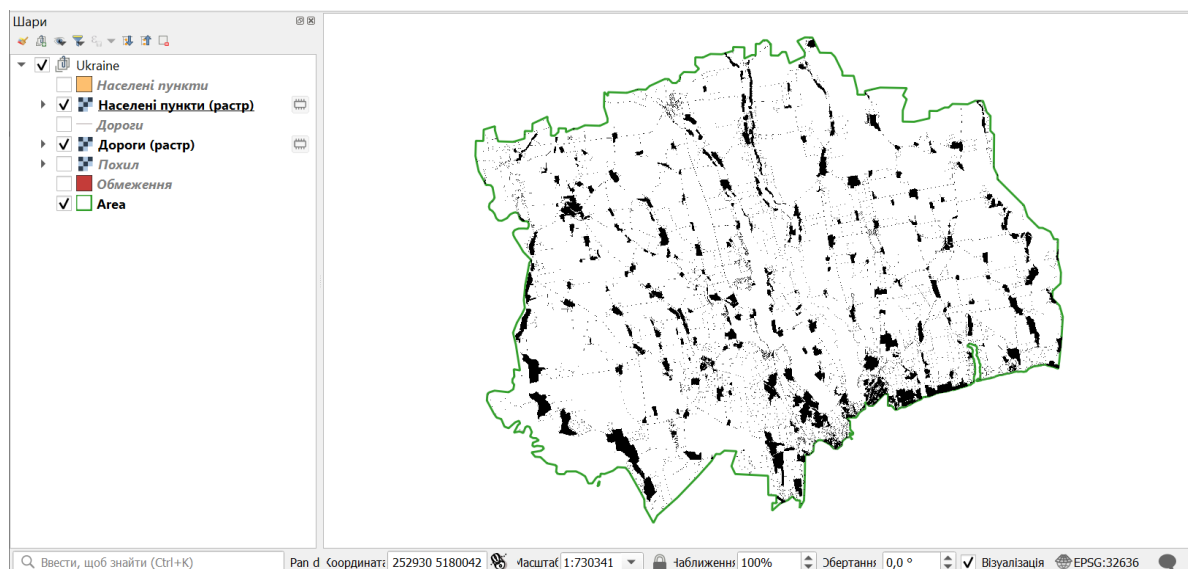


Для того, щоб перетворити векторний шар в растровий, скористайтесь інструментом Растр > Перетворення > Растрезація (вектор в растр). Виберіть шар Населені пункти та вкажіть поле code як поле для використання експонованого значення. Одиниця розміру вихідного растру - пікселі. В полі Ширина/Горизонтальна роздільна здатність вкажіть значення ширини з растрового шару (4220), а в полі Висота/Вертикальна роздільна здатність - висоти (3472).

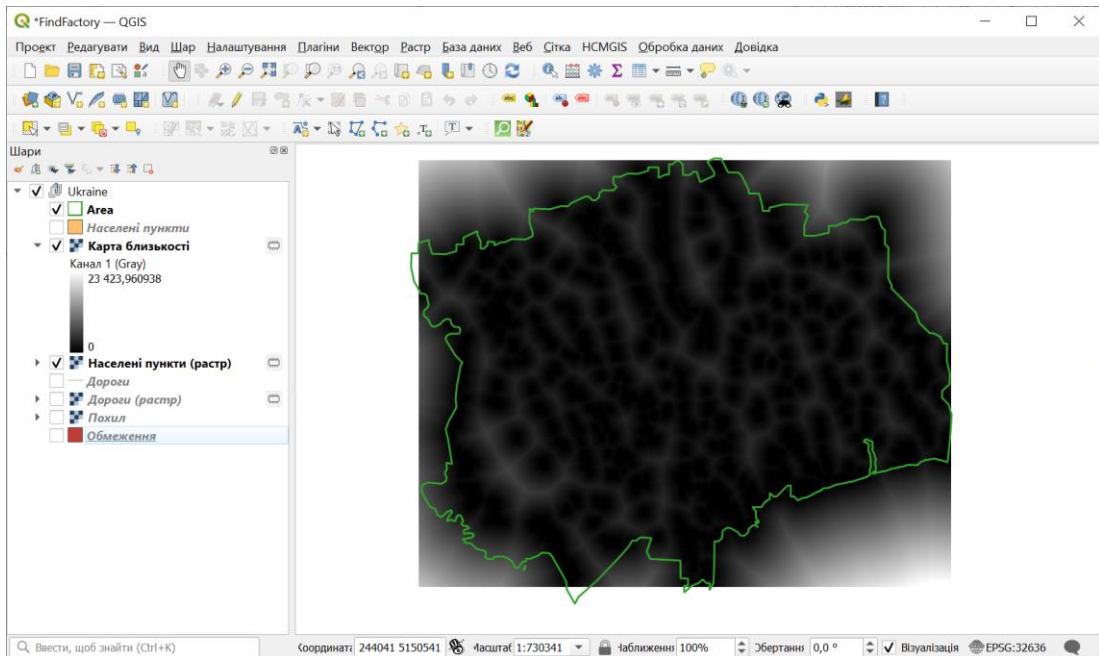


Натисніть Виконати та Закрити.

За тим самим алгоритмом перетворіть у растр векторний шар доріг.  
Переназвіть шари.



Для того, щоб побудувати шари відстаней від транспортної мережі та населених пунктів, можна скористатися інструментом побудови евклідових відстаней. Виберіть Растр > Аналіз > Близькість (растрова відстань). Виберіть шар Населені пункти. В полі Одиниці відстані вкажіть Координати географічної прив'язки. Натисніть Виконати та Закрити.



За тим самим алгоритмом побудуйте шар відстаней від доріг. Переназвіть шар.

Необхідно, щоб кожна комірка растрових шарів мала оцінку (бал) в межах від 0 до 1. При цьому комірка зі значенням 0 не влаштовує нас як альтернатива і не може розглядатися як ділянка для побудови промислового підприємства, а комірка зі значенням 1 ідеально підходить за заданими критеріями і є придатною для будівництва. Тобто, чим більше значення у комірці, тим більшим є ступінь її придатності.

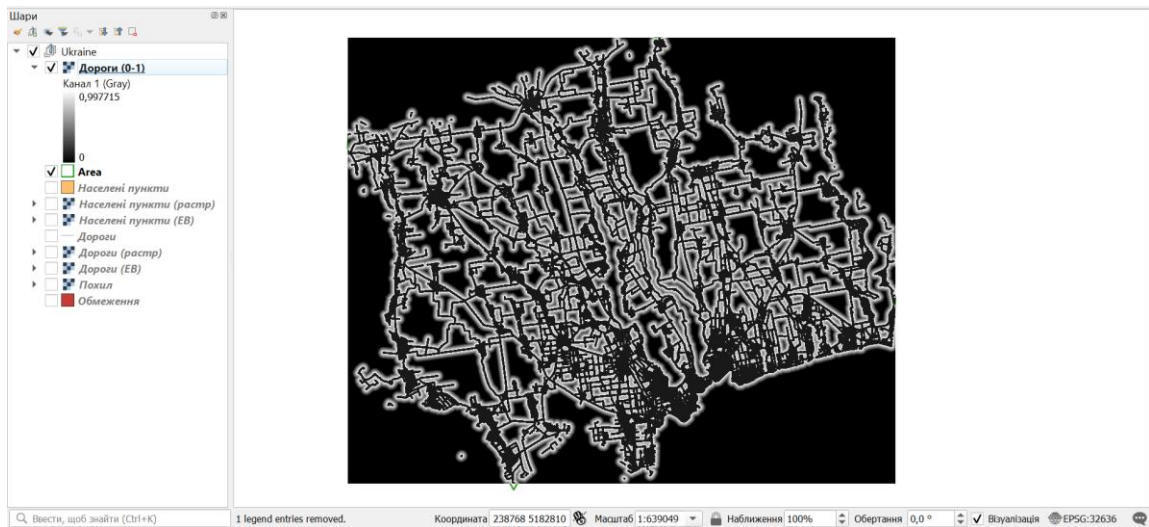
Побудуйте функції належності для критеріїв. Зазвичай вони будуються експертом або експертною групою згідно з законодавчими нормами, виходячи з економічної доцільності тощо. Для прикладу розміщення умовного промислового підприємства функції належності для кожного критерію (похилу, відстані від транспортної мережі і відстані від населених пунктів) можуть мати вигляд:



Для того, щоб перекласифікувати шар критерію відстані від доріг, виберіть Растр > Калькулятор растрів і задайте функцію цінності. Для заданої в прикладі функції вираз має вигляд:

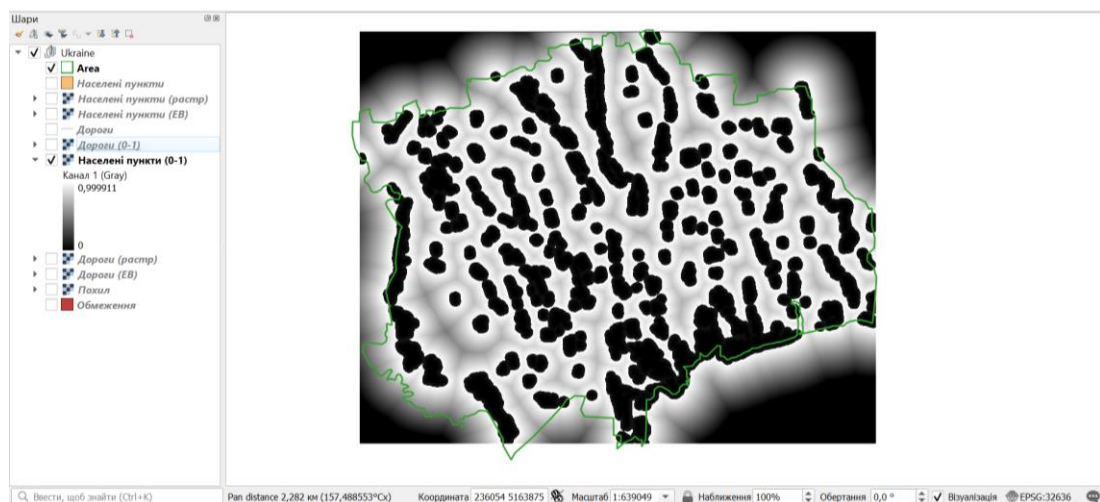
```
if ( "Дороги (ЕВ)@1" <= 200, 1, if ( "Дороги (ЕВ)@1" >= 1200, 0, (12-"Дороги (ЕВ)@1" / 100))) / 10.
```

Натисніть Ок. На отриманому шарі більш світлим кольором зображені ділянки, найбільш придатні для будівництва за критерієм відстані до доріг.



За тим самим алгоритмом перекласифікуйте шар критерію відстані до населених пунктів. Вираз може мати вигляд:

```
if ( "Населені пункти (ЕВ)@1" <= 1000, ("Населені пункти (ЕВ)@1" / 1000), if ( "Населені пункти (ЕВ)@1" > 11000, 0, (11-"Населені пункти (ЕВ)@1" / 1000))) / 10.
```

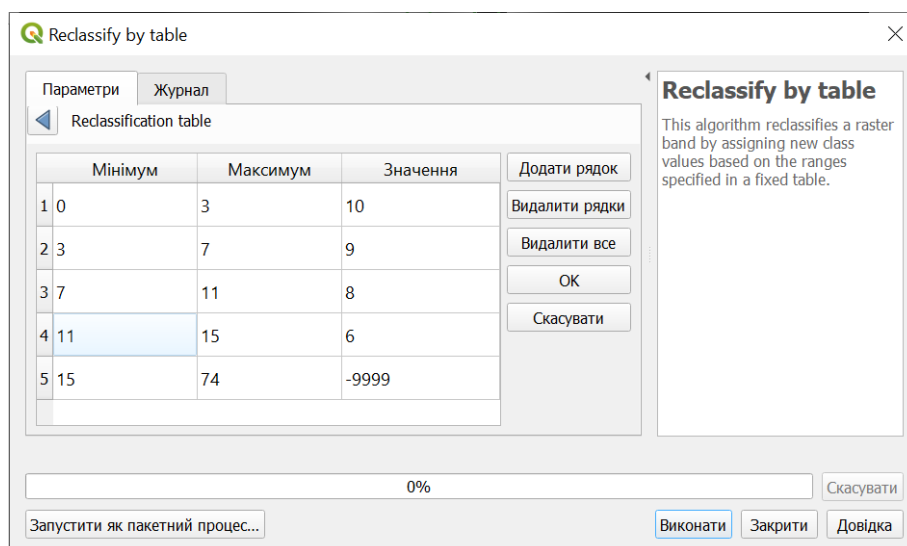


Для перекласифікації растру похилу можна використати інший інструмент QGIS - Reclassify by table (перекласифікація за таблицею). Для

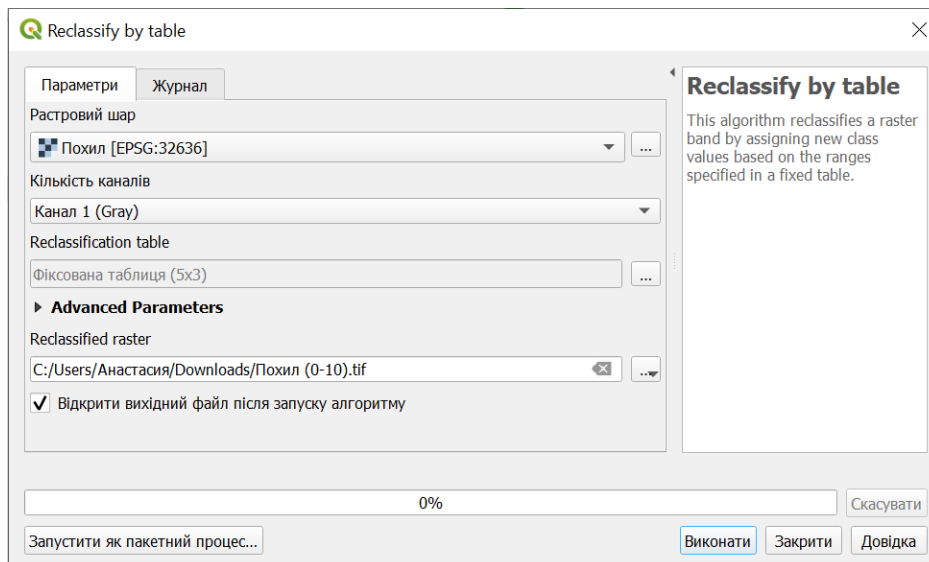
цього спочатку складіть таблицю оцінювання похилу. Щоб дізнатися максимальне значення для останнього рядка, округліть до цілого у більшу сторону найбільше значення шару похилу.

Значення		Оцінка
0	3	10
3	7	9
8	11	8
11	15	6
15	74	NoData

В розділі Обробка даних виберіть Панель інструментів. У панелі, що відкрилася, знайдіть Растровий аналіз > Reclassify by table або введіть його назву в рядку пошуку. Двічі клацніть на назві інструмента, щоб відкрити вікно налаштування. Виберіть шар Похил та натисніть три точки біля поля Reclassification table, щоб ввести значення з таблиці. Значення NoData в QGIS позначається як -9999. Натисніть ОК, щоб зберегти таблицю.

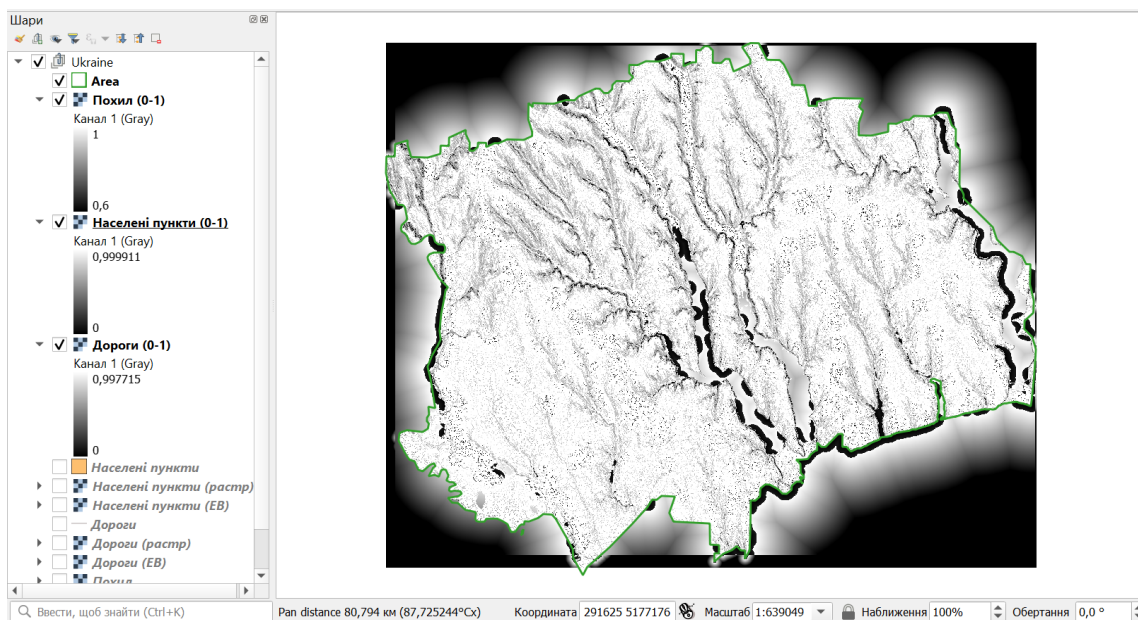


Виберіть Зберегти у файл та вкажіть назву шару, який буде збережено. Натисніть Виконати.



Згідно з таблицею отримані значення комірок шару знаходяться в діапазоні від 1 до 10. Переведіть їх в діапазон від 0 до 1. Для цього скористайтеся Калькулятором растрів та введіть вираз:

"Похил (0-10)@1" / 10.



### Варіанти завдань

Лабораторна робота №2 виконується для моделі придатності, побудованої студентом згідно з отриманим варіантом в лабораторній роботі №1.

### Контрольні питання

1. Що таке стандартизація шарів критеріїв і з якою метою її виконують?



2. Які методи можуть бути використані для стандартизації шарів критеріїв. Назвіть їх переваги і недоліки.

3. Опишіть процедуру стандартизації шарів критеріїв з використанням функцій належності до нечітких множин. Які переваги має вона в порівнянні з іншими методами стандартизації шарів критеріїв?

4. Які інструменти QGIS використовуються для стандартизації шарів критеріїв?

5. Як чином можна отримати значення комірок в діапазоні від 0 до 1, після виконання інструменту Reclassify by table?

#### *Прилади, устаткування та інструменти*

Для виконання лабораторної роботи використовується ПЕОМ зі встановленим пакетом QGIS 3.22.16 'Białowieża'.

#### *Правила техніки безпеки та охорони праці*

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи регламентуються «Правилами техніки безпеки при роботі в комп'ютерній лабораторії».

#### *Порядок проведення лабораторної роботи*

Для виконання роботи кожен студент повинен:

1. Відповісти на контрольні питання та пройти усне опитування за теоретичним матеріалом лабораторної роботи;
2. Пройти інструктаж за правилами охорони праці;
3. Отримати варіант завдання у викладача;
4. Розробити модель придатності;
5. Виконати відповідні етапи багатокритеріального аналізу рішень;
8. Отримати результати моделювання і показати їх викладачу;
9. Підготувати і захистити звіт до лабораторної роботи.

#### *Звіт з лабораторної роботи повин містити:*

1. Титульний лист
2. Мета роботи, постановка проблеми.
3. Графіки функції належності до нечітких множин, за якими буде виконано стандартизацію растрових шарів критеріїв.
4. Розраховані таблиці перекласифікації для растрових шарів критеріїв.
5. Растрові шари критеріїв, отримані в результаті перекласифікації на основі нечітких функцій належності.
6. Висновки.



## Лабораторна робота № 3

### «Способи формалізації експертних знань та переваг ОНР. Розрахунок ваг важливості критеріїв»

*Мета лабораторної роботи* – навчитися виконувати розрахунок ваг важливості критеріїв та вивчити різні способи формалізації експертних знань та переваг осіб, що приймають рішення.

*Завдання лабораторної роботи* – для задачі багатокритеріального аналізу рішень згідно з отриманим варіантом:

1. Розрахувати ваги важливості критеріїв використовуючи метод парних порівнянь.
2. Побудувати матрицю парних порівнянь та надати всі проміжні розрахунки ваг критеріїв.
3. Виконати перевірку узгодженості виконаних розрахунків.

Вага – це значення, яке присвоєне критерію та вказує на його важливість щодо інших критеріїв, що розглядаються. Існує ряд методів, запропонованих для оцінки ваги критеріїв. Методи можна класифікувати на: ранжування, оцінювання, парне порівняння та ентропійний підхід. Вони ґрунтуються на припущенні просторової однорідності переваг. Ці методи вимагають, щоб особи, що приймають рішення, визначали свої переваги стосовно критеріїв оцінки. Метод на основі ентропії забезпечує альтернативний підхід до зважування критеріїв. На відміну від методів ранжування, оцінювання та парного порівняння, метод ентропії базується на вимірюванні інформації, що міститься у значеннях критеріїв.

Хоча використання конкретних методів оцінки ваги критеріїв залежить від контексту, є деякі бажані властивості, якими повинні мати ваги критерії незалежно від методу. Як правило, передбачається, що ваги критеріїв  $w_1, w_2, \dots, w_k, \dots, w_n$  відповідають таким умовам:  $0 \leq w_k \leq 1, \sum_{k=1}^n w_k = 1$ . Чим більша вага, тим важливішим є критерій. Ваги повинні бути співвідношеними. Якщо критерій С1 вдвічі більше 'важливіше', ніж С2, то  $w_1 = 2w_2$ ; тобто  $w_1 = 0,667$  і  $w_2 = 0,333$ .

#### *Метод парних порівнянь*

Метод парного порівняння був розроблений Saaty (1980) в контексті методу аналізу ієрархій (МАІ).

Одним з найважливіших кроків методу МАІ є побудова матриці  $C$ , де кожен елемент  $C_{ij}$  ( $i, j = 1, \dots, n$ ) представляє відносну важливість критерію  $i$  в порівнянні з критерієм  $j$ . Для того, щоб висловити цю відносну важливість, ОПР може скористатися вербальною шкалою, яка потім перетворюється в фундаментальну шкалу абсолютних чисел, що приймає цілі значення від 1 до 9 (табл.1).

Таблиця 1 – Лінгвістична шкала

Шкала Сааті	Визначення
1	відсутня перевага
3	слабка перевага
5	суттєва перевага
7	явна перевага
9	абсолютна перевага
2	проміжні значення між сусідніми значеннями шкали
4	
6	
8	

Крім того, елементи цієї матриці повинні дотримуватися наступної властивості узгодженості:  $C_{ij} = 1/C_{ji}, \forall i, j$ .

При використанні 9-бальної шкали, матриця  $A$  приймає свої значення в наступному діапазоні  $\{\frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \dots, \frac{1}{2}, 1, 2, \dots, 9\}$ .

В ідеальному випадку матриця є послідовною, тобто вона, природно, має таку властивість:  $C_{ik} \times C_{kj}, \forall i, j, k$ .

У цьому випадку матрицю попарних порівнянь  $C$  можна записати наступним чином:

$$C = \begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \dots & w_2 / w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix}$$

де  $w_1, w_2, \dots, w_n$  є вагами критеріїв. Щоб знати вектор  $w(w_1, w_2, \dots, w_n)$ , можна вирішити наступне рівняння:

$$Cw = \lambda_{max} w,$$

де  $\lambda_{max}$  - найбільше власне значення  $C$ . Сааті запропонував кілька методів для розрахунку наближених значень ваг критеріїв. Одним з найбільш часто застосовуваних є метод усереднення по нормалізованих стовпцях. По-перше, стовпці в матриці  $C$  нормалізують:

$$C_{kp}^* = \frac{C_{kp}}{\sum_{k=1}^n C_{kp}},$$

для  $k = 1, 2, \dots, n$ . Ваги обчислюються наступним чином:

$$w_k = \frac{\sum_{p=1}^n C_{kp}^*}{n}$$

При використанні парних порівнянь може виникати небажаний ефект транзитивної неузгодженості в оцінках переваг одних об'єктів над іншими.

Наприклад, з урахуванням трьох критеріїв оцінювання,  $C_1$ ,  $C_2$  та  $C_3$ , відношення транзитивності можна визначити так: якщо  $C_1 > C_2$  і  $C_2 > C_3$ , то  $C_1 > C_3$  (символ  $>$  означає „кращий“). Відповідно до принципу транзитивності, послідовний набір парних порівнянь вимагатиме, що якщо  $3C_1 > C_2$  ( $C_1$  втричі кращий, ніж  $C_2$ ), і  $2C_2 > C_3$ , то  $6C_1 > C_3$ . Однак можна стверджувати, що будь-яке судження людини певною мірою суперечливо. Наступні попарні порівняння:  $3C_1 > C_2$  та  $2C_2 > C_3$ ,  $5C_1 > C_3$  є прикладом нечутливих відносин. Метод парного порівняння допускає такі непослідовні відносини. Міра невідповідності заснована на спостереженні, що  $\lambda_{max} > n$ , для додатних, зворотних матриць, і  $\lambda_{max} = n$ , якщо  $C$  – послідовна матриця. Для контролю узгодженості експертних оцінок  $T$ . Сааті ввів дві пов'язані характеристики – індекс узгодженості (Consistency Index, C.I.) і відношення узгодженості (Consistency Ratio, C.R.):

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1},$$

де  $\lambda_{max}$  - найбільше власне значення.

$T$ . Сааті також встановив набір контрольних значень  $R.I.$ , середніх відношень узгодженості, які залежать від кількості альтернатив. Коли  $C.I.$  менша або рівна 10% від  $R.I.$ , рівень узгодженості вважається прийнятним.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.},$$

де  $R.I.$  – середнє відношення узгодженості, яке залежить від розміру вибірки (табл.2).

Розумний рівень узгодженості в парних порівняннях передбачається на рівні  $C.R. < 0.10$ , якщо  $C.R. \geq 0.10$ , це показує суперечливі судження.

Таблиця 2 – Значення випадкового індексу (R.I.) в залежності від рангу матриці

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Розглянемо приклад розрахунку ваг критеріїв для задачі пошуку місця розташування промислового підприємства.

По-перше, треба побудувати матрицю парних порівнянь для критеріїв похил, відстань до доріг (позначено у матриці як Відстань Д) та відстань від населених пунктів (позначено у матриці як Відстань НП). Дані розрахунки можна проводити у Microsoft Office Excel.

Припустимо, що критерій Відстань від населених пунктів має явну перевагу (7) перед критерієм Похил та слабку перевагу (3) перед критерієм Відстань до доріг, а критерій Відстань від доріг, відповідно, - слабку перевагу (3) перед критерієм Похил.

Критерії	Похил	Відстань Д	Відстань НП
Похил	1	0,33	0,14
Відстань Д	3	1	0,33
Відстань НП	7	3	1
SUM	11	4,33	1,48

Далі виконується нормалізація матриці парних порівнянь. Для цього поділіть кожне значення на суму значень відповідного стовпця:

$$a^*_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}$$

Критерії	Похил	Відстань Д	Відстань НП
Похил	0,091	0,077	0,097
Відстань Д	0,273	0,231	0,226
Відстань НП	0,636	0,692	0,677
SUM	1	1	1

Після чого можуть бути розраховані ваги критеріїв як середнє арифметичне кожного рядка:

$$w_k = \frac{\sum_{i=1}^n a^*_{ij}}{n}$$

Критерії	Вага
Похил	0,088
Відстань Д	0,243
Відстань НП	0,669
SUM	1

Проведіть розрахунок індексу узгодженості оцінок матриці порівнянь.

$$\lambda_{max} = 0,088 * 11 + 0,243 * 4,33 + 0,669 * 1,48 = 3,01078$$

$$C.I. = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) = (3,01078 - 3)/(3 - 1) = 0,00539$$

$$C.R. = C.I./R.I = 0,00539/0,52 = 0,01$$

Результати розрахунків ( $0,01 < 0,1$ ) показують, що оцінки експертів цілком узгоджені і ваги критеріїв розраховані коректно.

#### *Варіанти завдань*

Лабораторна робота №3 виконується для моделі придатності, побудованої студентом згідно з отриманим варіантом в лабораторній роботі №1.

#### *Контрольні питання*

1. Проведіть порівняльний аналіз відомих вам методів розрахунку ваг критеріїв.
2. Опишіть процедуру розрахунку ваг критеріїв на основі ентропії. Які є проблеми у реалізації цього методу в ГІС?
3. Для чого в методі парних порівнянь виконується розрахунок індексу узгодженості оцінок?
4. Який з методів, на ваш погляд, найбільш підходить для розрахунку ваг критеріїв в ГІС? Чому?
5. Яким вимогам повинні відповідати ваги критеріїв?

#### *Прилади, устаткування та інструменти*

Для виконання лабораторної роботи використовується ПЕОМ зі встановленим пакетом QGIS 3.22.16 'Białowieża'.

#### *Правила техніки безпеки та охорони праці*

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи регламентуються «Правилами техніки безпеки при роботі в комп'ютерній лабораторії».

### *Порядок проведення лабораторної роботи*

Для виконання роботи кожен студент повинен:

1. Відповісти на контрольні питання та пройти усне опитування за теоретичним матеріалом лабораторної роботи;
2. Пройти інструктаж за правилами охорони праці;
3. Отримати варіант завдання у викладача;
4. Розробити модель придатності;
5. Виконати відповідні етапи багатокритеріального аналізу рішень;
8. Отримати результати моделювання і показати їх викладачу;
9. Підготувати і захистити звіт до лабораторної роботи.

*Звіт з лабораторної роботи повинен містити:*

1. Титульний лист
2. Мета роботи, постановка проблеми.
3. Розрахунки вагів критеріїв методом парних порівнянь.
4. Матрицю парних порівнянь та всі проміжні розрахунки ваг критеріїв.
5. Розрахунки індексу узгодженості.
6. Висновки.

## Лабораторна робота № 4

### «Агрегування атрибутів критеріїв операторами нечіткого та зваженого накладання»

*Мета лабораторної роботи* – навчитися використовувати оператори нечіткого та зваженого накладання при виконанні багатокритеріального аналізу рішень в ГІС.

*Завдання лабораторної роботи* – виконати агрегування атрибутів за різними критеріями використовуючи інструменти нечіткого та зваженого накладання.

#### *Теоретичний матеріал до виконання лабораторної роботи №4*

Для задачі багатокритеріального пошуку ділянки для будівництва умовного промислового підприємства виконаємо агрегування атрибутів шарів критеріїв, щоб знайти найбільш придатні місця розташування. Значення розрахункових даних, що представляють собою похил, відстань до населених пунктів та доріг, перекласифіковані в єдину систему вимірювань (від 0 до 1).

Нечітке накладання.

Оскільки нечітка стандартизація критеріїв вже вказує на можливість приналежності до певних класів, в аналізі нечіткого накладання не використовують ваги (тобто немає сенсу додатково зважувати критерії за ступенем їх важливості).

Існують різні типи накладання, опис яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Опис типів нечіткого накладання

Тип накладання	Опис
OR	Нечітке OR (АБО) виділяє максимальний ступінь приналежності. Якщо будь-який з вхідних растрів має високу цінність, то відповідна комірка комбінованого растру буде мати високу цінність. $\mu_{comb} = \text{MAX}(\mu A, \mu B, \mu C \dots)$
AND	Нечітке AND (І) є оператором перетину, який виділяє мінімальний ступінь приналежності. Цей оператор використовує у остаточній карті мінімальне значення з усіх вхідних шарів. Тобто всі комірки растрових вхідних шарів повинні мати високу цінність, для того щоб у відповідній комірці комбінованого растру була висока

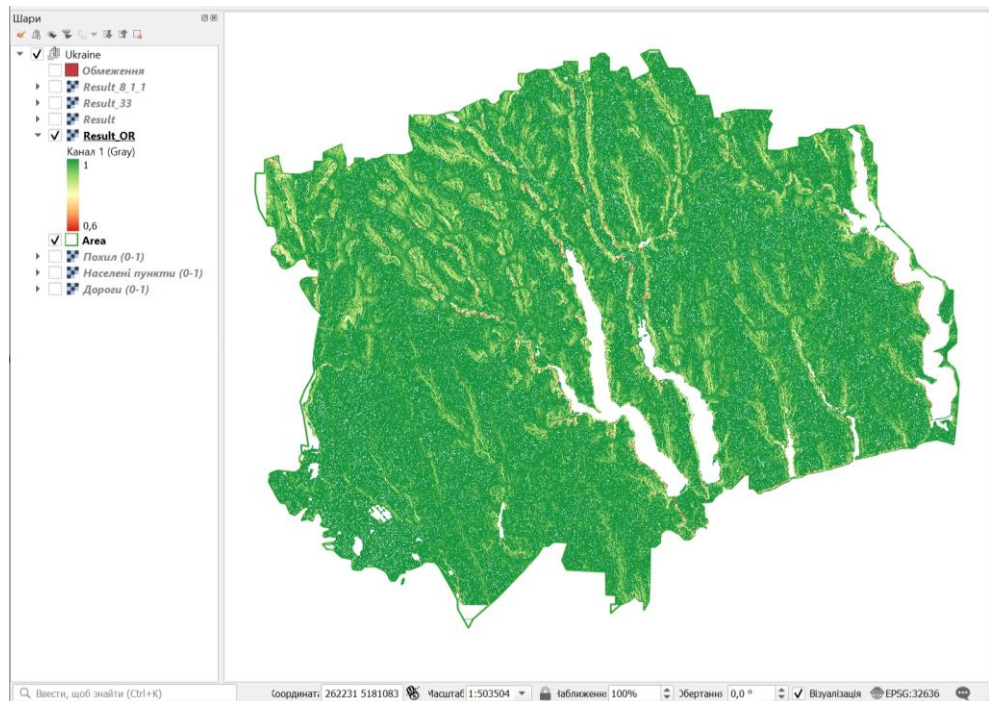
	<p>цінність.</p> $\mu_{comb} = MIN(\mu A, \mu B, \mu C \dots)$
PRODUCT	<p>Нечіткий PRODUCT - це функція добутку. Відповідні значення пікселів вхідних шарів перемножуються для отримання вихідного шару. Використовують, якщо комбінована цінність менш важлива, ніж будь-яка одиночна цінність.</p> $\mu_{comb} = \prod_{i=1}^n \mu_i$
SUM	<p>Нечітка SUM припускає, що результат більший або дорівнює максимальному ступеню цінності нечіткого набору. Результат оператора дуже схожий на результат нечіткого АБО, за винятком того, що значення SUM у деяких місцях вище.</p> $\mu_{comb} = \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$
GAMMA	<p>Нечіткий гамма-оператор зазвичай подається як доповнення до нечітких SUM і PRODUCT. Якщо Gamma дорівнює 1, результат буде таким же, як і Fuzzy Sum. Якщо Gamma дорівнює нулю, результат буде таким же, як і Fuzzy Product. Проміжні значення від 0 до 1 дозволяють комбінувати фактори для отримання результатів між цими двома крайностями, встановленими Fuzzy And та Fuzzy Or.</p> $\mu_{comb} = (SUM)^\lambda * (PRODUCT)^{1-\lambda}, \lambda \in (0,1)$

Щоб застосувати ці типи нечіткого накладання, скористайтесь Калькулятором растрів. Наприклад, нечітке накладання OR можна розрахувати за допомогою функції максимуму:

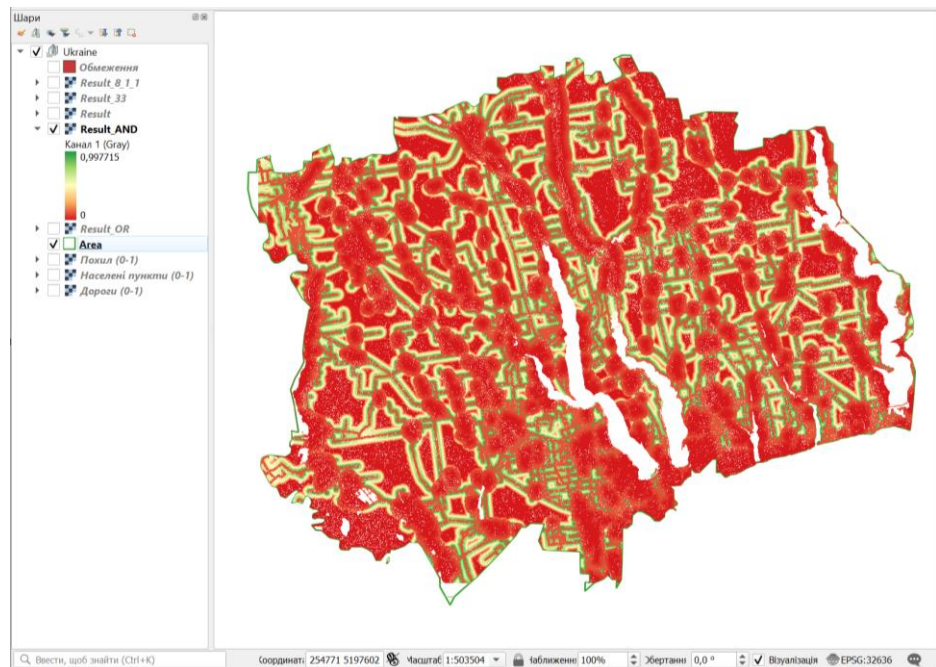
$MAX("Похил (0-1)@1", MAX("Населені пункти (0-1)@1", "Дороги (0-1)@1"))$

На шарі Result більш світлим кольором будуть показані більш придатні ділянки для побудови промислового підприємства. Для наочності змініть Тип візуалізації у властивостях шару та виберіть Однокалальний псевдоколір. Можна налаштувати градієнт за власним бажанням або обрати з встановлених. Наприклад, можна обрати градієнт від червоного до зеленого, і червоний колір буде позначати менш придатні ділянки, а зелений - найбільш придатні.

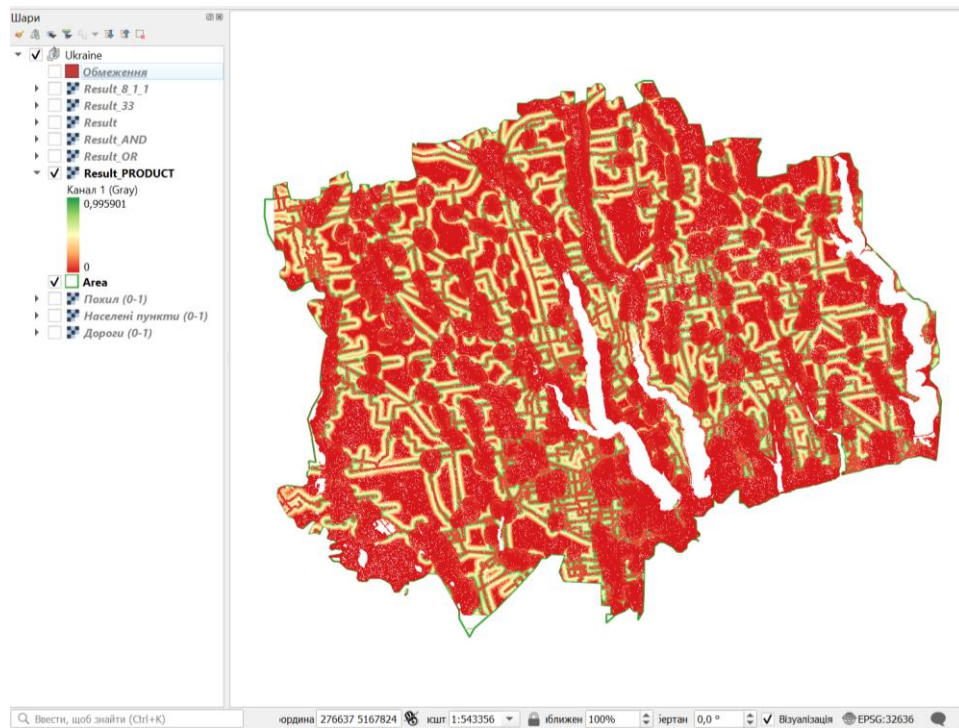




Нечітке накладання AND - функція мінімуму:  
 $\text{MIN}(\text{"Похил (0-1)@1"}, \text{MIN}(\text{"Дороги (0-1)@1"}, \text{"Населені пункти (0-1)@1"}))$



Нечітке накладання PRODUCT:  
 $\text{"Похил (0-1)@1"} * \text{"Дороги (0-1)@1"} * \text{"Населені пункти (0-1)@1"}$



Вибір типу нечіткого накладання залежить від конкретної проблеми та характеристик вхідних наборів. Загалом мінімальне накладання (AND) доцільно, коли вхідні дані є взаємовиключними, максимальне накладання (OR) є доцільним, коли вхідні набори доповнюють один одного, а накладання PRODUCT підходить, коли вхідні набори незалежні. Однак оптимальний вибір нечіткого накладання також може залежати від програми, даних і цілей аналізу.

#### Зважене накладання.

В роботі №3 були розраховані ваги критеріїв: відстань від населених пунктів - 0,669; відстань від доріг - 0,243 та похил - 0,088. Більше значення ваги означає більший вплив конкретних вихідних даних, які вони надають в моделі придатності.

Для виконання зваженого накладання також скористайтесь Калькулятором растрів. Для кожної комірки результуючого шару буде розраховуватись сума значень комірок шарів критеріїв, помножених на відповідний коефіцієнт (вагу критерію):

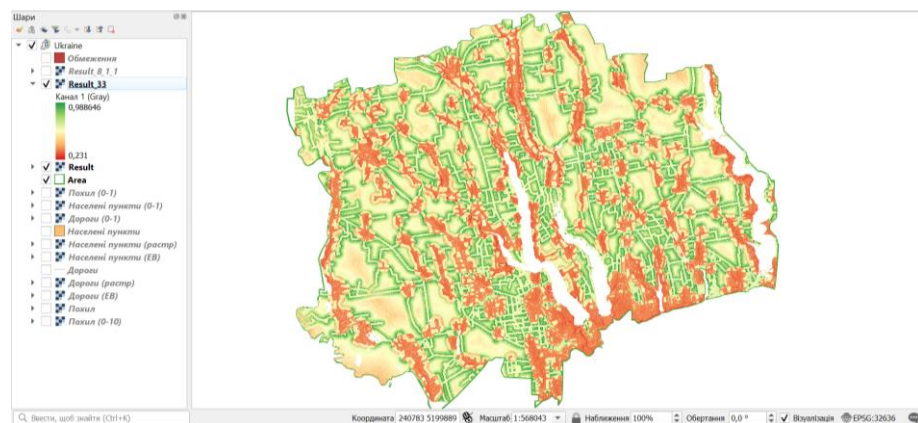
$$\text{"Населені пункти (0-1)@1"} * 0.669 + \text{"Дороги (0-1)@1"} * 0.243 + \text{"Похил (0-1)@1"} * 0.088$$



Ви можете поекспериментувати з виразом у Калькуляторі растрів, щоб побачити, як ваги критеріїв впливають на карту придатності.



Карта придатності при вагах критеріїв:  
похил - 0.8, відстань від нас. пунктів - 0.1, від доріг - 0.1



Карта придатності при вагах критеріїв:  
похил - 0.33, відстань від нас. пунктів - 0.33, від доріг - 0.33

Наведені приклади показують, наскільки важливим етапом багатокритеріального аналізу рішень є розрахунок вагів критеріїв.

### *Варіанти завдань*

Лабораторна робота №4 виконується для моделі придатності, побудованої студентом згідно з отриманим варіантом в роботі №1.

### *Контрольні питання*

1. Які існують оператори нечіткого накладання?
2. Чому при використанні операторів нечіткого накладання не використовуються ваги критеріїв?
3. Яким чином виконується зважене накладання в QGIS?

### *Прилади, устаткування та інструменти*

Для виконання лабораторної роботи використовується ПЕОМ зі встановленим пакетом QGIS 3.22.16 'Białowieża'.

### *Правила техніки безпеки та охорони праці*

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи регламентуються «Правилами техніки безпеки при роботі в комп'ютерній лабораторії».

### *Порядок проведення лабораторної роботи*

Для виконання роботи кожен студент повинен:

1. Відповісти на контрольні питання та пройти усне опитування за теоретичним матеріалом лабораторної роботи;
2. Пройти інструктаж за правилами охорони праці;
3. Отримати варіант завдання у викладача;
4. Розробити модель придатності;
5. Виконати відповідні етапи багатокритеріального аналізу рішень;
8. Отримати результати моделювання і показати їх викладачу;
9. Підготувати і захистити звіт до лабораторної роботи.

### *Звіт з лабораторної роботи повин містити:*

1. Титульний лист
2. Мета роботи, постановка проблеми.
3. Комплексні карти придатності, побудовані з використанням різних операторів нечіткого накладання.
4. Комплексні карти придатності, побудовані з використанням оператора зваженого накладання.
5. Висновки. Дайте обґрунтований аналіз отриманих результатів при різних вагах критеріїв.



## Лабораторна робота № 5

### «Інтерпретування результатів аналізу. Формування рекомендацій для ОПР»

*Мета лабораторної роботи* – навчитися використовувати інструменти, які дозволяють інтерпретувати результати багатокритеріального аналізу рішень в ГІС.

*Завдання лабораторної роботи* – провести додатковий аналіз і інтерпретування отриманих в попередніх лабораторних роботах результатів для формування рекомендацій ОПР.

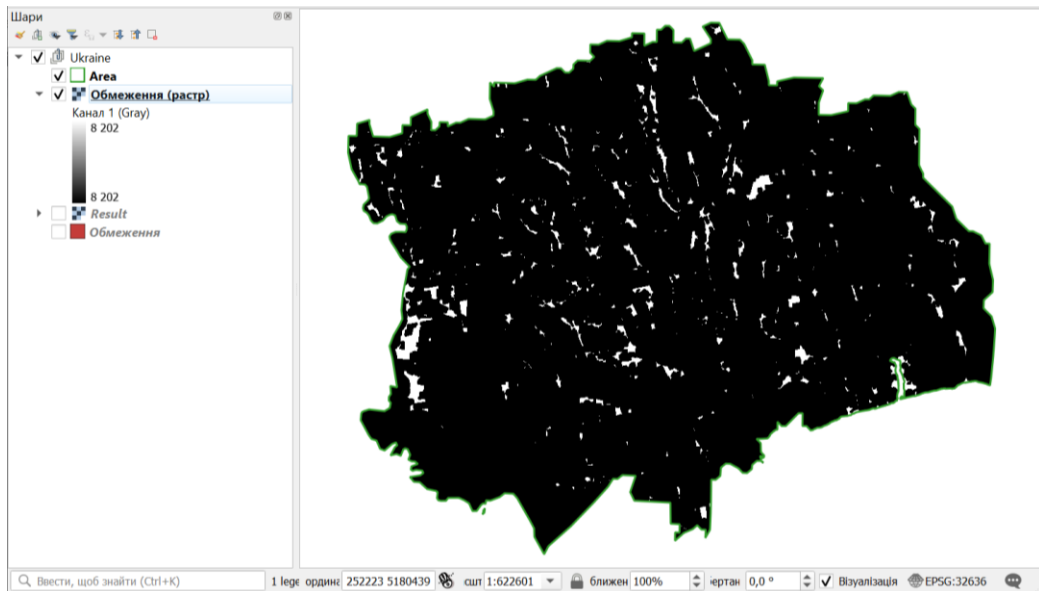
1. Для комплексної карти придатності територій, створеної за допомогою оператора зваженого накладання побудувати карту оптимальних областей
2. Сформувати на основі аналізу отриманих результатів моделювання рекомендації для ОПР.

#### *Теоретичний матеріал до виконання лабораторної роботи №5*

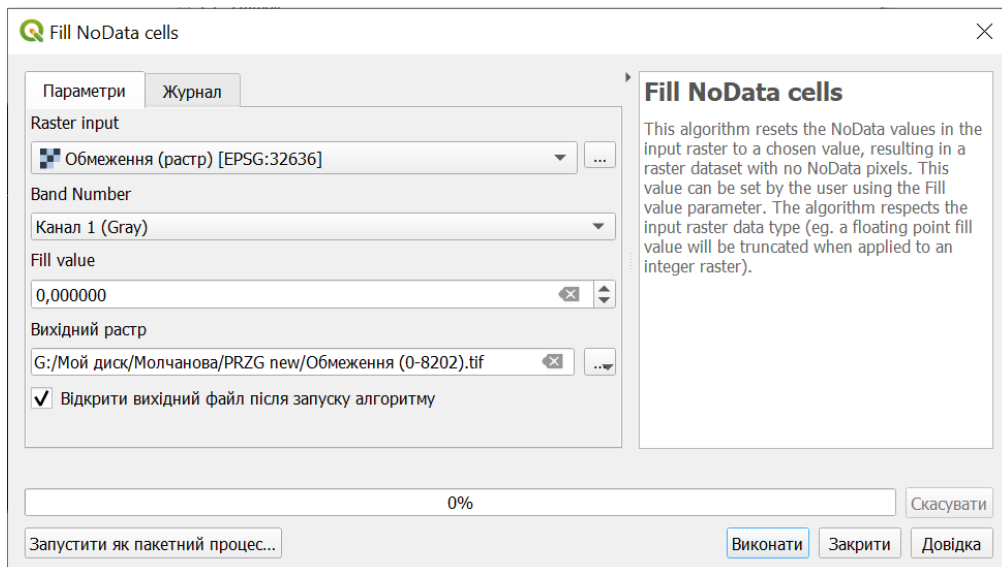
Вибір оптимальних ділянок. На комбінованій карті придатності кожен піксель має певне значення, яке показує, наскільки придатне це місце для нової школи. Пікселі, що мають значення 1, найбільш придатні; пікселі зі значенням 0 – непридатні для будівництва умовного промислового підприємства. Іншим критерієм оптимальної площадки є розмір придатної області. Придатні місця розташування повинні включати кілька пікселів зі значенням 1, з'єднаних разом.

Шари, які потрібні для побудови карти оптимальних областей - Area, Обмеження та Result, який містить значення придатності для кожної ділянки (комірки растру).

Перетворіть векторний шар Обмеження у растровий за допомогою інструменту Растр > Перетворення > Растрезація (вектор в растр). Вкажіть поле code як поле для використання експонованого значення. Одиниця розміру вихідного растру - пікселі. В полі Ширина/Горизонтальна роздільна здатність не забудьте вказати значення ширини з растрового шару (4220), а в полі Висота/Вертикальна роздільна здатність - висоти (3472).



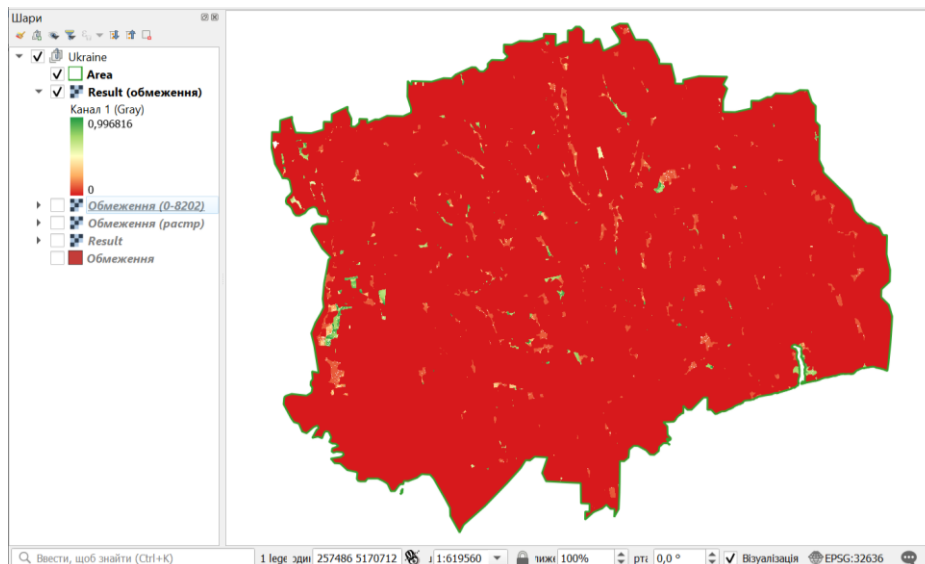
Даний шар містить деяке значення з таблиці атрибутів векторного шару та ділянки зі значенням NoData. В цих комірках може бути значення -9999 або інше значення за замовчуванням, а можуть зберігатись лише метадані, які свідчать про те, що комірка не містить даних (значення, яке зберігається в комірках растрового шару, можна дізнатись за допомогою інструменту **Визначити об'єкти**). Для простоти та надійності роботи заповніть комірки NoData значенням 0 за допомогою інструменту **Обробка даних > Панель інструментів > Растрові інструменти > Fill NoData cells**.



Необхідно отримати шар з ділянками растру, які не входять до обмежень. Для цього скористайтесь **Калькулятором растру**. Зверніть увагу: перед розрахунком завжди необхідно вибрати шар **Result** та натискати

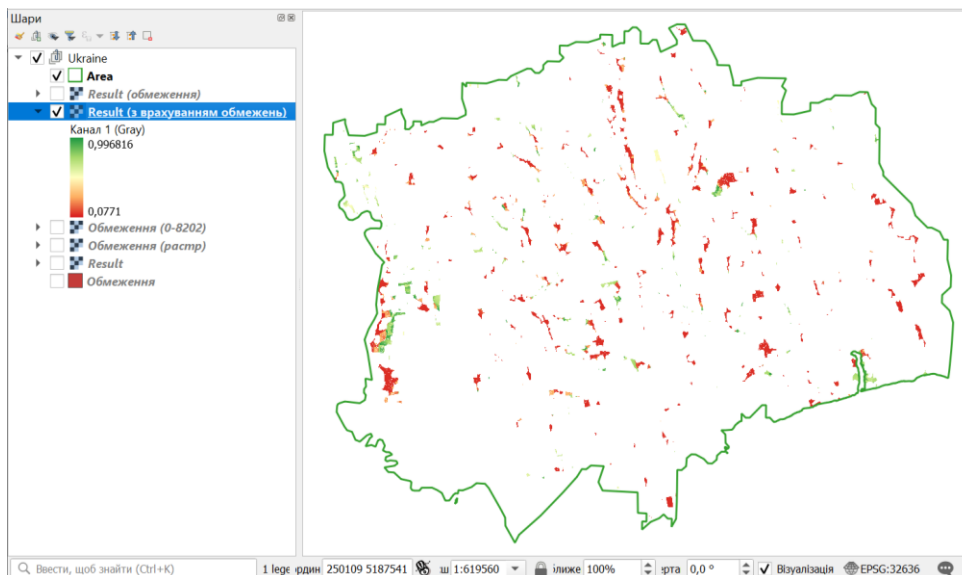
Використовувати екстент обраного шару, щоб вихідний шар мав границі території, яка досліджується.

```
if ( "Обмеження (0-8202)@1" = 0, "Result@1", 0
```



Отриманий шар містить значення 0 у комірках, які є обмеженням, та значення придатності території в діапазоні від 0 до 1 в інших. Тепер можна встановити значення NoData в комірках обмежень.

```
if ("Result (обмеження)@1" = 0, 0/0, "Result (обмеження)@1")
```

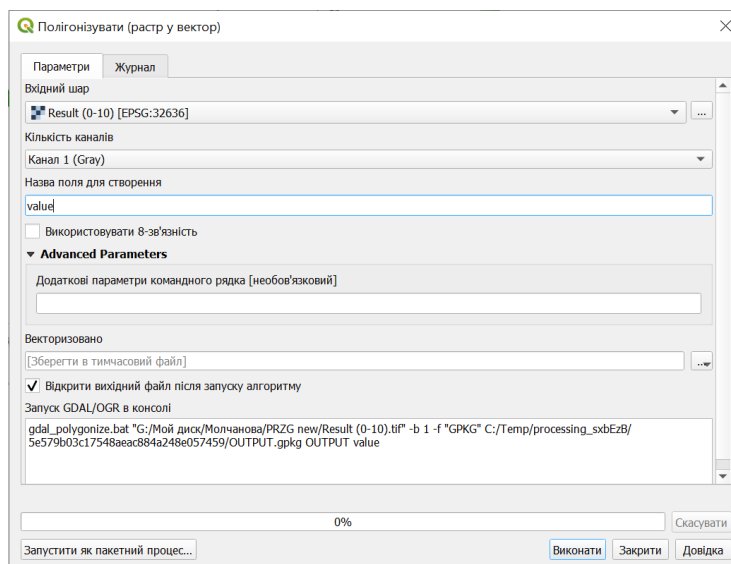


Отримати результуючу карту придатності можна різними способами. В цій роботі буде використовуватися інструмент Растр > Перетворення > Полігонізувати.

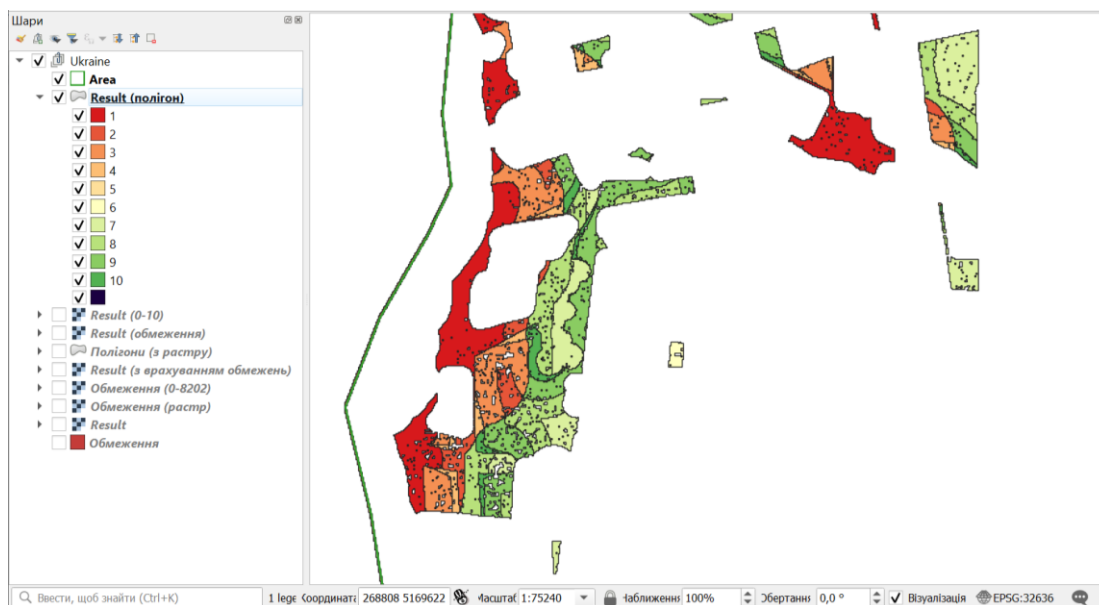
Даний інструмент GDAL має відому проблему - збереження даних растру в форматі int32, тобто примусове округлення значень. В останніх

версіях ця проблема була вирішена. Оновити GDAL можна, використовуючи інсталятор OSGeo4W (<https://trac.osgeo.org/osgeo4w>).

Інший спосіб обійти цю проблему: за допомогою Калькулятора растрів помножити значення растру на 10, щоб зберегти значення з 1 десятковим знаком, потім полігонізувати і додати нове поле у таблицю атрибутів, заповнити його значення шляхом ділення значення растру на 10. Можна також залишити значення в діапазоні від 0 до 10. Значення 10 буде означати, що комірка ідеально підходить для побудови промислового підприємства.

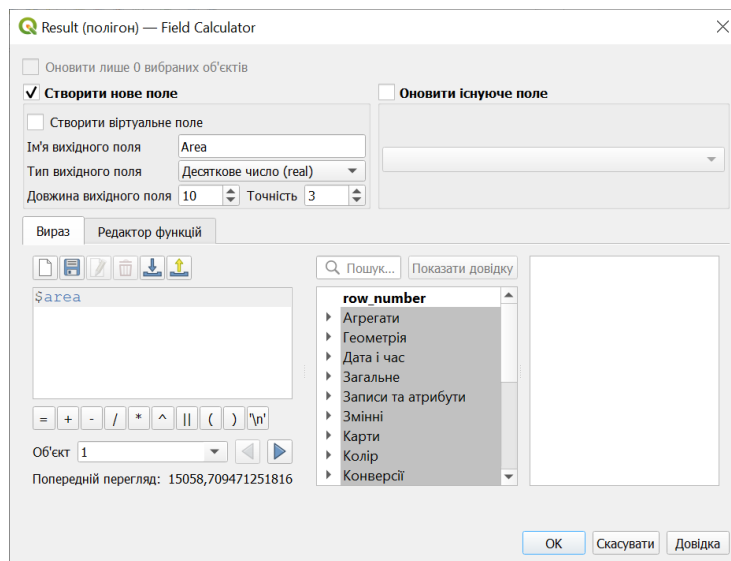


Налаштуйте відображення отриманого векторного шару. У Властивостях шару в розділі Символіка оберіть Категоріальний знак і класифікуйте значення поля value.





Як потенційні місця розміщення промислового підприємства слід вибрати 10-бальні ділянки. При цьому необхідно вибрати ділянки, площа яких перевищує 2,5 га (25 тис. кв. м). Для розрахунку площ полігонів відкрийте Таблицю атрибутів шару Result (полігон). Відкрийте Калькулятор відкритого поля (Ctrl+I) та створіть нове поле Area за виразом  $\$area$ .

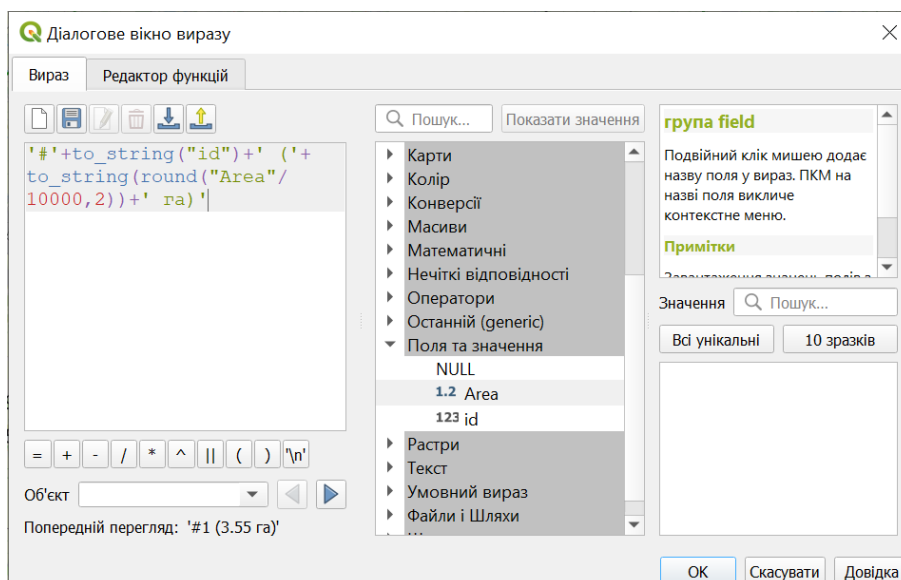


Виконайте дублювання шару та зайдіть в таблицю атрибутів нового шару. Виберіть об'єкти, використовуючи вираз.

`"value" = 10 AND "Area" > 25000`

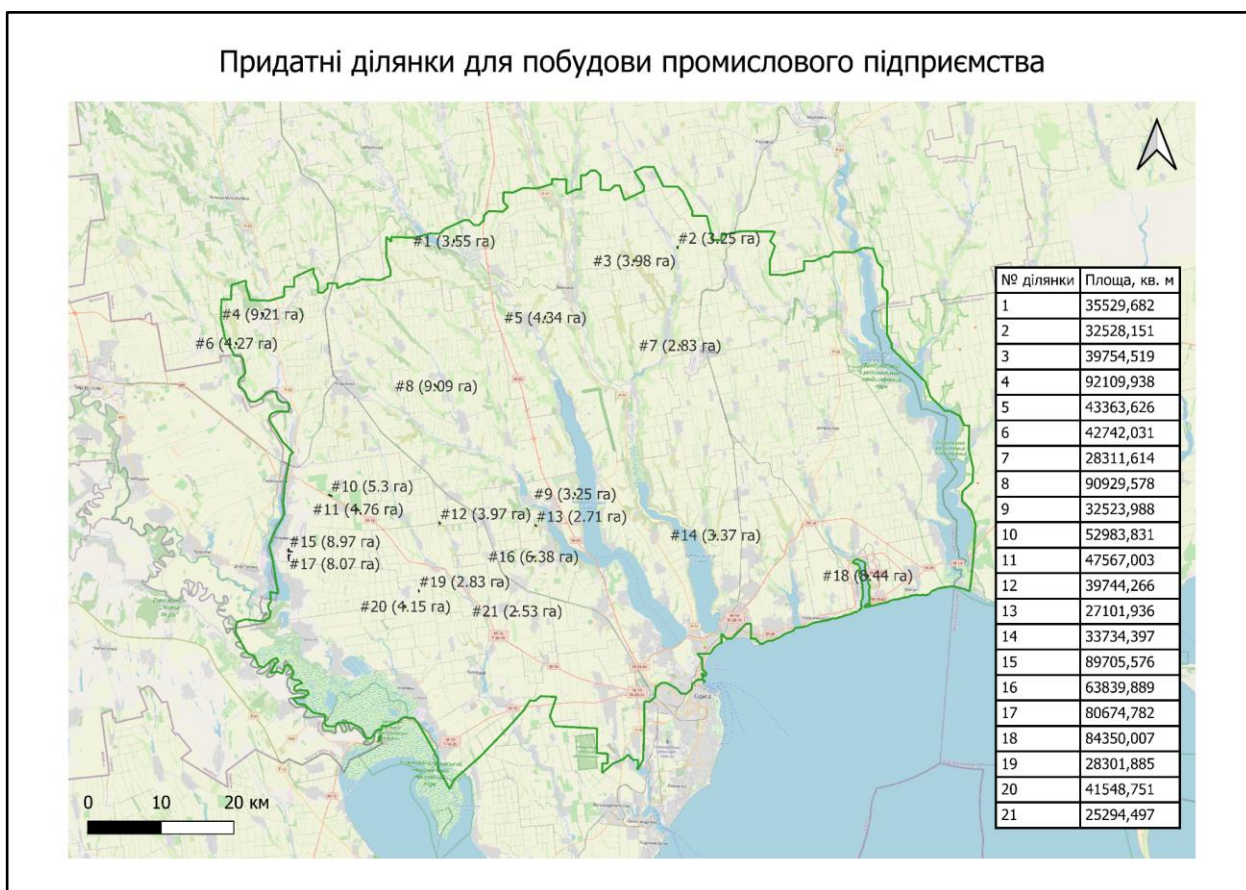
Інвертуйте вибір та видаліть зайві рядки. Ділянки, що залишилися, і є результатом аналізу.

Готову карту можна стилізувати, додавши підписи, карту OSM як географічну основу тощо.



Створіть макет друку через меню Проект > Створити макет друку. Макет друку - це налаштування виведення картографічних даних на друк або в файл. Він дозволяє створювати карти з геоданих, які можуть бути роздруковані на папері або експортовані у різні формати файлів (наприклад, PDF, JPEG, PNG). За допомогою макету друку можна налаштувати розмір паперу, масштаб, назву, легенду, шкалу, написи, розмітку та інші елементи карти. Він також дозволяє додавати інші елементи, такі як фотографії, логотипи або графіки, щоб зробити карти більш інформативними та привабливими.

Додайте необхідні на ваш погляд елементи карти та збережіть макет.



### *Варіанти завдань*

Лабораторна робота №5 виконується для моделі придатності, побудованої студентом згідно з отриманим варіантом в лабораторній роботі №1.

### *Контрольні питання*

1. Опишіть процедуру побудови комплексної карти оптимальних місць розташування об'єктів будівництва.
2. Яким чином на карті придатності можуть бути визначені оптимальні ділянки заданої площі?

3. Назвіть приклади умов, що можуть бути застосовані до побудованої карти придатності під час виконання аналізу отриманих рішень і надання рекомендацій ОПР?

*Прилади, устаткування та інструменти*

Для виконання лабораторної роботи використовується ПЕОМ зі встановленим пакетом QGIS 3.22.16 'Białowieża'.

*Правила техніки безпеки та охорони праці*

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи регламентуються «Правилами техніки безпеки при роботі в комп'ютерній лабораторії».

*Порядок проведення лабораторної роботи*

Для виконання роботи кожен студент повинен:

1. Відповісти на контрольні питання та пройти усне опитування за теоретичним матеріалом лабораторної роботи;
2. Пройти інструктаж за правилами охорони праці;
3. Отримати варіант завдання у викладача;
4. Розробити модель придатності;
5. Виконати відповідні етапи багатокритеріального аналізу рішень;
8. Отримати результати моделювання і показати їх викладачу;
9. Підготувати і захистити звіт до лабораторної роботи.

*Звіт з лабораторної роботи повин містити:*

1. Титульний лист
2. Мета роботи, постановка проблеми.
3. Скріншоти послідовного запуску інструментів, що були використані в моделюванні оптимальних областей.
4. Макет друку оптимальних областей
5. Висновки. Надайте обґрунтований аналіз отриманих результатів моделювання. Сформулюйте рекомендації для ОПР.

### **Основна література**

1. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с
2. Павленко Л. А. Геоінформаційні системи : навчальний посібник / Л. А. Павленко. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 260 с.
3. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с 4.

### **Додаткова література**

1. Обробка нечіткої інформації в системах прийняття рішень / А.Н. Борисов, Г.В.Меркурьєва – Радіо та зв'язок, 1997. –304с.
2. QGIS documentation. <https://qgis.org/ru/docs/index.html>
3. Geoprocessing with Python / Chris Garrard. - Manning, 360 p.