

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА**

**Географічний факультет  
кафедра геодезії, картографії та управління територіями**

**СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ В  
ЦІЛЯХ ГЕОДЕЗИЧНИХ І ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ РОБІТ  
ЗАСОБАМИ ГІС  
(НА ПРИКЛАДІ МЕЛЬНИЦЕ-ПОДІЛЬСЬКОЇ  
ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ)**

**Кваліфікаційна робота  
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)**

**Виконав:**

студент\_2 курсу, 618 групи  
Степан ТАНАСС

**Керівник :**

к.геогр.н., доц. кафедри геодезії,  
картографії та управління територіями  
Антон МЕЛЬНИК

*До захисту допущено  
на засіданні кафедри*

*протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2024 р.  
Зав. кафедрою \_\_\_\_\_ доц. Дарчук К.В.*

Чернівці – 2024

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: - студента 2 курсу, 628 групи, спеціальності 193 "Геодезія та землеустрій" другого (магістерського) рівня вищої освіти на тему: "Створення цифрової моделі місцевості в цілях геодезичних і землевпорядних робіт засобами ГІС (на прикладі Мельнице-Подільської територіальної громади)".

Метою дослідження є створення цифрової моделі місцевості засобами ГІС технологій для потреб геодезичного та землевпорядного спрямування. З'ясовано теоретичні складові створення та налаштування цифрових моделей місцевості, здійснено порівняння ЦММ на точність за різними джерелами вихідних даних для території Мельнице-Подільської територіальної громади використовуючи пункти ДГМ, з'ясовано оптимальність розміщення окремих видів земельних ресурсів території дослідження враховуючи крутизну схилу ЦММ.

**Ключові слова:** ЦММ, QGIS, SRTM, геодезія.

## ABSTRACT

Qualification work: - student of the 2nd year, group 628, specialty 193 "Geodesy and land management" of the second (master's) level of higher education on the topic: "Creation of a digital model of the area for the purposes of geodetic and land management works by means of GIS (on the example of the Melnytsia-Podilskyi territorial community) ".

The purpose of the research is to create a digital terrain model using GIS technologies for the needs of geodetic and land management guidance. The theoretical components of creating and setting up digital models of the area were clarified, a comparison of the CMM for accuracy according to different sources of initial data for the territory of the Melnytsia-Podilskyi Territorial Community using DGM points was made, the optimality of the placement of certain types of land resources in the study area, taking into account the steepness of the CMM slope, was clarified.

**Keywords:** CMM, QGIS, SRTM, geodesy.

## ЗМІСТ

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                       | <b>4</b>  |
| <b>РОЗДІЛ I. ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ .....</b>                 | <b>7</b>  |
| 1.1. Введення у цифрову модель місцевості (ЦММ).....                                    | 7         |
| 1.2. Важливість створення цифрової моделі місцевості .....                              | 8         |
| 1.3 Види та методи створення ЦММ .....                                                  | 13        |
| <b>Висновки до розділу 1.....</b>                                                       | <b>15</b> |
| <b>РОЗДІЛ II ОСОБЛИВОСТІ НАЛАШТУВАННЯ QGIS В ЦІЛЯХ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦММ.....</b>             | <b>17</b> |
| 2.1. Основні налаштування ГІС .....                                                     | 17        |
| 2.2 Використання плагіну SRTM-Downloader для візуалізації ЦММ. ....                     | 19        |
| 2.3 Оформлення зображення рельєфу.....                                                  | 20        |
| <b>Висновки до розділу 2.....</b>                                                       | <b>24</b> |
| <b>РОЗДІЛ III ВИКОРИСТАННЯ ЦММ В ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ І ГЕОДЕЗИЧНИХ ЦІЛЯХ .....</b>           | <b>25</b> |
| 3.1 Створення векторного шару території досліджень в QGIS .....                         | 25        |
| 3.2 Порівняння ЦММ отриманих з Copernicus та SRTM .....                                 | 33        |
| 3.3 Визначення оптимального використання угідь в залежності від крутизни схилу ЦММ..... | 40        |
| <b>Висновки до розділу 3.....</b>                                                       | <b>52</b> |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>                                                                    | <b>53</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>                                                  | <b>55</b> |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Неможливо дослідити кожен сантиметр території за великих масштабів. Тому доводиться визначати значення незвіданого простору за дискретними даними, що сусідять, за допомогою застосування математичних методів. ЦММ відображає гіпотетичні відомості про ту чи іншу ділянку поверхні. Також враховуються його геопросторові координати, характеристики та можливі реакції на той чи інший вплив.

На основі даних про рельєф, можливо, виконувати різні геоінформаційні завдання, наприклад, швидке створення серії тематичних карт найважливіших морфометричних показників: гіпсометричної карти, карт крутоизни та експозицій схилів, а на їх основі і карт ерозійної небезпеки, напрямів поверхневого стоку; стійкості ландшафтів.

Глобальні ЦМР будуються, переважно, за даними стереоскопічної оптичної та інтерферометричної радіолокаційної космічної зйомки. У більшості випадків вимоги за точністю ЦМР можна задовольнити, створюючи моделі на основі цифрових топографічних карт відповідного масштабу, що містять інформацію про рельєф у вигляді ізоліній, позначок висот, позначок урізів води тощо.

Процес створення моделі рельєфу (у триангуляційному або матричному вигляді) за цифровими даними такого типу в даний час добре вивчений, реалізований у багатьох ГІС.

У сучасному будівництві цифрові технології стають все більш важливими для підвищення точності та ефективності проектування. Цифрові моделі місцевості грають ключову роль геодезичних дослідженнях, надаючи деталізовані та точні дані про територію, що суттєво спрощує та покращує процес проектування та будівництва.

На сьогоднішній день розвиток інформаційних технологій, зокрема ГІС дозволяє ефектно та ефективно, швидко та функціонально продемонструвати результат об'єктивної оцінки у різних галузях. Зокрема і при побудові ЦММ

багато хто з дослідників використовує ГІС. У роботі проведено дослідження використовуючи програмний продукт з відкритим кодом QGIS.

**Метою дослідження** є створення цифрової моделі місцевості засобами ГІС технологій для потреб геодезичного та землепорядного спрямування.

**Об'єктом дослідження** даної курсової роботи є цифрова модель місцевості території Мельнице-Подільської територіальної громади, що виступає територією досліджень.

**Предметом** дослідження виступають особливості вибору, налаштування цифрової моделі місцевості.

Під час написання дипломної роботи було поставлено та вирішено **завдання:**

- з'ясувати теоретичні складові створення та налаштування цифрових моделей місцевості;
- створити та порівняти ЦММ на точність за різними джерелами вихідних даних для території Мельнице-Подільської територіальної громади використовуючи пункти ДГМ;
- з'ясувати оптимальність розміщення окремих видів земельних ресурсів території дослідження враховуючи крутизну схилу ЦММ.

**Методи дослідження.** Під час виконання роботи, були використані наступні загальнонаукові методи: аналізу, аналогії, синтезу, порівняння, моделювання, прогнозування; конкретно-наукові – порівняльно-географічний, розрахунково-конструктивний, статистичний; спеціальні – , картографічний та ін. Окрім цього, важливе місце знайшли принципи створення та забезпечення багатофункціональності ГІС, фундаментальні положення картографії, системний підхід.

**Наукова новизна отриманих результатів.** За допомогою функціональних можливостей ГІС QGIS вдалось імпортувати з різних джерел растрову основу для побудови ЦММ. Це дало можливість запропонувати порівняти абсолютні висоти горизонталей утворених ЦММ з абсолютними висотами векторизованих точкових об'єктів пунктів ДГМ території Мельнице-

Подільської територіальної громади. А також з'ясувати оптимальність розміщення окремих видів земельних ресурсів території дослідження враховуючи крутизну схилу ЦММ.

**Практичне застосування отриманих результатів.** Отримані в результаті аналізу рекомендаційні рішення безпосередньо можна використовувати в процесах прикладного рішення задач по створенню цифрових моделей місцевості. Можливо підвищувати проектні та прогностичні рішення розвитку території в умовах децентралізаційних процесів в питаннях використання окремих видів земельних ресурсів для окремих територій. Враховуючи важливість створення ЦММ в геодезії (існування вимог у стандартах) дані дослідження та їх результат дозволяють у майбутньому при виборі джерел інформації використовувати ті, що мають більшу точність просторових характеристик геооб'єктів.

**Структура та обсяг роботи.** Дипломна робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 20 одиниць найменувань. Загальний обсяг роботи становить 56 сторінок друкованого тексту.

## **РОЗДІЛ I. ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ**

### **1.1 Введення у цифрову модель місцевості (ЦММ)**

Цифрова модель місцевості (ЦММ) – це передовий інструмент у галузі геодезії та картографування, що дозволяє детально відтворити та аналізувати рельєф земної поверхні. Цей метод включає створення тривимірних моделей, заснованих на точних даних про координати і висотні позначки. Використання ЦММ полегшує планування та проектування у різних галузях, включаючи будівництво, екологію та урбаністику.

Розвиток концепції ЦММ розпочався з появи комп'ютерних технологій та методів цифрової обробки даних. Згодом ця технологія зазнала значних змін, збагачуючись новими методами збору даних, такими як лазерне сканування та аерофотозйомка. Сьогодні ЦММ є невід'ємною частиною інженерних досліджень, надаючи точні та деталізовані моделі для аналізу та планування.

Створення цифрової моделі місцевості включає кілька ключових елементів, серед яких особливе місце займають технології зйомки і картографування. Сучасні методи, такі як лазерне сканування та аерофотозйомка, дозволяють отримувати високоточні дані про рельєф місцевості. Лазерне сканування забезпечує деталізацію поверхні з неймовірною точністю, тоді як аерофотозйомка використовується для обробки великих територій.

Важливим аспектом створення ЦММ є використання спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє обробляти зібрані дані і моделювати цифрову модель місцевості. Ці програми мають функції інтерполяції, тривимірного моделювання та візуалізації, що робить їх незамінними інструментами в руках фахівців з геодезії та картографії. Завдяки таким програмам можна створювати точні моделі місцевості, а й аналізувати різні геологічні і екологічні характеристики.

Цифрова модель місцевості (ЦММ) знаходить широке застосування в інженерному проектуванні та плануванні. Завдяки високій точності та деталізації, ЦММ дозволяє інженерам та архітекторам точно планувати та візуалізувати майбутні будівельні проекти, враховуючи реальні особливості місцевості. Це особливо важливо при будівництві великих об'єктів, таких як будівлі, мости, греблі, а також проектування транспортних магістралей і дорожніх розв'язок.

В області топографічних досліджень ЦММ використовується для аналізу рельєфу та визначення його впливу на різні природні та антропогенні процеси. Топографічний аналіз за допомогою ЦММ дозволяє виявляти небезпечні ділянки, схильні до ерозії або зсувів, і планувати заходи щодо їх запобігання. Крім того, ЦММ застосовується в екологічному моніторингу, допомагаючи вивчати зміни ландшафту, вплив людини на природу та ефективність природоохоронних заходів.

ЦММ включає цифрові шари (моделі) (рельєфу, вектора (об'єкти з семантичними характеристиками), поширення населення (адміністративні кордони, межі населених пунктів з чисельністю жителів згідно останнього перепису населення), перешкод (висоти будівель, рослинності та інженерних споруд)).

ЦМР містить інформацію про висоту тільки істинного рельєфу, без урахування рослинності, будівель та інших антропогенних об'єктів, ЦМП містить інформацію про всі нерівності земної поверхні, включаючи рослинність та антропогенні об'єкти.

## **1.2 Важливість створення цифрової моделі місцевості**

Процес створення цифрової моделі місцевості (ЦММ) починається з ретельної підготовки та збору вихідних даних. Цей етап включає геодезичні дослідження, аерофотозйомку і, в деяких випадках, лазерне сканування. Зібрані дані є масою точок, кожна з яких містить інформацію про координати і висоту

певної ділянки місцевості. Ця інформація є основою для побудови точної та деталізованої моделі.

Далі слідує етап побудови самої ЦММ. На цьому етапі дані, отримані під час зйомки, обробляються спеціалізованим програмним забезпеченням. Програми створюють тривимірну модель місцевості, інтерполюючи дані між точками та формуючи реалістичне зображення рельєфу. У цьому процесі важливо забезпечити, щоб модель була не тільки точною, а й інформативною, відображаючи всі ключові особливості місцевості, включаючи зміни висот, наявність водних об'єктів та інші деталі топографії.

Одним із ключових аспектів цифрової моделі місцевості (ЦММ) є точність та деталізація даних. Точні координати та висотні дані відіграють вирішальну роль у створенні ефективних та надійних моделей. Ці дані забезпечують правильне уявлення рельєфу, що важливо для багатьох інженерних і планувальних завдань. Помилки в координатах або висотах можуть призвести до неточностей у проектах, що може викликати серйозні проблеми, особливо в будівництві та містобудуванні.

Детальне моделювання в ЦММ дозволяє інженерам та дизайнерам опрацьовувати складні проекти з урахуванням усіх особливостей місцевості. Це може включати розробку систем відведення води, планування транспортної інфраструктури, проектування ландшафту та багато іншого. Точність ЦММ дозволяє проводити реалістичні симуляції різних сценаріїв, наприклад, потенційних паводків або ерозій, що допомагає приймати обґрунтовані рішення при плануванні захисних заходів.

У сучасній практиці створення цифрових моделей місцевості (ЦММ) активно застосовуються передові технології, такі як лазерне сканування та аерофотозйомка. Лазерне сканування, або LiDAR, дозволяє з високою точністю та швидкістю збирати дані про рельєф, забезпечуючи детальне зображення місцевості. Цей метод ідеально підходить для аналізу складних та важкодоступних ділянок.

Аерофотознімання, що здійснюється за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) або літаків, надає великі дані про великі території, що особливо цінно для великомасштабного планування та картографування. Ці методи зйомки дозволяють отримати дані, необхідні для створення високоточних цифрових моделей місцевості.

Крім того, велику роль у створенні ЦММ відіграють автоматизація та програмні рішення. Сучасне програмне забезпечення для обробки геоданих має функціонал, що дозволяє автоматично обробляти великі обсяги даних, створювати точні тривимірні моделі та виконувати складні аналітичні завдання. Це значно прискорює процес створення ЦММ та підвищує його ефективність.

Цифрова модель місцевості (ЦММ) знаходить широке застосування у низці практичних сфер, зокрема у містобудуванні та плануванні інфраструктури. У містобудуванні ЦММ використовується для детального планування розвитку територій, включаючи розміщення нових будівель, доріг та інших об'єктів інфраструктури. Вона дозволяє враховувати реальні особливості ландшафту, що сприяє більш ефективному та сталому розвитку міських та сільських територій.

В екологічних та наукових дослідженнях ЦММ застосовується для аналізу та моніторингу стану навколишнього середовища. З її допомогою можна відслідковувати зміни у ландшафті, вплив антропогенної діяльності на природні комплекси, а також планувати заходи щодо охорони навколишнього середовища. Наприклад, ЦММ допомагає оцінити ризики ерозії ґрунтів, затоплення територій, зсувних процесів та інших природних явищ, що дозволяє розробляти ефективні стратегії їх запобігання.

Застосування цифрової моделі місцевості (ЦММ) демонструє свою ефективність у багатьох областях, включаючи дорожнє будівництво та геодезичні роботи. Наприклад, у дорожньому будівництві ЦММ використовується для точного планування траси, визначення оптимального розташування доріг та оцінки необхідності проведення земляних робіт. Завдяки точним даним про рельєф та особливості місцевості, ЦММ дозволяє скоротити

ризика, пов'язані з несподіваними геологічними умовами, та заощадити на будівництві за рахунок більш ефективного використання ресурсів.

У геодезичних роботах ЦММ застосовується для створення точних топографічних карт, планування та проведення інженерних вишукувань. Це дозволяє геодезістам та інженерам отримувати актуальні та докладні дані про місцевість, необхідні для точного проектування та виконання будівельних робіт. Таким чином, ЦММ сприяє підвищенню точності та скорочення часу виконання геодезичних завдань.

Відповідно до стандарту Мінагрополітики України - Стандартизація у сфері топографо-геодезичної та картографічної діяльності. База топографічних даних. Правила цифрового опису рельєфу, що розроблений Державним підприємством “Науково-дослідний інститут геодезії і картографії”, Державного агентства земельних ресурсів України (розробники - Ю. Карпінський, д-р техн. наук, проф.; А. Лященко д-р техн. наук, проф.; О. Смірнова, О. Медвідь, Р. Осьмак, Р. Рунець,) існують правила цифрового опису рельєфу в базі топографічних даних. Тут містяться вимоги до: видів, структури та складу цифрових моделей рельєфу в базі топографічних даних; якості цифрових моделей рельєфу; метаданих про цифрові моделі рельєфу.

Згідно вимог вищезазначеного документу існують загальні вимоги до якості цифрової моделі рельєфу. До обов'язкових показників якості ЦМР належать вертикальна та горизонтальна точність і показник повноти даних ЦМР.

Точність (як вертикальна, так і горизонтальна) може бути двох типів: перевірена, тобто отримана на основі порівняння значень, отриманих з ЦМР та виміряних на місцевості у відповідних контрольних точках; очікувана, тобто найбільш ймовірна та застосована до ділянок, для яких неможливо застосувати оцінку точності, визначену по контрольним точкам.

Вимоги до вертикальної точності даних про рельєф залежать від категорії території та масштабу, в якому має використовуватися модель, та встановлюються відповідно до нормативних документів згідно до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

## Вимоги до вертикальної точності (середні похибки висот в метрах)

| Райони робіт                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Знаменник масштабу плану або карти |              |                |                |       |       |       |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|----------------|----------------|-------|-------|-------|--------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 500                                | 1000         | 2000           | 5000           | 10000 | 25000 | 50000 | 100000 |
| Плоскорівнинні із схилами місцевості до 2°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0,12                               | 0,12         | 0,12<br>(0,25) | (0,12)<br>0,25 | 0,2   | 0,6   | 2,5   | 5,0    |
| Те саме у залісених районах                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,18                               | 0,18         | 0,18<br>(0,37) | (0,18)<br>0,37 | 0,4   | 0,9   | 5,0   | 10,0   |
| Рівнинні, пересічені та горбисті райони з переважаючими схилами місцевості до 6°, а також райони піщаних пустель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,17                               | 0,17         | (0,33)<br>0,66 | (0,66)<br>1,66 | 0,6   | 1,6   | 3,0   | 7,0    |
| Те саме при схилах місцевості до 4°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0,17                               | 0,17         | 0,16*<br>0,33  | (0,33)<br>0,66 | 0,6   | 0,6   | 3,0   | 7,0    |
| Те саме у залісених районах                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,25                               | 0,25<br>0,5* | 0,25*<br>0,50  | (0,50)<br>1,00 | 0,9   | 2,4   | 6,0   | 14,0   |
| Низькогірні та середньогірні райони                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0,33                               | 0,33         | 0,66           | 0,66*<br>1,66  | 2,5   | 2,5   | 5,0   | 10,0   |
| Те саме у залісених районах                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,50                               | 0,50         | 1,00           | 1,00*<br>2,50  | 3,7   | 3,7   | 10,0  | 20,0   |
| Високогірні райони                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 0,33                               | 0,33         | 1,00           | 1,00*<br>2,50  | —     | 5,0   | 10,0  | 20,0   |
| * Значення похибок приведено для висот перерізу рельєфу, які на топографічних планах населених пунктів не використовуються                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                    |              |                |                |       |       |       |        |
| <p><b>Примітка 1.</b> Вимоги для масштабів від 1:100 000 до 1:10 000 взято з таблиці 2 Основних положень створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000, а для масштабів 1:5 000 та 1:500 розраховані на підставі п. 1.1.9 та п. 1.1.18 Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 та 1:500</p> <p><b>Примітка 2.</b> У дужках наведені значення похибок для висот перерізу рельєфу, що застосовуються на топографічних планах населених пунктів, але в обмежених випадках, що передбачено технічним проектом або програмою</p> |                                    |              |                |                |       |       |       |        |

Горизонтальну точність визначають через величину похибок нанесення точок, горизонталей та структурних ліній. Через можливу відсутність чітких контурів місцевості, потрібних для перевірки горизонтальної точності, перевірка горизонтальної точності ЦМР не є обов'язковою, але в метаданих треба подавати очікувану горизонтальну точність ЦМР.

Очікувана точність має бути подана у випадках відсутності незалежних результатів контролю або неможливості їх практичної перевірки, наприклад, через відсутність вихідних даних для контрольних точок.

Базова вертикальна точність набору даних має бути визначена за допомогою контрольних точок, розташованих тільки на відкритій місцевості та оцінена на рівні довіри в 95% як функція вертикальної середньоквадратичної похибки.

Показник повноти даних ЦМР має бути наданий як процент сумарної площі особливих територій, про які відсутні дані в ЦМР до загальної площі території, що охоплена моделлю.

### **1.3 Види та методи створення ЦММ**

Крім аналізу поверхні рельєфу, цифрове уявлення може використовуватися для:

- ВІМ-проекування;
- Швидкої побудови карт (крутості, експозиції схилів, ін.);
- Вертикальне планування ділянки за заданими параметрами;
- генерації горизонталей;
- Розробка раціональних варіантів будівництва будівлі, споруди;
- Здійснення розрахунку площ та обсягів земляних робіт;
- Детального аналізу експозиції та ухилів схилів;
- Побудови гідромереж;
- Подання, аналізу отриманих даних у 3-х вимірах;
- Аналіз зон видимості і т.д.

Інженерна цифрова модель місцевості може знадобитися для картографування та облаштування майданчика під час проектування ландшафтного дизайну. Також застосовуватися під час проектування будівель, автомобільних доріг, магістралей, розв'язок. Для вирішення завдань щодо охорони території, проведення наукових досліджень.

Інформація про ділянку, представлена в цифровому вигляді, є зручною для подання, зберігання, обробки.

Залежно від цілей сукупність даних може бути представлена у форматі:

Моделі цифрового рельєфу (ЦМР). Містить інформацію про рельєф території. Вона представлена набором точок із відомими координатами, висотами. Також відображаються зв'язки між ними, способи визначення висот нових точок за заданими плановими відмітками.

Цифрова модель контурів (ЦМК). Містить дані про характеристики та планове становище об'єктів, зв'язки між ними.

Цифрова модель рельєфу місцевості одночасно містить планові координати і висоти  $H$ , тоді як у другому випадку задіяні лише планові висотні координати  $X$ ,  $Y$ .

При проектних аналітичних роботах ефективно використовувати ЦММ. І тут моделювання складає основи топографічних карт.

З метою прогнозування інформації про рельєф на досліджуваній ділянці та побудови моделі використовують математичні методи:

- Принципи тріангуляції Делоне;
- Інтерполювання;
- Метод зворотних завислих відстаней;
- Сплайн-інтерполяція;
- Тренд-інтерполяція, і навіть різні формули, закономірності.

Для швидкого отримання цифрової моделі місцевості та її обробки застосовують спеціальне програмне забезпечення.

Формування ЦММ для завдань проектування виробляють з урахуванням топографічних карт. Тут важливою є точність первинних даних.

Помилки, допущені при побудові топографічного плану та ЦММ, призводять до прийняття нераціональних проектних рішень. Це може стати причиною переробок, аварій, додаткових витрат коштів (до 35%) під час будівництва.

Аерофотозйомка дозволяє отримувати знімки з високою просторовою роздільною здатністю (до 1 см/піксель) і забезпечує більш високий рівень деталізації отриманих ортофотопланів і моделей, забезпечує середньоквадратичну помилку (СКО) визначення координат точок менше 10 см, а також може бути виконана нижче суцільної хмарності. Аерофотозйомку доцільно виконувати для створення високоточних ЦММ.

Переваги застосування зйомки з БПЛА для створення ЦММ наступні. Застосування зйомки БПЛА для побудови цифрових моделей місцевості

(ЦММ) значно розширює можливості дослідження простору та отримання інформації про нього, що дозволяє в стислі терміни отримати реалістичну модель високої якості, яка порівняно з лазерним скануванням, але доступна за вартістю.

Переваги застосування LIDAR для створення ЦММ висока швидкість та точність вимірювань; можливість використання отриманих даних для складання карт, топографічних планів та креслень, у тому числі різних перерізів; можливість проводити щодо дистанційно зйомку важкодоступних та небезпечних об'єктів (дальність лазерного сканера залежно від особливості приладу та умов проведення зйомки залишає від 1 до 2 500 метрів).

За допомогою камери високої роздільної здатності можна отримувати масив координат одночасно з реальними зображеннями, що є великою перевагою при побудові ЦММ.

Сьогодні існують ГІС продукти як з відкритим так і з закритим кодом. Одним із таких безкоштовних ГІС продуктів є ArcGIS Online. Використання якого дозволяє оперативно, швидко, точно відобразити геодані у вигляді різних тематичних карт. В тому числі і дослідження земельних ресурсів територій нового адміністративно-територіального устрою станом на останні роки.

Використання ГІС в сучасний час все більше використовується в різних галузях. Значними перевагами використання ГІС є швидкість, оперативність, доступність, геоприв'язка, можливість імпортувати файли різного розширення і формату. Використання *mapviewer arcgis* дозволяє швидко, оперативно оцінити, проаналізувати проблематику, дослідити конкретні завдання та створити картосхему з налаштованим візуальним відображенням, легендою, позначеннями.

## **Висновки до розділу 1.**

Варто відзначити, що технологія цифрової моделі місцевості (ЦММ) продовжує активно розвиватися, відкриваючи нові горизонти в інженерії та

проектуванні. Удосконалення методів зйомки, таких як лазерне сканування та аерофотозйомка, а також розвиток програмного забезпечення для обробки даних, передбачають подальше збільшення точності та деталізації ЦММ. Це дозволяє більш точно та ефективно планувати будівельні та інженерні проекти, скорочуючи ризики та підвищуючи ефективність проектування.

ЦММ сприяє інноваціям у різних галузях інженерії, від будівництва та містобудування до екологічного моніторингу та управління природними ресурсами. Завдяки високому рівню деталізації та точності ЦММ забезпечує надійну основу для прийняття обґрунтованих рішень та розробки інноваційних проектів, що відповідають сучасним вимогам та викликам.

Таким чином, ЦММ є не просто інструментом для вивчення місцевості, а й каталізатором прогресу у багатьох сферах, відкриваючи нові можливості для розвитку технологій та покращення якості життя у гармонії з навколишнім середовищем.

## РОЗДІЛ II. ОСОБЛИВОСТІ НАЛАШТУВАННЯ QGIS В ЦІЛЯХ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦММ

### 2.1 Основні налаштування ГІС

У вікні QGIS, що відкриється, потрібно натиснути кнопку Створити новий проект , щоб створити новий проект. Також варто зберегти проект QGIS у необхідну папку. Для цього натиснути іконку збереження , у вікні провідника, що відкрилося, перейти в папку і ввести назву проекту QGIS.

Далі потрібно знайти у робочому вікні QGIS панель браузера та розгорнути у ньому домашній каталог проекту. Якщо панель браузера вимкнена, її можна увімкнути в меню "Вид" - "Панелі", пункт "Браузер" (Рис.2.1).

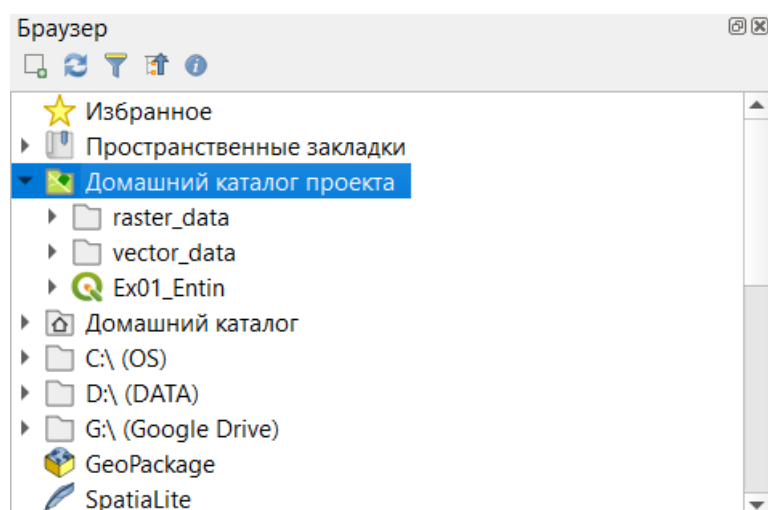
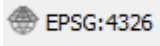


Рис.2.1 Вигляд вікна Браузер

У правому нижньому куті карти можна бачити напис  . Натиснувши цей напис, можна відкрити інтерфейс вибору системи координат проекту.

У вікні можна бачити більш докладну інформацію про систему координат. Код EPSG:4326 відповідає системі географічних координат WGS 84. Термін « географічна система координат » (geographic coordinate systems ) в ГІС означає, що координати об'єктів і лінійні параметри растрів зберігаються у вигляді широти та довготи. Альтернативний підхід - проєктовані системи координат (projected coordinate systems ), де планові координати вимірюються в метричних одиницях.

Система координат проекту була імпортована з першого (у нашому випадку — поки що єдиного) завантаженого джерела просторових даних. Система координат WGS 84 зазвичай не використовується для картографування, тому було змінено систему координат проекту.

Для вибору проєкції скористались інструментом, який дозволяє оптимізувати цей процес – Projection Wizard .

Щоб розглянути територію картографування більш детально, можна збільшити масштаб і перемістити зображення. Можна використати функціональні можливості інструментів навігації, які розташовані на панелі

інструментів Map Navigation (якщо панель відсутня, клацнувши на порожньому полі серед панелей інструментів можна активувати відповідний пункт у меню):



Рис.2.2 Інструменти навігації

Деякі інструменти навігації можуть бути задіяні незалежно. Наприклад, масштабування виконується прокручуванням колеса миші, а переміщення по карті - рухом миші із затиснутою середньою кнопкою.

Режим *панорамування* (переміщення карти) також активується шляхом пробілу. Затиснувши пропуск і просто рухаючи курсор мишкою або тачпадом. Натискати кнопку миші чи тачпад при цьому не треба.

Після того, як інструменти навігації стануть зрозумілими, встановили масштаб карти рівним 1:5 000 000. Це можна зробити в елементі *масштабу* в нижній панелі QGIS. При цьому достатньо ввести лише знаменник масштабу, виділивши його подвійним кліком та замінивши на потрібне значення без пробілу ( 5000000).

Після цього переміщуємо зображення таким чином, щоб територія досліджень займала зображення повністю за шириною.

## 2.2 Використання плагіну SRTM-Downloader для візуалізації ЦММ.

Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) використовуються для різних задач геопросторового аналізу. Один із найпопулярніших наборів даних ЦМР - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Цей легкий туторіал збереже час на завантаження растрового шару прямо в QGIS, і не потрібно робити складні маніпуляції.

Для початку необхідно встановити плагін SRTM-Downloader – плагін для завантаження шарів SRTM із сервера NASA.

У верхній частині параметрів проекту перейти до розділу "Модулі" та вибрати "Керування модулями...". Знайти плагін під назвою "SRTM-Downloader" та натиснути на кнопку "Встановити модуль".

Далі за допомогою плагіна завантажуюмо потрібні нам растрові шари:

- 1) Перед завантаженням даних краще мати базову карту, якою можна орієнтуватися. Вибрати будь-яку зручну карту (наприклад карта OpenStreetMap, додана через плагін QuickMapServices).
- 2) Після додавання базової карти необхідно змінити систему координат (СК) проекту на EPSG 4326 (WGS 1984). Це забезпечить коректну прив'язку до даних із сервера.
- 3) Збільшуємо потрібну область на карті.
- 4) Відкриваємо плагін SRTM-Downloader: у верхній панелі інструментів виберіть "Модулі" – "SRTM-Downloader".
- 5) Потрібно задати масштаб полотна – якщо натиснути кнопку "Set canvas extent" (Встановити розмір полотна), то плагін автоматично визначить межі збільшеної області. Вкажіть вручну шлях для збереження файлу в полі "Output-Path", і перевірте, чи всі назви папок вказані на латиниці. Натисніть кнопку завантаження.
- 6) Для нових користувачів буде запропоновано ввести ім'я користувача та пароль від веб-порталу даних NASA Earthdata. Якщо ви ще не зареєструвалися, можете перейти за посиланням у віконці та створити свій обліковий запис.

Після завантаження в інтерфейсі QGIS з'являться шари ЦМР із роздільною здатністю 30 м. (Рис.2.3)

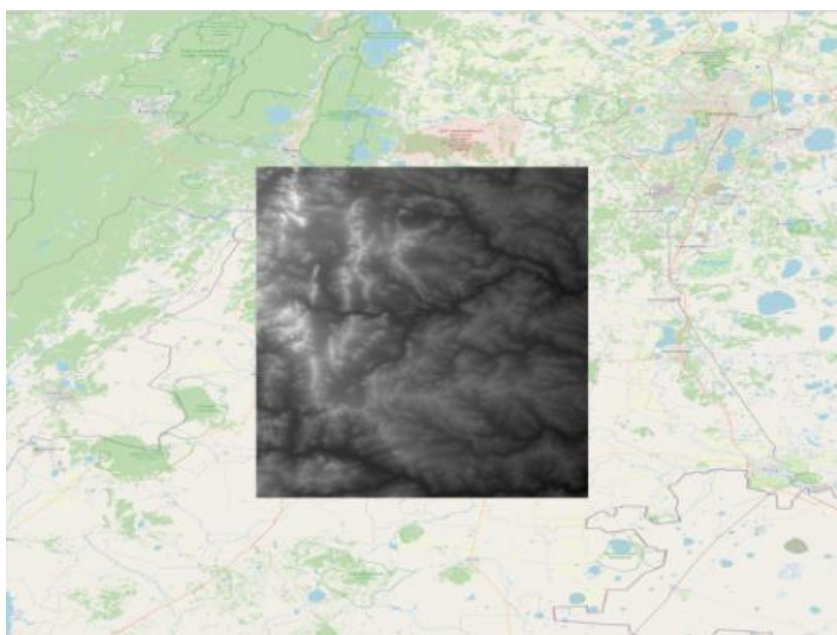


Рис. 2.3 Шар ЦММ із роздільною здатністю 30 м.

Растрові файли, були збережені у вказану папку, вони будуть збережені у форматі .vrt та .hgt:

- .hgt – формат, який використовується для зберігання даних SRTM.
- .vrt – формат файлу, який є простим XML-каталогом для посилення на існуючі набори растрових даних.

### 2.3 Оформлення зображення рельєфу

Зображення рельєфу є так званим аналітичним відмиванням за висотою. Для аналітичного відмивання використовується шкала відтінків сірого, що застосовується за замовчуванням. Ми використовували аналітичне відмивання по висоті разом зі світлотіньовим відмиванням.

Відкривши властивості шару слід перейти на вкладку **Стиль**. Змінити тип подання з *Одноканальне сіре* на *Одноканальне псевдокольорове*. Встановити мінімальне значення 0, а максимальне значення — 4000 (Рис.2.4).

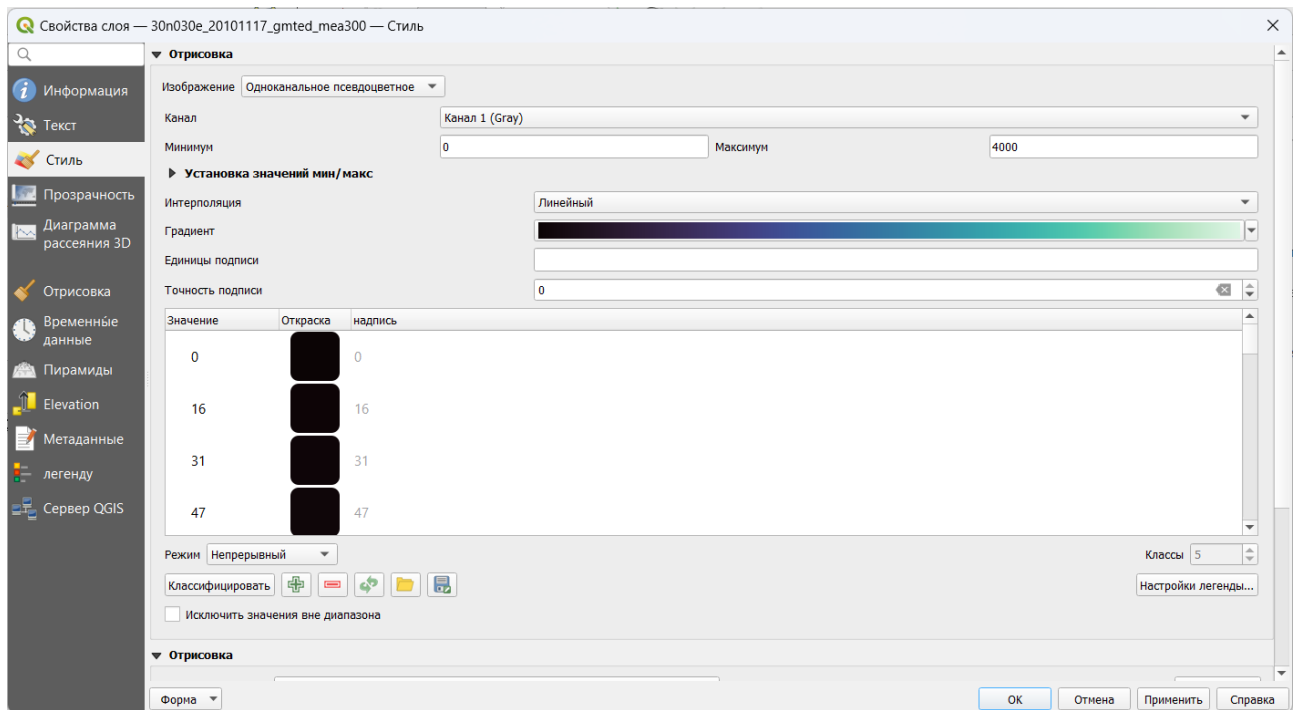


Рис.2.4 Налаштування стилю растру

У рядку вибору градієнта («Градієнт») натисніть правою кнопкою на шкалу і в контекстному меню виберіть опцію Створити новий градієнт (Рис.2.5).

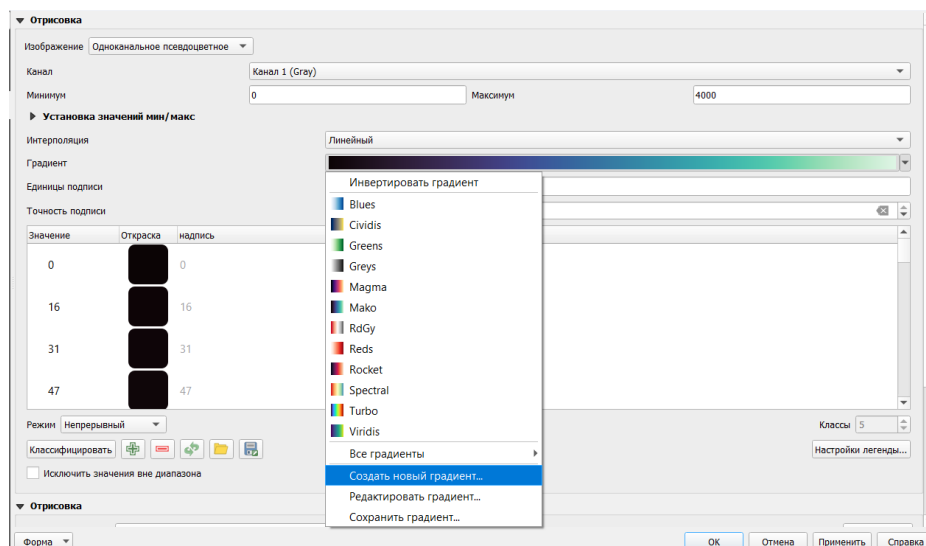


Рис.2.5 Створення нового градієнта

У спливаючому вікні, що з'явилося, в спадному списку виберіть тип градієнта Каталог. У каталозі, що відкрився, в розділі Topography виберіть градієнт і натисніть ОК (Рис.2.6).



Рис. 2.6 Вибір градієнта

Після натискання ОК було закрито всі вікна, крім вікна властивостей шару. Натисніть ОК, щоб застосувати зміни символіки та закрити вікно властивостей шару. Вікно проекту QGIS набуде вигляду, аналогічного показаному на малюнку нижче (Рис.2.7).

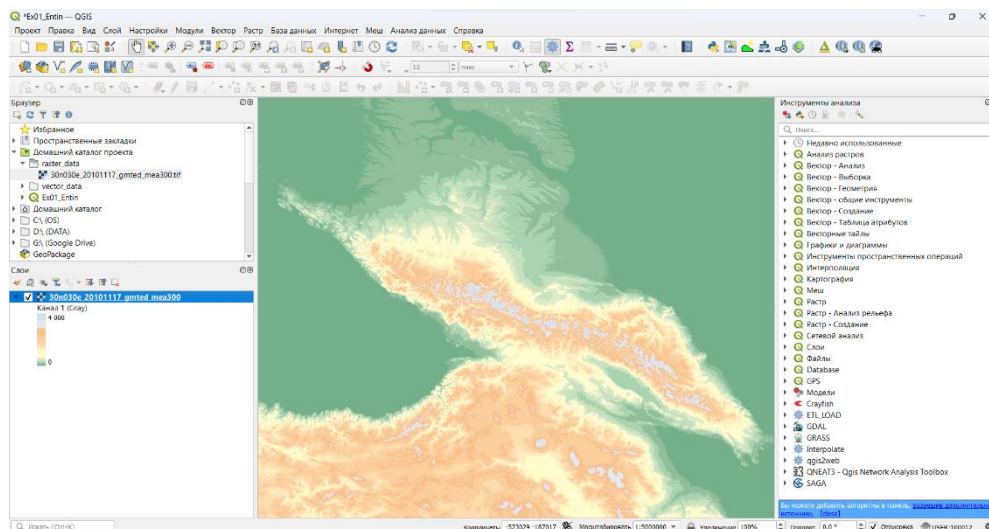


Рис. 2.7 Вікно QGIS після застосування стилю шару

Далі слід перейменувати шар на Аналітична відмивка. Для цього відкрийте контекстне меню шару (натисніть шар у таблиці шарів правою кнопкою миші) і виберіть опцію «Перейменувати шар».

Назви шарів не зачіпають джерело просторових даних. Доки вам не доведеться працювати з шарами за допомогою скриптів на мові Python, ви можете ніяк не обмежувати себе в назвах.

Відкрийте властивості шару «Світлотіньове відмивання» і перейдіть на вкладку «Стиль». Змініть спосіб візуалізації на Тіньовий рельєф та натисніть Застосувати. При цьому зміни буде застосовано, але вікно властивостей не закриється (Рис.2.8).

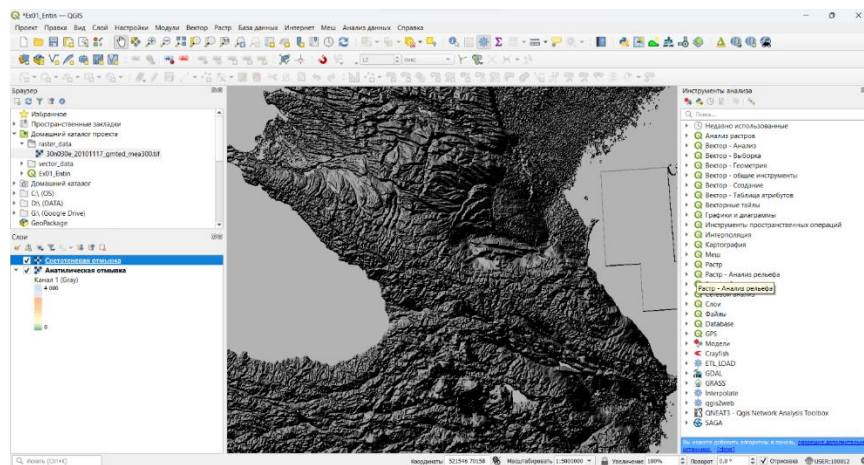


Рис.2.8 Вікно QGIS після застосування стилю шару «Світлотіньове відмивання»

Коефіцієнт масштабування є переказний коефіцієнт з «вертикальних» одиниць виміру в «горизонтальні». Для растрів на градусній сітці коефіцієнт, строго кажучи, буде різним по широті і довготі через зближення меридіанів. Тим не менш, як перший наближення можна розрахувати цей коефіцієнт, виходячи з довжини  $1^\circ$  меридіана:  $1^\circ / 111 \text{ дом} \approx 9 \cdot 10^{-6} \text{ м} / 1^\circ / 111 \text{ дом} \approx 9 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , або  $0,0000090,000009$ . Але якщо ми застосуємо саме такий коефіцієнт масштабування  $Z$ , зображення буде виглядати дуже плоским, оскільки перевищення на місцевості значно менше відстаней. Щоб зробити зображення більш рельєфним, застосовують додатковий множник у межах від 1,5 до 10. Ми скористаємось коефіцієнтом 5. Таким чином, цільове значення коефіцієнта масштабування по осі  $Z$  складе  $0,0000450,000045$ .

Необхідно повернутись у вікно властивостей шару, якщо ви закрили його, і на вкладці Стиль введіть значення коефіцієнта масштабування  $Z$ , рівне

0,000045. Перейдіть на вкладку Прозорість і встановіть коефіцієнт непрозорості шару 50 %. Застосуйте зміни та закрийте вікно властивостей шару.

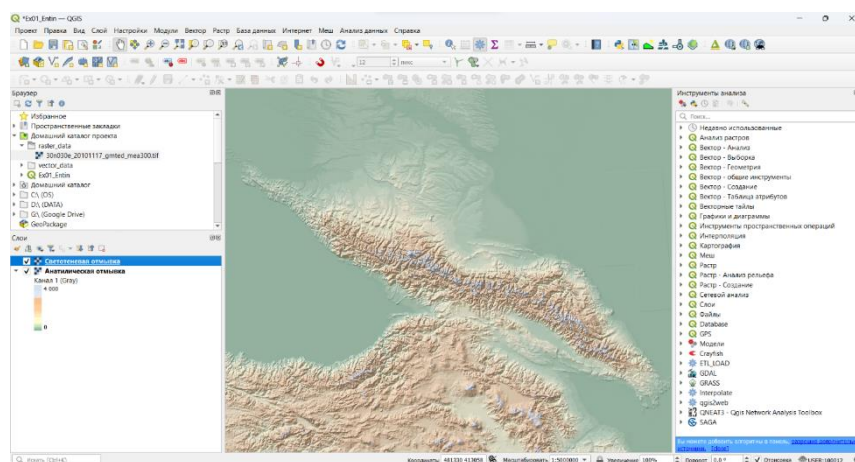


Рис. 2.9 Вікно QGIS після зміни властивостей світлотіньової відмивки

## Висновки до розділу 2.

За даними різних космічних апаратів в даний час побудовано глобальні цифрові моделі для всієї поверхні Землі, найвідоміші з них SRTM та ASTER GDEM.

На точність побудови рельєфу впливають багато чинників: просторова роздільна здатність та геометрична якість зображень, стан атмосфери, масштаб карти, точність опорних точок та ін. Крім факторів, що впливають на точність і якість моделей рельєфу, вони характеризуються рядом інших параметрів: охоплення поверхні земної кулі; формат та тип даних значень; спеціальне значення для областей, де значення висоти відсутня; система координат; розмір фрагмента, якщо цифрова модель рельєфу розбита на фрагменти; доступність та умови використання.

## РОЗДІЛ III. ВИКОРИСТАННЯ ЦММ В ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ І ГЕОДЕЗИЧНИХ ЦІЛЯХ

### 3.1 Створення векторного шару території досліджень в QGIS

Мельнице-Подільська територіальна громада Чортківського району Тернопільської області утворена в 2020 році та має площу 245,2 км<sup>2</sup> із чисельністю населення 16719 осіб. (Рис. 3.1). Згідно інформації, щодо територіальної громади, що міститься на геопорталі адміністративно-територіального устрою України та офіційного сайту реформи децентралізації кількість рад, що об'єдналися складає 22 одиниці, загальною площею 245,2 км<sup>2</sup>. Чисельність населення громади становить 17654 особи. Громада розташована на півдні Тернопільської області та межує з Хмельницькою та Чернівецькою областями.

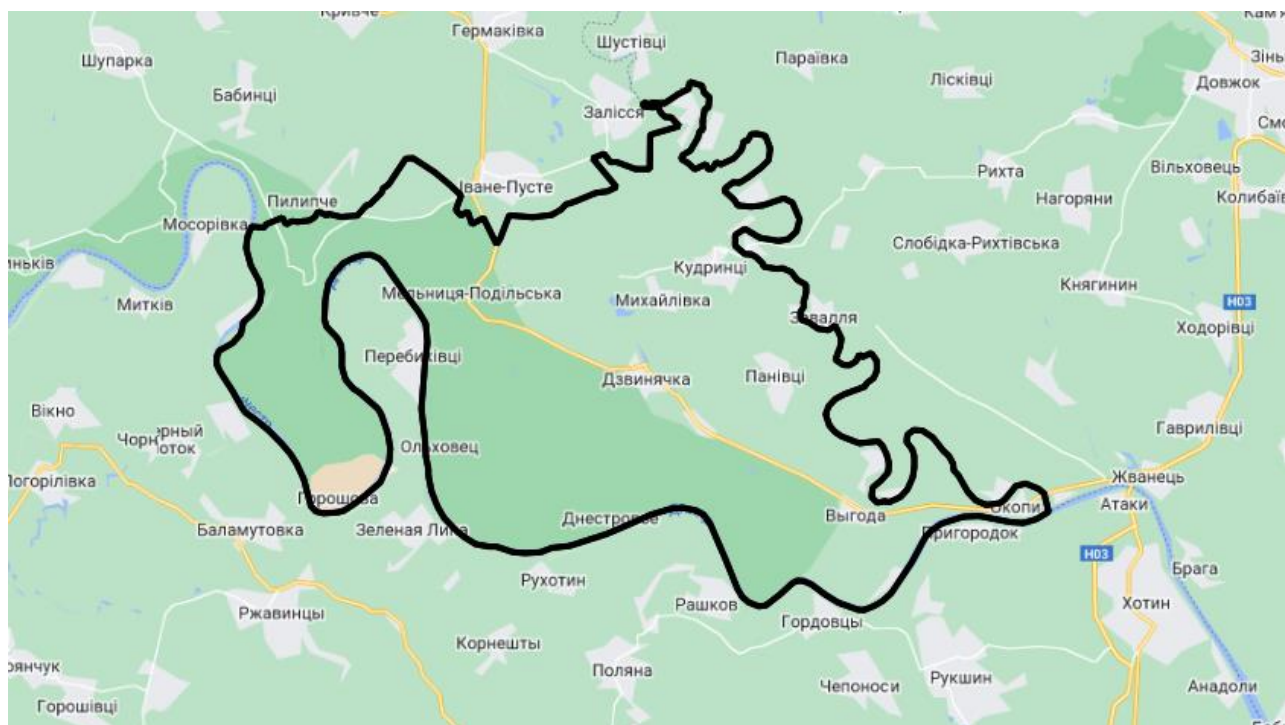


Рис. 3.1 Картосхема розміщення Мельнице-Подільської ТГ з сайту Google map

Населені пункти, що входять до складу територіальної громади представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Населені пункти Мельнице-Подільської територіальної громади

| <b>№<br/>з/п</b> | <b>Населений пункт</b> | <b>Кількість<br/>жителів</b> |
|------------------|------------------------|------------------------------|
| 1                | Мельниця-Подільська    | 4044                         |
| 2                | Зелене                 | 322                          |
| 3                | Вигода                 | 404                          |
| 4                | Білівці                | 487                          |
| 5                | Боришківці             | 569                          |
| 6                | Окопи                  | 469                          |
| 7                | Трубчин                | 404                          |
| 8                | Вільховець             | 1502                         |
| 9                | Горошова               | 1818                         |
| 10               | Дзвинячка              | 1037                         |
| 11               | Дністрове              | 645                          |
| 12               | Збручанське            | 362                          |
| 13               | Кудринці               | 1340                         |
| 14               | Михайлівка             | 514                          |
| 15               | Урожайне               | 280                          |
| 16               | Дзвенигород            | 188                          |
| 17               | Латківці               | 232                          |
| 18               | Устя                   | 1021                         |
| 19               | Михалків               | 158                          |
| 20               | Худиківці              | 633                          |
| 21               | Панівці                | 1168                         |
| 22               | Завалля                | 57                           |
| <b>Всього</b>    |                        | <b>17654</b>                 |

Обсяг доходів місцевого бюджету на 2022 рік територіальної громади – 107473100 грн. У тому числі сформованих відповідно до статті 64 Бюджетного кодексу України – 25634,2 грн., а фінансування місцевого бюджету 178247546 грн. ([https://rada.info/upload/users\\_files/04396377/20a734b6731944d57995f8e641024c0c.pdf](https://rada.info/upload/users_files/04396377/20a734b6731944d57995f8e641024c0c.pdf))

Адміністративним центром територіальної громади є смт. Мельниця-Подільська, що розташоване на лівобережжі річки Дністер.

Територія територіальної громади знаходиться в помірному кліматичному поясі. Клімат помірно континентальний, з відносно м'якою зимою і теплим літом. Максимальна глибина промерзання ґрунту 0,8 м, товщина снігового покриву 40-50 см. Період з листопада по березень

непридатний для проведення топографо-геодезичних робіт через несприятливі умови. Середня річна температура 8,6 °С, мінімальна -2,9 °С січня і максимальна 19,8 °С липня. Зимовий сезон починається в кінці листопада і закінчується в березні, тоді як літній сезон починається в середині травня і закінчується у вересні.

Середньорічна кількість опадів становить близько 621 мм, причому найменше в жовтні, січні і лютому, найбільше в червні і липні. Сніговий покрив зберігається всю зиму, хоча його глибина мінімальна. Середня швидкість вітру коливається від 3,3 м/с у липні до 4 м/с у січні. Середньорічна вологість повітря зазвичай становить 77% [10,19,21].

В дипломній роботі під час досліджень проаналізовано відкритий для доступу та безкоштовний геопортал Адміністративно-територіального устрою України.

Інформація, що міститься і представлена у вигляді атрибутивних даних є неповною і не оновленою станом на сьогоднішній день. Саме тому, було досліджено та проаналізовано офіційний сайт проведеної реформи децентралізації - <https://decentralization.gov.ua>.

Згідно цього сайту визначено остаточне проходження зазначеної межі територіальної громади.

Після відкривання інтерфейсу QGIS і завантаження стартового вікна програми, було створено New Project (Новий проект).

Далі потрібно переконатися, що в програмі відкрито панель Browser (Браузер), панель Layers (Таблиця змісту), панель Spatial Bookmarks (Панель просторових закладок). Якщо їх немає, то потрібно вибрати у верхньому меню View (Вигляд) → Panels (Панелі) і поставити відмітку біля Browser, Layers та Spatial Bookmarks (Рис.3.2).

Для того щоб знайти і візуально побачити досліджувану територію було додано в проєкт карту OpenStreetMap. Для цього на панелі Browser (Браузер) потрібно відкрити XYZ Tiles і двічі натиснути курсором миші на шар Open Street Map, щоб він відкрився в таблиці змісту та завантажився в

картографічному вікні (рис. 3.3). Використовуючи інформацію, щодо входження територій населених пунктів до Мельнице-Подільської територіальної громади можна по підложці (Open Street Map) здійснити векторизацію меж громади. Тим більше, більша частина межі території досліджень проходить по руслу річок Дністер та Збруч. Решта адміністративної межі добре проглядається на підложці у вигляді існуючих в минулому адміністративних границь.

Наступним кроком було створення окремого векторизованого шару об'єкта, на який ми дивилися. Ми використали два методи в програмному продукті QGIS для перетворення растрової графіки у векторну. Перший спосіб полягав у розшифровці об'єкта вручну, а другий — в імпорті геопросторових даних з офіційного веб-сайту децентралізації.

Розглянемо перший спосіб оцифрування об'єкта спільноти. Для цього вам просто потрібно вибрати новий шар шейп-файлу на панелі інструментів. У вікні, що відкриється, ви побачите поле для імені файлу. Клацніть на інструменті, щоб знайти папку, де ви хочете зберегти новий векторний шар з атрибутами. Назвіть його та натисніть «Зберегти». Назва тематичного шару повинна бути написана латинськими літерами і без зайвих символів. Далі у вікні створення шейп-файлу ви побачите багатокутник у розкритому списку для типу геометрії. У нашому випадку найкращим був полігональний тип. У розділі «Геометрія» є ще один розкритий список із картографічними проекціями. Відкрийте його та виберіть потрібну проекцію, потім натисніть ОК.

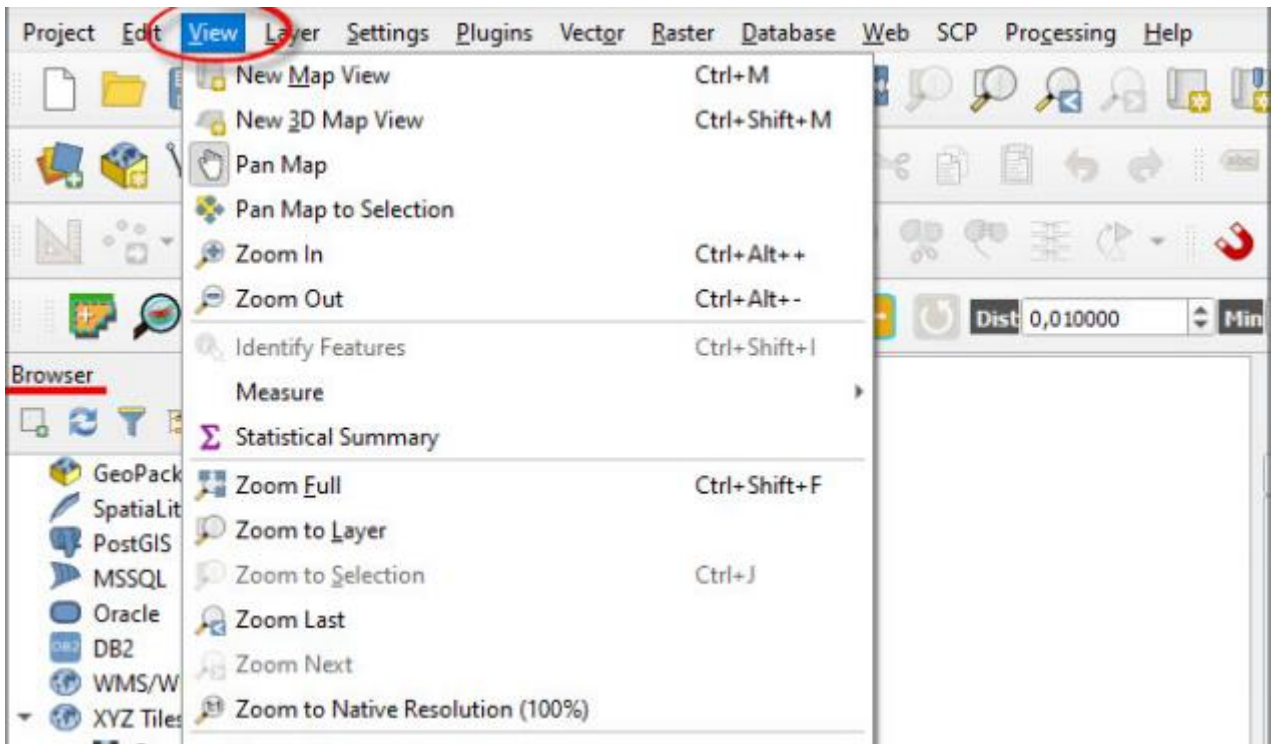


Рис.3.2 Включення панелі Browser (Браузер), панелі Layers (Таблиця змісту) і панелі Spatial Bookmarks (Панель просторових закладок)

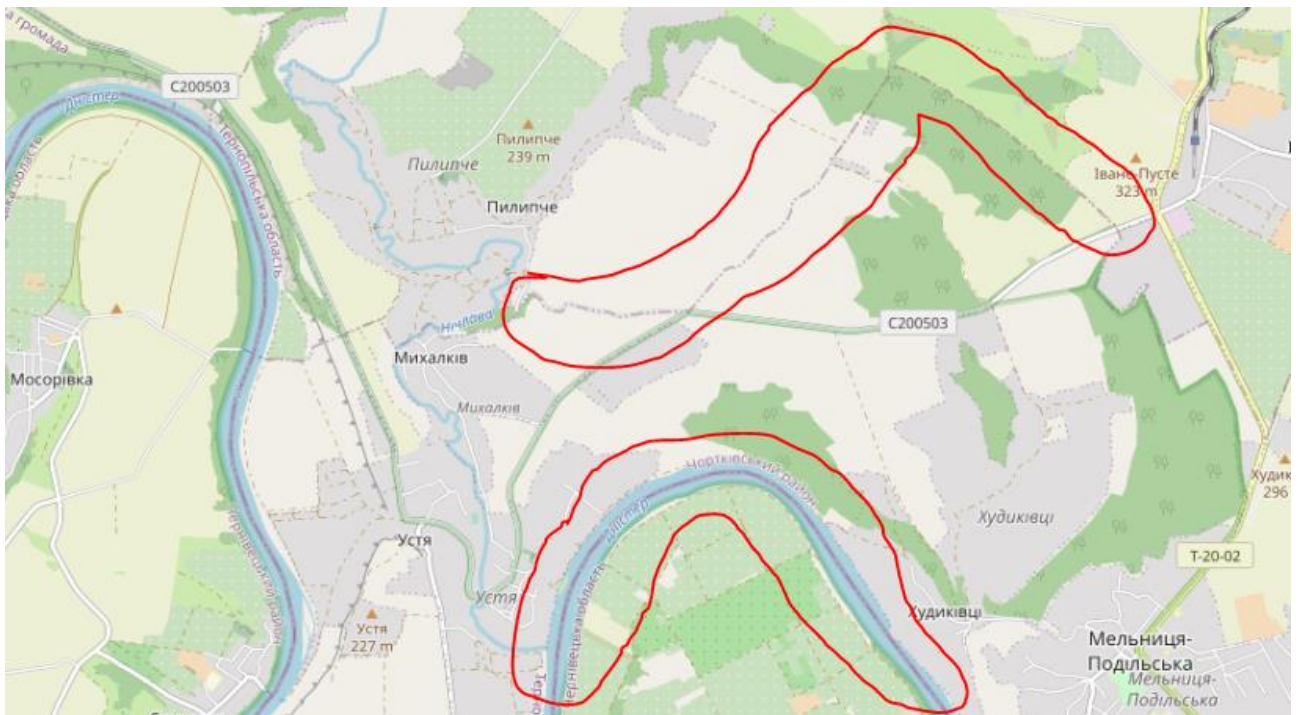


Рис.3.3 Вигляд вікна OpenStreetMap в ГІС продукті QGIS з видимими адміністративними межами території громади.

На цьому етапі нам потрібно було визначитися зі стилем відображення, який був би зручний для нас.

Якщо потрібно запропонувати, щоб отримати доступ до інструментів для налаштування відображення шейп-файлів, було б доцільно клацнути правою кнопкою миші на новому шарі та вибрати пункт «Властивості» зі спадного меню. Потім ви можете перейти на вкладку Символіка у вікні Властивості шару.

У верхній частині цього вікна ви можете вибрати спосіб відображення об'єктів шейп-файлу. Параметр відображення з одним символом відображає всі об'єкти у вибраному шарі однаково. Цей метод може бути придатним для використання у випадках, коли об'єкти в даному шарі не мають ознаки класифікації. Я вважаю, що це відповідний момент для початку роботи, враховуючи, що ми ще не намалювали жодного багатокутника.

Іншим варіантом відображення шарів є Категоризований, який дозволяє відображати об'єкти шару на основі їхніх властивостей. У цьому випадку об'єкти будуть відображатися на основі різних значень певного атрибута, наприклад поля «область».

На даний момент ми вирішили зберегти тип відображення як один символ (один символ). Ви можете вибрати стиль заливки для багатокутника в полі нижче. Для цілей оцифрування може бути зручніше працювати з полігонами, які відображаються лише як контур, без заливки. У цьому випадку було б доцільно вибрати «Без пензля» в полі «Стиль заливки» та червоний колір у спадному меню в полі «Колір обведення». Подібним чином можна ввести 1 у поле Ширина штриха, що призведе до ширини контуру 1 мм. Якщо можна запропонувати, наступним кроком буде натиснути кнопку ОК.

Можна виявити, що редагування векторних шарів у QGIS найкраще виконувати за допомогою стандартних інструментів, а також за допомогою панелі додаткових інструментів. За замовчуванням ця панель не відображається у верхньому меню інструментів, тому ми просимо вас спочатку відкрити її. Для цього, будь ласка, клацніть меню Вигляд (Вид) → Панелі інструментів (Інструменти) і поставте позначку біля пункту Розширена панель інструментів

оцифрування. У результаті на верхній панелі інструментів відобразяться інструменти для оцифрування (рис. 3.4).

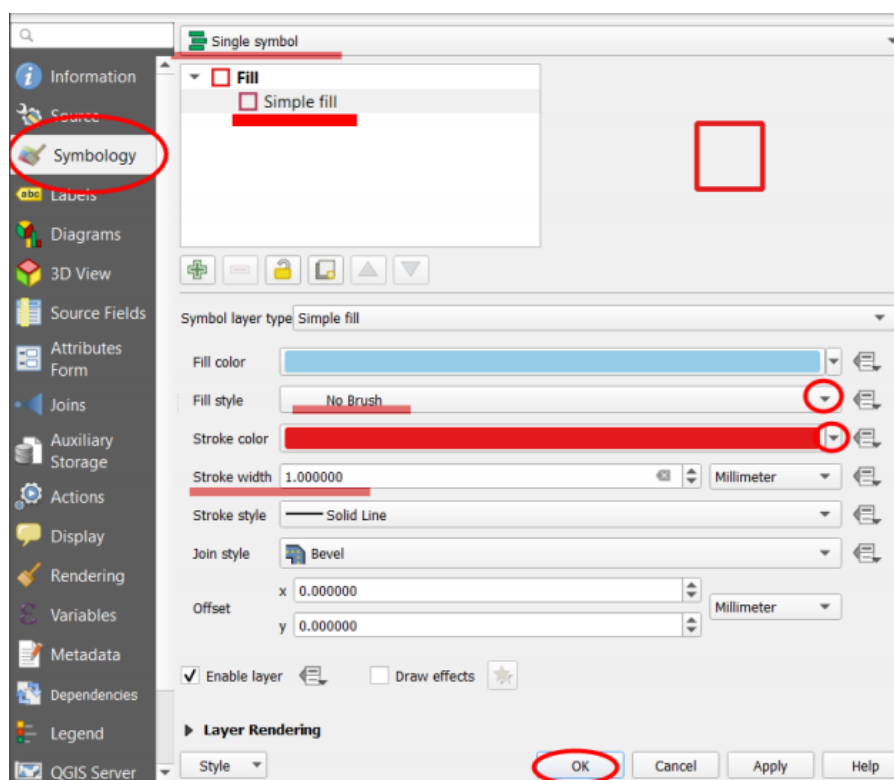


Рис.3.4 Вигляд вкладки Symbology (Символіка) у вікні Layer properties (Властивості шару)

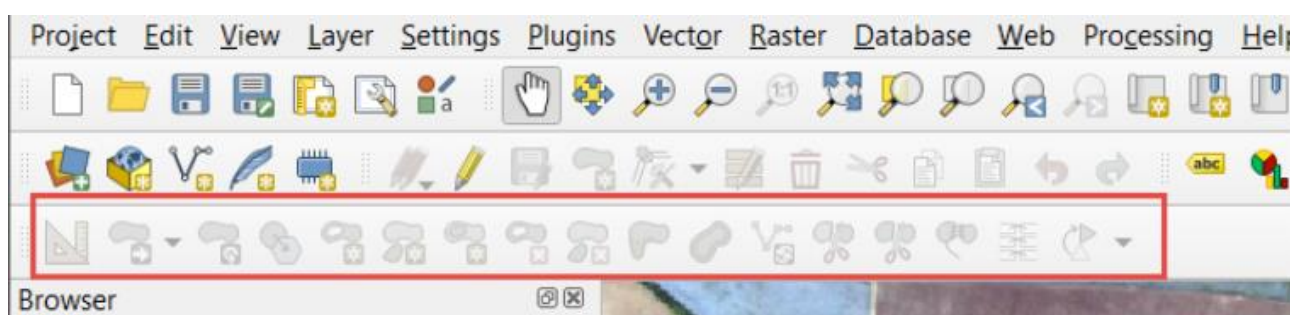


Рис. 3.5 Панель додаткових інструментів

Зверніть увагу, що піктограми інструментів спочатку неактивні, оскільки вони ще неактивні. Ця панель містить різноманітні корисні інструменти, але для початку було б корисно зрозуміти основи, наприклад, як почати та завершити контур багатокутника. Якщо я можу запропонувати, першим кроком є активація режиму редагування векторних шарів. Далі, для цього необхідно вибрати шар, який потрібно редагувати, у змісті, клацнувши на ньому лівою

кнопкою миші, а потім кладніть на інструменті Перемкнути редагування. Ви можете помітити, що після включення режиму редагування ряд інструментів стали відображатися кольоровими значками, тобто стали активними. Один із них — інструмент для оцифрування полігонів. Було обрано і розпочато окреслення об'єкта дослідження (рис. 3.6).

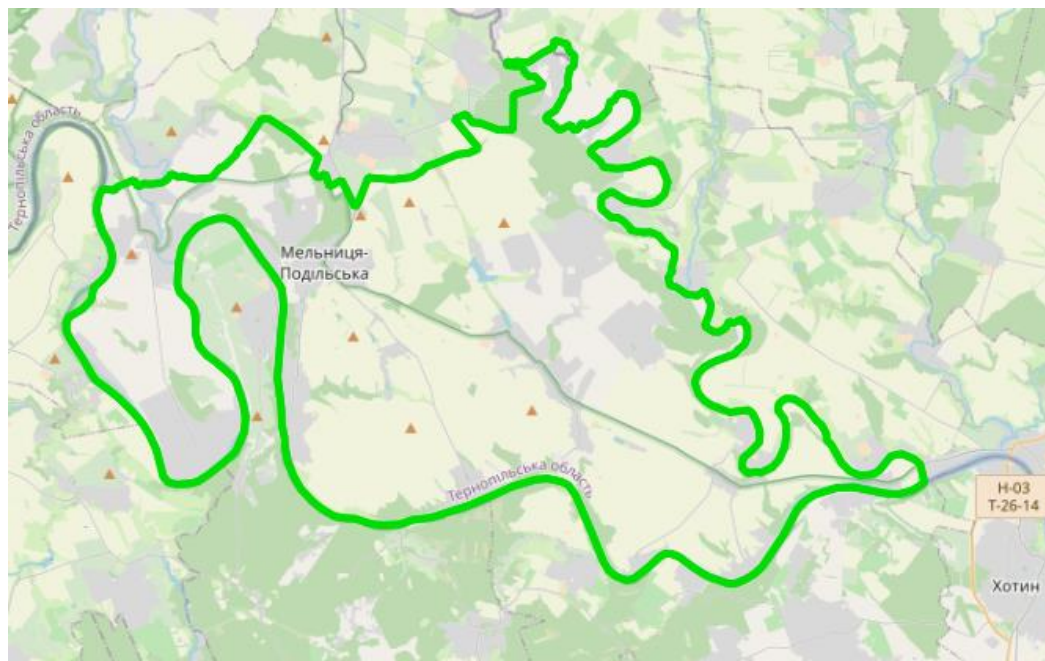


Рис.3.6 Вигляд оцифрованої Мельнице-Подільської територіальної громади ручним методом по зображенню OpenStreetMap

Щоб оцифрувати вручну, поставте точку (вершину) і натисніть ліву кнопку миші. Повторіть цей процес для кожної точки. Завершіть окреслення багатокутника клацанням правої кнопки миші. Далі з'явиться вікно для введення атрибутивних даних. Залиште поле «id» (ідентифікатор об'єкта) без змін; воно буде заповнено програмою автоматично. Введіть відповідну інформацію в поле «область» та будь-які інші відповідні поля, потім натисніть ОК або кнопку Enter на клавіатурі.

Запропонований спосіб має як позитивні, так і негативні сторони. Важко об'єктивно говорити про точність векторизації через домінування цих факторів. Оцифрування було здійснено на зображенні невідомої якості та з невідомого періоду джерела OpenStreetMap.

Крім того, на неточність векторизованого геооб'єкта може вплинути неточність оцифрування полігонального об'єкта через неправильне розміщення дослідником поворотних точок такого полігону.

Саме тому, для подальших досліджень та створення цифрової моделі місцевості для території Мельнице-Подільської територіальної громади було здійснено імпортування векторизованого шару з офіційного сайту реформи децентралізації - <https://decentralization.gov.ua/>.

### 3.2 Порівняння ЦММ отриманих з Copernicus та SRTM

За допомогою архіву Геологічної служби (ГС) США (USGS) отримано та данні SRTM для території досліджень.

На геопорталі вдалось виділити територію досліджень після чого на вкладці Data Sets розгорнуто групу Digital Elevation та обрано GMTED2010. Вкладка “Результати” дозволила візуально відобразити дані SRTM на територію досліджень (Рис.3.7).

З геопорталу скачано зазначену растрову інформацію з відповідною роздільною здатністю.

Відбулось відкриття шару та додано його як растровий шар в програмний продукт. Можна побачити дані про місцевість, що відображаються на полотні QGIS. Кожен піксель у растрі місцевості відображає середню висоту в метрах у цьому місці.

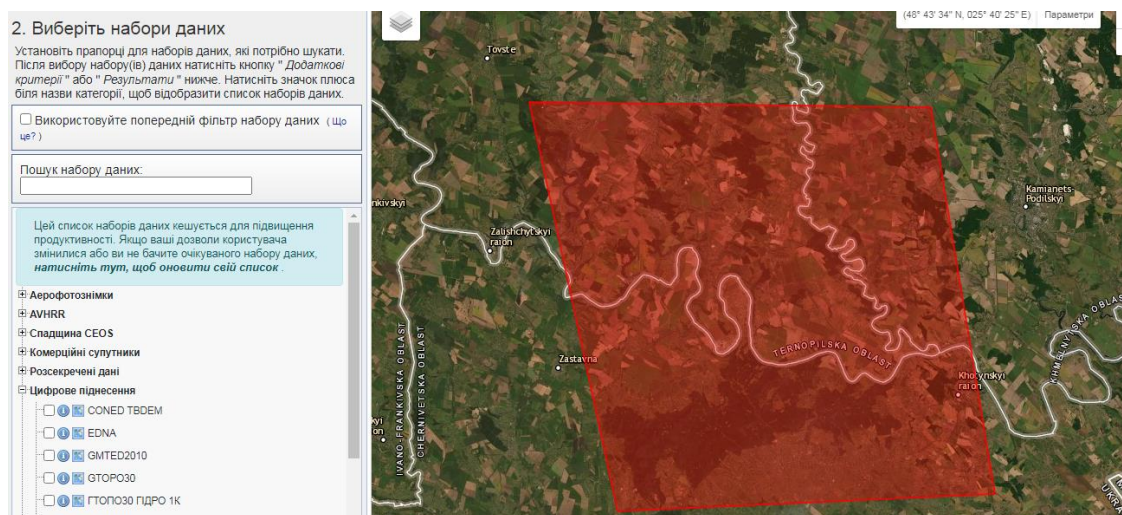


Рис.3.7 Вигляд вікна відображення пошуку даних SRTM

Для опису геометрії растрового набору даних обов'язково задаються такі характеристики: число рядків, число стовпців, крок сітки (розмір комірки), початкові координати. Деякі формати зберігання растрових даних (зокрема GeoTIFF) підтримують багатоканальність; у цьому випадку вказується також кількість каналів. У різному програмному забезпеченні ці параметри можуть бути трохи по-різному візуалізовані.

Проведено вирізання з існуючого растру зменшеної за площею території (Растр-Вилучення-Вирізати область з растру) (Рис. 3.8-3.11).

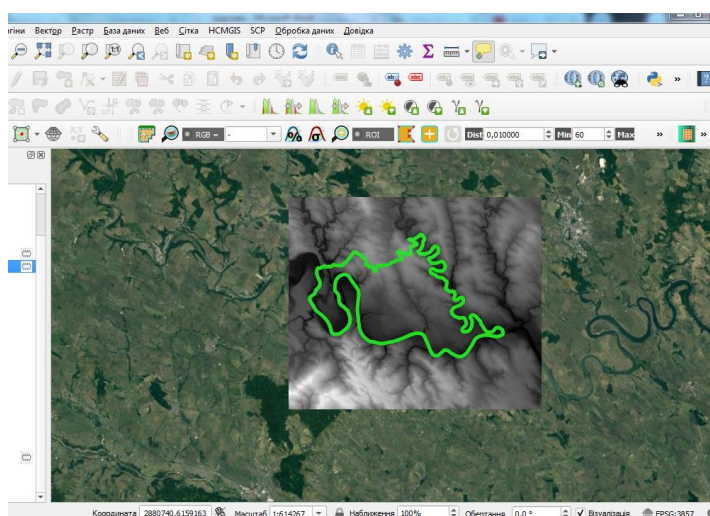


Рис.3.8 Використання плагіну SRTM Downloader для отримання SRTM зображення

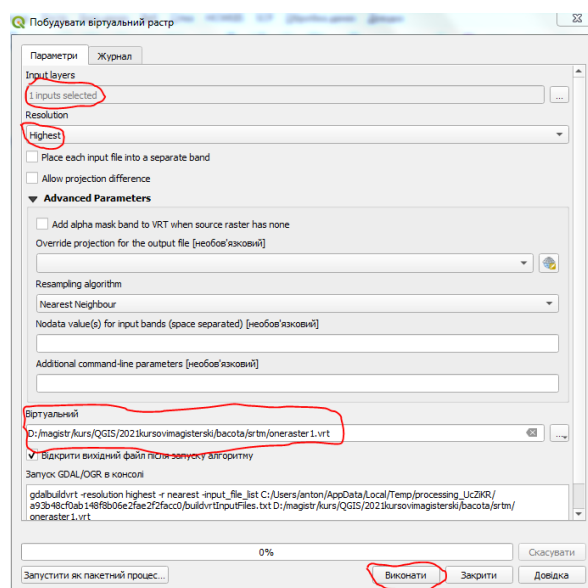


Рис. 3.9 Вікно налаштувань побудови віртуального растру необхідних SRTM зображень

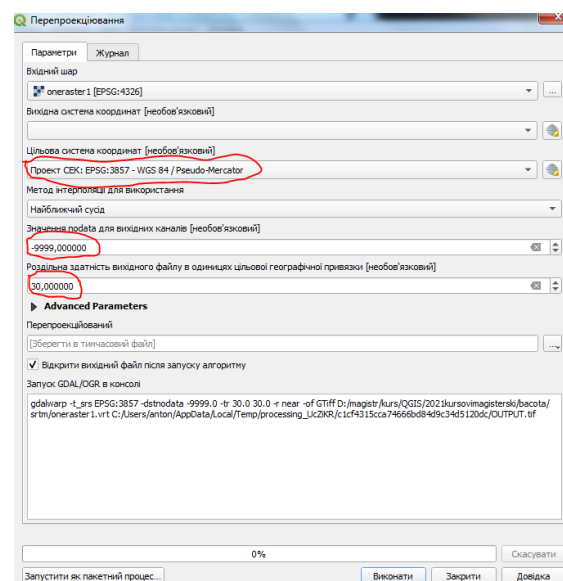


Рис. 3.10 Вікно налаштувань перепроекціювання SRTM зображень

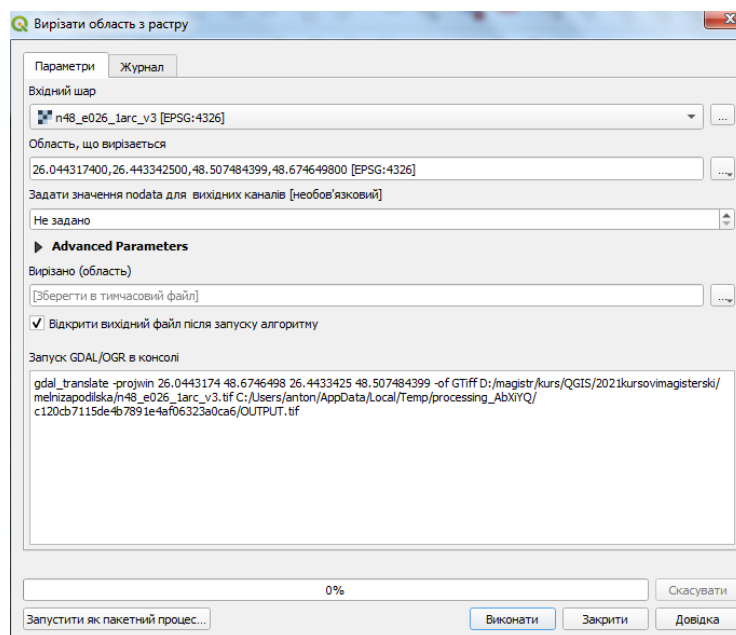


Рис. 3.11 Налаштування вирізання області з растру

Попередній плагін SRTM-Downloader дозволяє досить легко налаштувати та проаналізувати ЦММ. У QGIS існують і інші плагіни, що візуалізують рельєф території, зокрема OpenTopography DEM Downloader. Цей плагін дозволяє завантажувати DEM з OpenTopography.org, вказуючи протяжність області в QGIS. Завантажена ЦМР охоплюватиме лише визначений обсяг - Рівень у вмісті, - поточний розмір полотна, - заданий користувачем розмір, намальований на полотні.

Пропонуються такі DEM, що доступні для завантаження через даний додаток:

1. SRTM 90m
2. SRTM 30m
3. ALOS World 3D 30m
4. SRTM GL1 Ellipsoidal 30m
5. Global Bathymetry SRTM15+ V2.1
6. Copernicus Global DSM 30m
7. Copernicus Global DSM 90m
8. NASADEM Global DEM
9. DTM ЄС
10. GEDI L3 1km

Щоб завантажити ці DEM відповідно до вимог OpenTopography.org, вам знадобиться ключ API. Прочитайте детальну інструкцію, щоб отримати ключ API тут: <https://opentopography.org/blog/introducing-api-keys-access-opentopography-global-datasets>

Таким чином, з відповідного додатку було імпортовано ЦММ - Цифрова модель рельєфу Copernicus GLO-30. DEM Copernicus — це цифрова модель поверхні (DSM), яка представляє поверхню Землі, включаючи будівлі, інфраструктуру та рослинність. Цей DSM є похідним від відредагованого DSM під назвою WorldDEM, де включено вирівнювання водних об'єктів і постійний стік річок. Крім того, також було застосовано редагування берегової та берегової ліній, особливих об'єктів, таких як аеропорти та неправдоподібні структури рельєфу.

Продукт WorldDEM базується на супутникових радіолокаційних даних, отриманих під час місії TanDEM-X, яка фінансується державно-приватним партнерством між державою Німеччини в особі Німецького аерокосмічного центру (DLR) і Airbus Defence and Space. OpenTopography надає доступ до глобальної версії GLO-30 Defense Gridded Elevation Data (DGED) 2023 1 даних, розміщених ESA, через службу https PRISM.

Згідно метаданих: площа дослідження : 184 190 610 км<sup>2</sup>, растрова роздільна здатність : 30 метрів, дата дослідження : 01.01.2011 - 01.07.2015.

Для порівняння попередня ЦММ, що використана в роботі - Шаттл Радар Топографічна місія (SRTM GL1) Global 30m. Згідно метаданих: площа дослідження : 119 560 000 км<sup>2</sup>, растрова роздільна здатність : 30 метрів, дата опитування : 11.02.2000 - 22.02.2000.

Тобто різниця у отриманні супутникових даних для території 11-15 років.

Якщо аналізувати через властивості обидві ЦММ в ГІС то програмний продукт показує відмінності у мінімальній і максимальній абсолютній висоті для території досліджень. А саме: для ЦММ SRTM мінімальні значення становлять 113 метрів , а максимальні 425 метрів. Для DEM Copernicus 117,8 та 435 метрів відповідно (Рис.3.12).

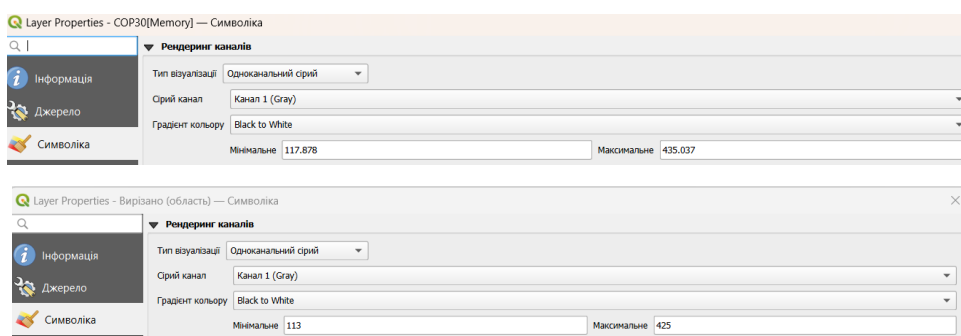


Рис.3.12 Порівняння абсолютних висот по двох ЦММ

Якщо порівняти візуальне представлення ЦММ у вигляді проведених горизонталей через 10 метрів то стає очевидним наступне (Рис.3.13). Горизонталі, що отримані завдяки ЦММ DEM Copernicus є більш плавними та паралельними, для ділянок водних об'єктів (водного дзеркала) зазначені ізолінії не відображаються, на відміну від тих, що отримані з ЦММ SRTM. Таким чином, на нашу думку дані ЦММ DEM Copernicus дають кращий в порівнянні результат.

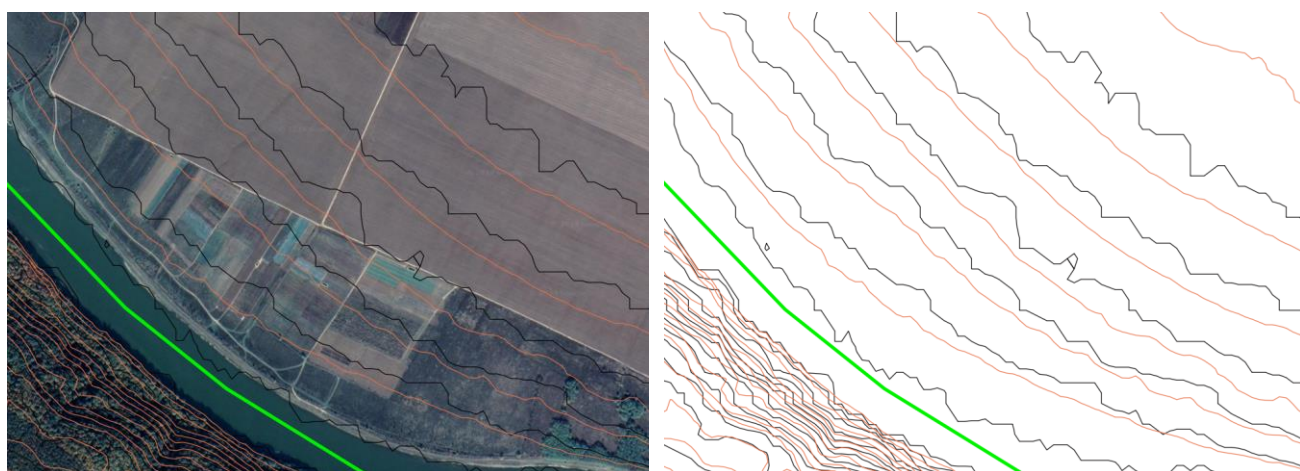


Рис.3.13 Вигляд горизонталей двох ЦММ (коричневі - DEM Copernicus, чорні - ЦММ SRTM)

Далі необхідно налаштувати ЦММ через відмивку (Рис3.14).

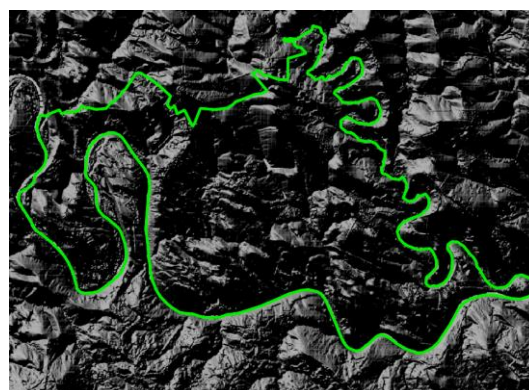
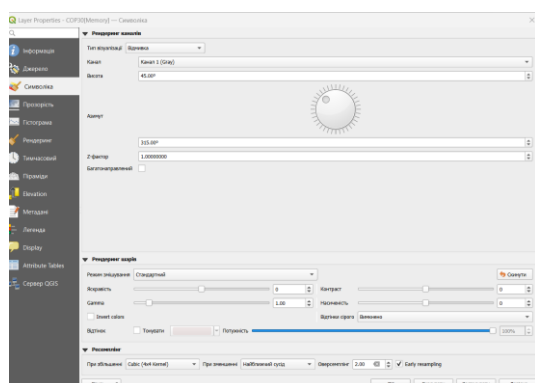


Рис. 3.14 Налаштування ЦММ методом відмивки.

Проблемою візуалізованих обох ЦММ є те, що вони є цифровою моделлю рельєфу лише на відкритих ділянках, а на тих де є лісова рослинність, будинки і т.п. це цифрова модель місцевості. Завдяки функціональній можливості QGIS можна частково перейти від ЦММ до ЦМР. Використавши DTM filter (slope-based) можна визначити і вибрати ділянки з найбільш різким переходом по висоті (Рис.3.15). Далі варто вибрати інструмент через меню Обробка даних – панель інструментів - Multilevel B-Spline From Points

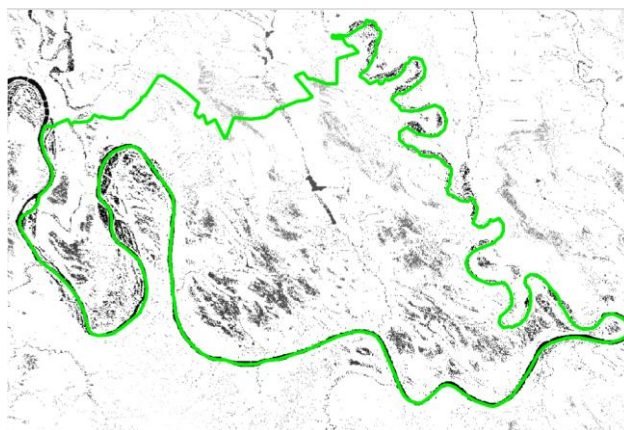


Рис.3.15 Визначення ділянок з найбільш різким переходом по висоті

Для підтвердження використання DEM Copernicus як моделі місцевості з більш об'єктивним візуальним представленням і більш точнішим ніж ЦММ SRTM можна використати атрибутивну інформацію по пунктах ДГМ території досліджень, а саме їх абсолютну висоту. Співпадіння або ж не співпадіння положення горизонталей по даним точковим об'єктам - ДГМ, за різними ЦММ, може говорити про точність створення таких моделей.

Проаналізувавши растрові картографічні дані було віднайдено та оцифровано окремі пункти ДГМ на території Мельнице-Подільської територіальної громади (Рис.3.16). Для проведеного дослідження не було важливим показати усі наявні пункти та визначити до якого класу вони належать, в пріоритеті було просторові характеристики та абсолютні їх висоти.



Рис.3.16 Розміщення пунктів ДГМ на території Мельнице-Подільської територіальної громади

Таким чином, вдалось отримати з двох різних ЦММ горизонталі. Налаштування дозволили провести горизонталі через 1 метр. Оверлейний аналіз дозволив одночасно спостерігати розміщення лінійних об'єктів з підписами абсолютних висот та точкові об'єкти з їх висотами (Рис.3.17).

Отже, проаналізувавши оверлейний аналіз встановлено, що горизонталі отримані з DEM Copernicus точніше (краще співпадіння з пунктами ДГМ) відображають цифрову модель місцевості. Подекуди спостерігається точне співпадіння абсолютних висот двох різних геометричних об'єктів. Через це у наступних дослідженнях використано ЦММ отриману з DEM Copernicus.

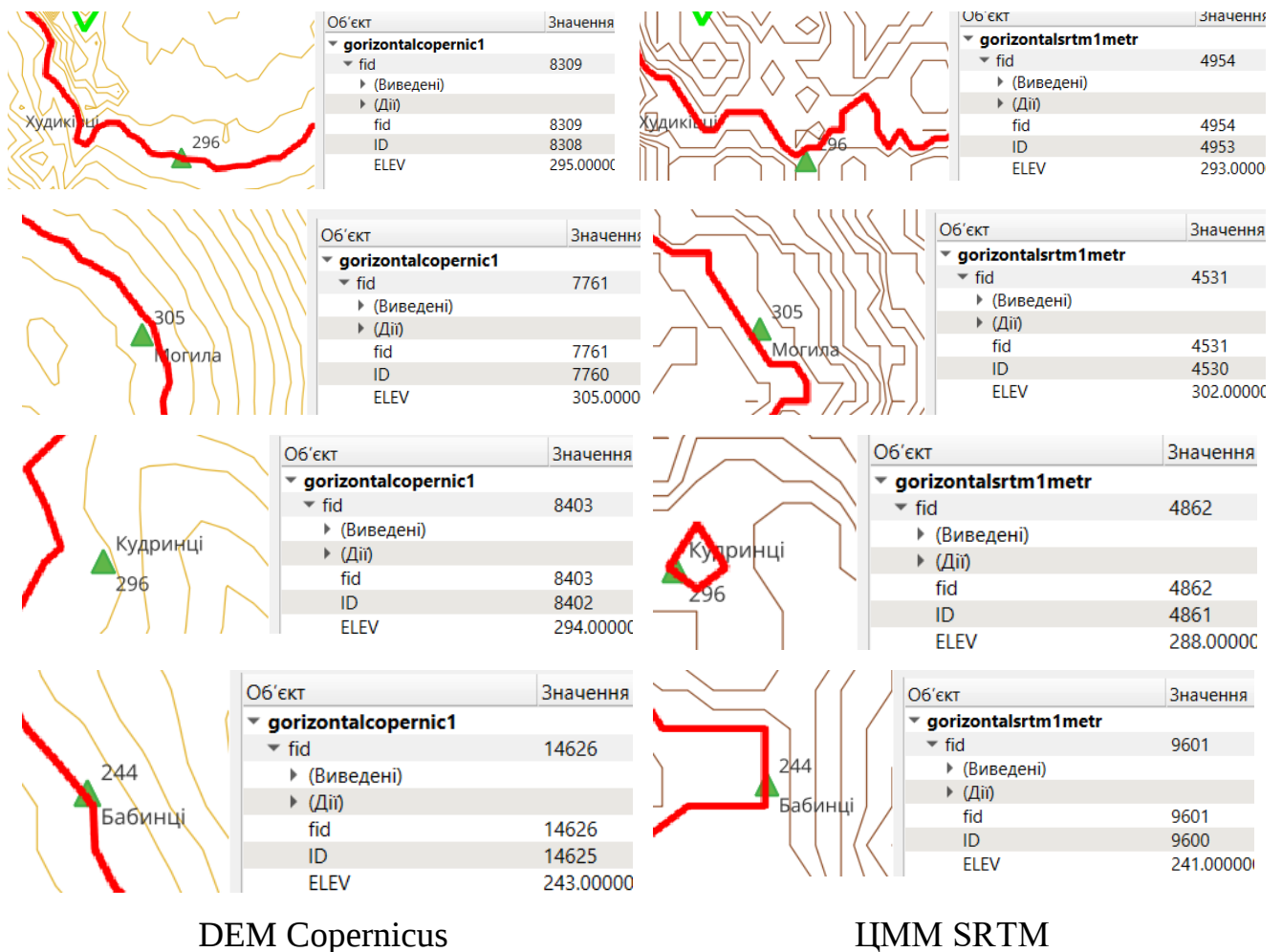


Рис. 3.17 Порівняння оверлейного аналізу горизонталей і пунктів ДГМ ЦММ

### 3.3 Визначення оптимального використання угідь в залежності від крутизни схилу ЦММ

Завдяки увімкненню Обробка даних-Панель інструментів можна у пошуку ввести Fill sinks (wang and liu). У вікні, (Рис.3.18) слід провести налаштування: зокрема слід вибрати для якого файлу варто здійснювати побудову ЦММ та шлях збереження.

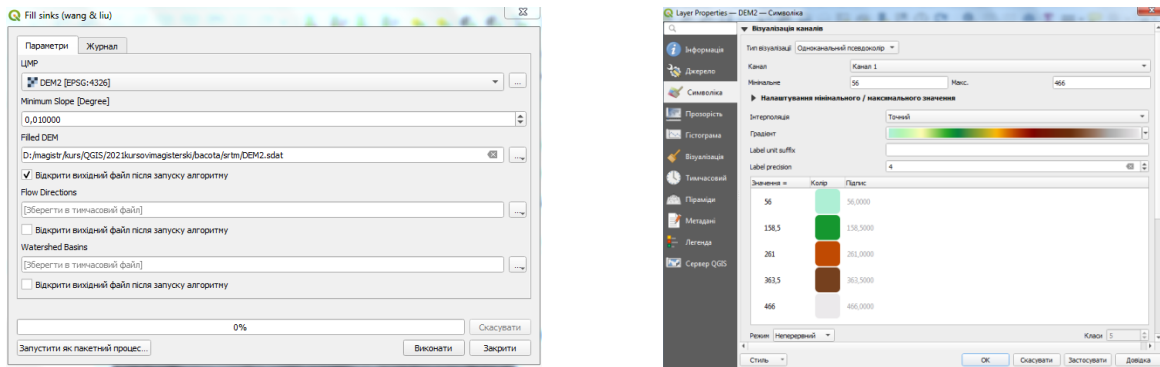


Рис. 3.18 Налаштування створення ЦМР у вікні інструменту Fill sinks (wang and liu) та символіки і типу візуалізації готової ЦМР.

Ми отримаємо чорно-біле зображення після створення і візуалізації ЦММ яке варто для кращого сприйняття через контекстне меню у наявних розділах змінити на кольорове, з налаштуванням типу візуалізації – Одноканальний псевдоколір, інтерполяція – лінійна, точність – фактичні (повільніше), градієнт – топографічний, також вказати кількість класів кольорової гами (Рис.3.19).

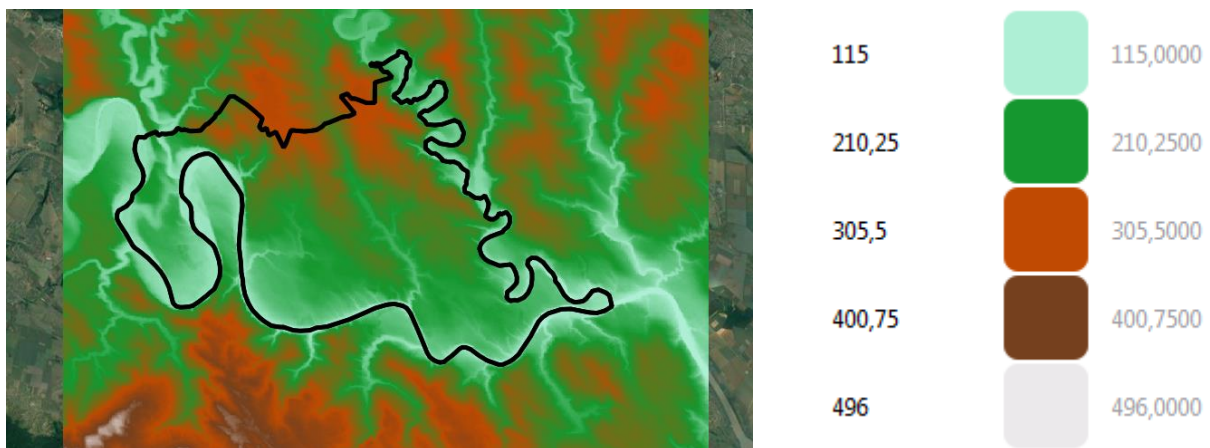


Рис. 3.19 Побудована цифрова модель території досліджень

Через контекстне меню нового продубльованого шару обрано властивості та у полі "Render type" вказано тип – "Відмивання", це дасть можливість візуалізувати зображення як тіньова відмивка (Рис.3.20).

Крім того було побудовано цифрову модель рельєфу методом гіпсометричним, що дозволяє отримати геометрично точне зображення за допомогою забарвлення горизонталей та ступенів висоти за запропонованою шкалою кольорів.

Є можливість в даному програмному продукті самостійно визначити через який інтервал будуть проходити горизонталі.



Рис. 3.20 Побудована цифрова модель території досліджень методом відмивки та ізоліній

В роботі, при побудові цифрової моделі рельєфу є функціональна можливість дослідити експозицію схилів території громади в програмному ГІС-середовищі через відповідний плагін (Рис. 3.21).

Разом з тим, використавши вказаний інструмент складено картосхему крутизни схилів території (Рис. 3.22). Під час створення картосхем експозиції та крутизни схилів існує можливість за допомогою параметрів налаштування змінювати самі величини градації необхідного показника.

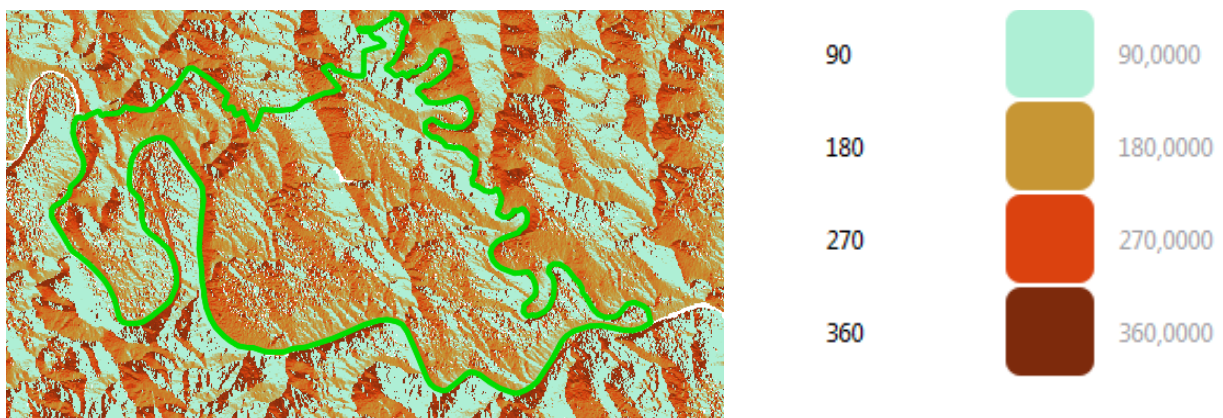


Рис.3.21 Експозиція схилів Мельнице-Подільської територіальної громади

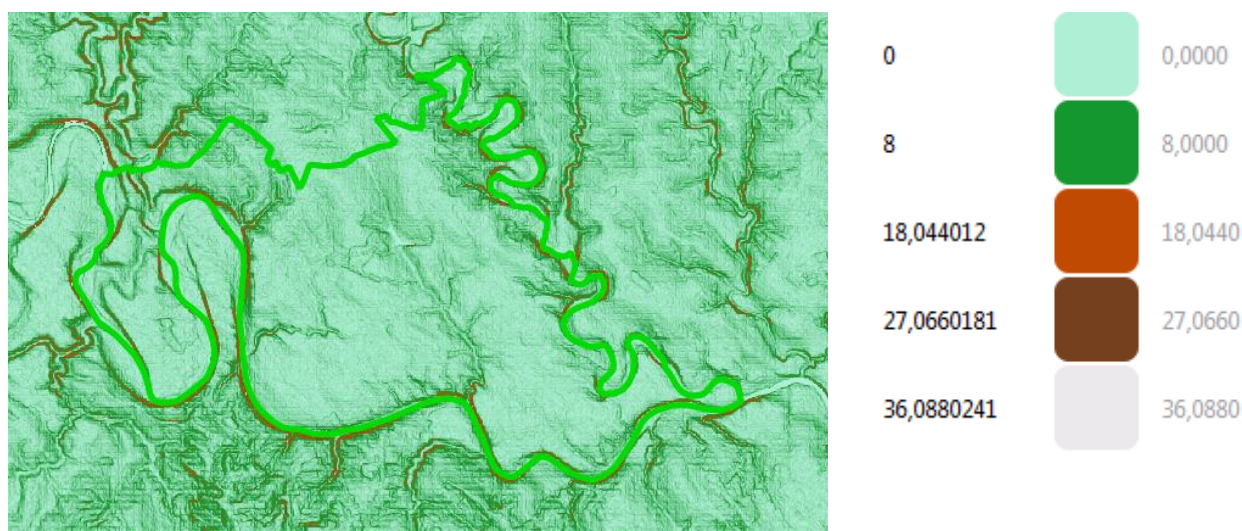


Рис.3.22 Крутизна схилів Мельнице-Подільської територіальної громади

Отримана ЦММ є суцільним растровим зображенням території, що досліджується. Це дозволяє проводити всі аналітичні операції, наприклад - визначення висоти точки, перевищення між висотами, визначення похилу, створення профілю та багато інших.

Щоб визначити висоту точки на ЦММ потрібно на панелі інструментів обрати Кнопку інформація , навести курсор на потрібну точку та натиснути ліву клавішу. Відобразиться вікно з інформацією про висоту точки з її координатами.

Для створення профілю по ЦММ для будь-якої ділянки території, що досліджується потрібно встановити плагін (модуль) Profile Tool через меню Модулі – Управління модулями – закладка Всі. В пошуку пишемо Profile Tool, обираємо його та інсталуємо. На панелі інструментів з'явиться значок . Якщо його активувати (натиснути), то внизу основного вікна з'явиться вікно створення профілю (рис. 3.23). Далі, щоб створити профіль необхідно виділити шар рельєфу у вікні Шари, і за допомогою курсору провести лінію (використовуються праву клавішу миші клацнути на початку та в кінці лінії) і натиснути кнопку Add Layer. В центральному вікні з'явиться профіль за

заданою лінією. Також можна зберегти його у форматі .jpeg за допомогою кнопки Save as.

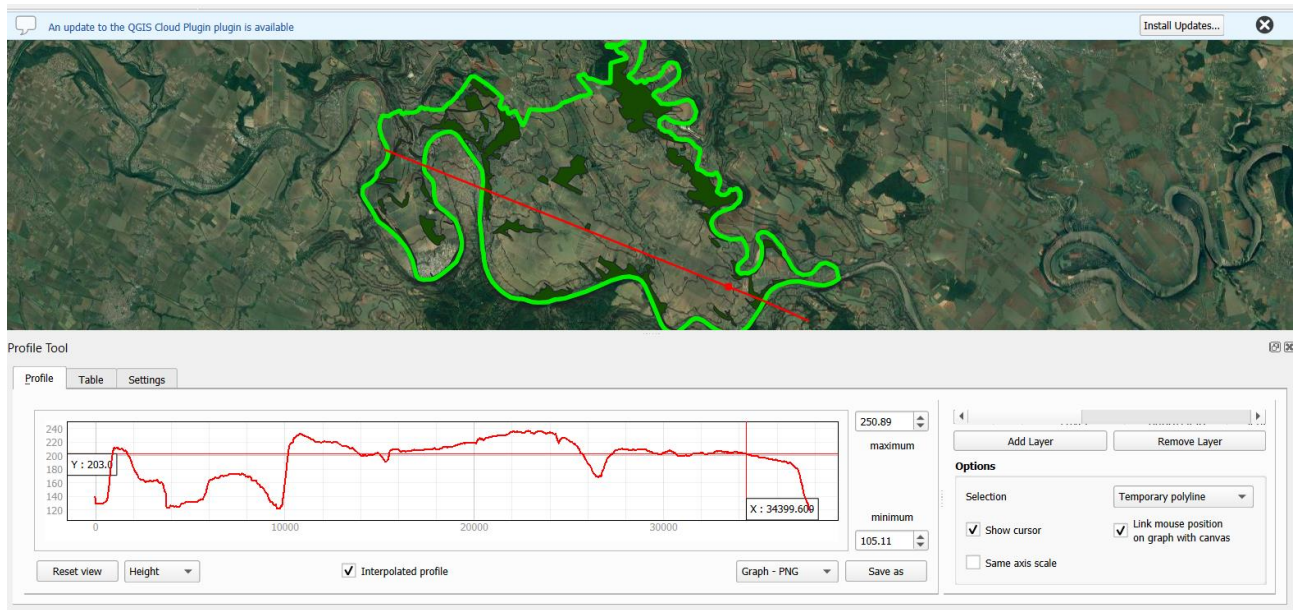


Рис.3.23 Створення профілю ділянки за допомогою плагіну (модуля) Profile Tool

За допомогою профілю можна розв'язати різні інженерні задачі. Так, наприклад, можна визначити, чи існує пряма видимість між вибраними точками, розміщеними на лінії профілю. Такі завдання є актуальними при визначенні видимості між геодезичними пунктами державної геодезичної мережі. В роботі не вдалось продемонструвати створення профілів між пунктами ДГМ через обмеження доступу до геоportалу ДГМ внаслідок війни в Україні.

Як альтернатива, для оцінки геодезичного забезпечення території можна використати растрову інформацію у вигляді карт, знімків, геооснов (Рис.3.24) де візуально видно пункти ДГМ. Як видно з рисунка по зображенню OpenStreetMap для половини території Мельнице-Подільської територіальної громади є відсутні взагалі пункти державної геодезичної мережі. Зокрема це для східної та центральної частини найбільша відсутність. Характерним є розташування населених пунктів для цієї території.

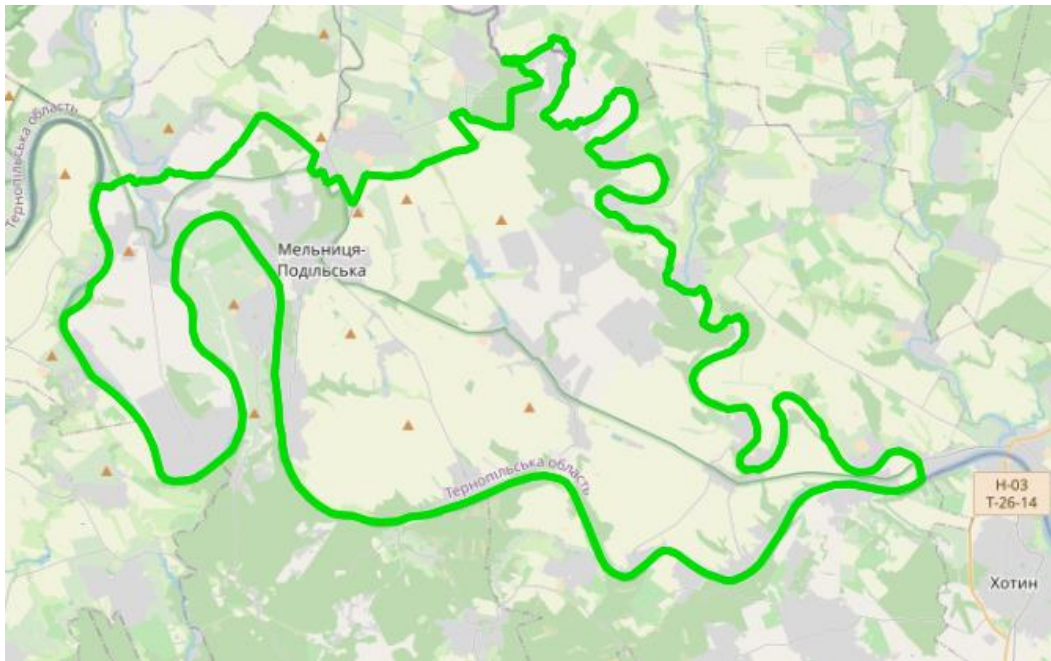


Рис.3.24 Вигляд оцифрованої Мельнице-Подільської територіальної громади ручним методом по зображенню OpenStreetMap

Відомості про значення крутизни схилів є досить важливими для здійснення топографо-геодезичних робіт, для оцінки землекористування. Зокрема такі показники дозволяють дослідити під який тип угідь найкраще відвести земельну ділянку певної території. У дослідженнях А.М. Третьака була складена матрична модель оптимального використання угідь в залежності від крутизни схилу. Зокрема, у ній є інформація про крутизну схилу та вид використання земельних ресурсів (Табл. 3.1) [18].

Таблиця 3.1

Матрична модель оптимального використання угідь в залежності від крутизни схилу (складена А.М. Третьаком) [18].

| Значення крутизни схилу (градусів) | Тип угідь |                        |          |          |     | необхідні протиерозійні заходи                                                    |
|------------------------------------|-----------|------------------------|----------|----------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | рілля     | Багаторічні насадження | сінокоси | пасовища | ліс |                                                                                   |
| 1 - 4                              | +         | +                      | +        | +        | -   | Інтенсивні злачно-пропашні сівозміни з максимальним насиченням просапних культур. |

|          |   |   |   |   |   |                                                                                                           |
|----------|---|---|---|---|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 - 7    | + | + | + | + | - | Злачні-трав'яні<br>грунтозахисні сівозміни (без<br>просапних культур)                                     |
| 8 - 10   | - | + | + | + | + | Тривале залуження<br>багаторічними травами<br>(можлива тимчасова<br>консервація 15-20 років)              |
| 11 - 14  | - | + | + | + | + | терасування схилів                                                                                        |
| 15 - 20  | - | + | - | - | + | Неможливість використання<br>в сільськогосподарському<br>виробництві без здійснення<br>інженерних заходів |
| понад 20 | - | - | - | - | + | Тривале залуження, посадка<br>кущових і лісових<br>насаджень                                              |

Через це було складено картосхему крутизни схилів в програмному забезпеченні ГІС території Мельнице-Подільської територіальної громади з градацією по 6 показникам: 1-4°, 5-7 °, 8-10 °, 11-14°, 15-20°, більше 20° (Рис.3.25).

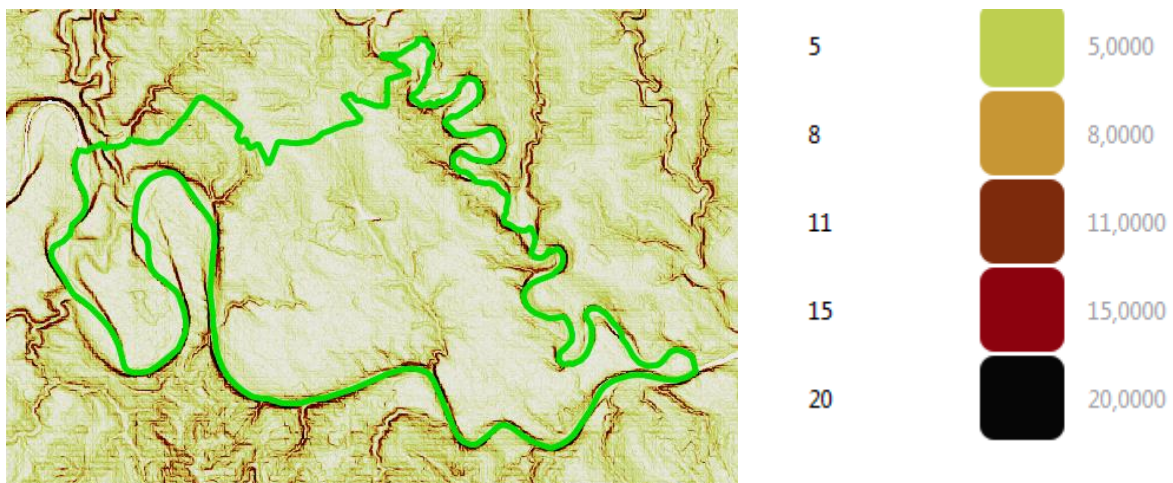


Рис.3.25 Крутизна схилів території Мельнице-Подільської територіальної громади з налаштованою градацією показників за Третяком А.М.

Таким чином, для кожної градуїованої величини вибір виду угідь буде природньо різний, тому для дослідження та аналізу можна розглянути та скласти картосхеми з оцифрованими шарами та кожним індивідуально взятим показником крутизни схилу. Останнє дозволить розрахувати кількісно

показники оптимального використання земельних ресурсів для території досліджень.

Саме тому в досліджуваній роботі здійснено було оцифрування геооб'єктів і представлення їх через векторну графіку як окремі тематичні шари. При дешифруванні окремо створено базу даних із наповненням її атрибутивною характеристикою.

Для оцифрування різноманітних типів просторових об'єктів існують спеціально створенні в програмному продукті «інструменти». В залежності від типу інструментальної ГІС та моделі подачі просторових даних (топологічної, нетопологічної, CAD) набір вказаних інструментів і організація інтерфейсу для користувача під час роботи з ним можуть дещо відрізнятися. У використовуваному нами програмному продукті інструментарій для цифрування, зміни та редагування векторних даних зібраний у спеціальному меню і продубльований на спеціальних піктографічних панелях.

Вдалось побудувати та векторизувати окремий шар, що складається з полігональних об'єктів та охоплює усі території, що вкриті рослинністю. Візуалізація зображення рослинності для території досліджень показує, що найбільші площі характерні для північної частини території Мельнице-Подільської територіальної громади (Рис.3.26). Окремі вузькі і довгі території знаходяться по берегах річок.

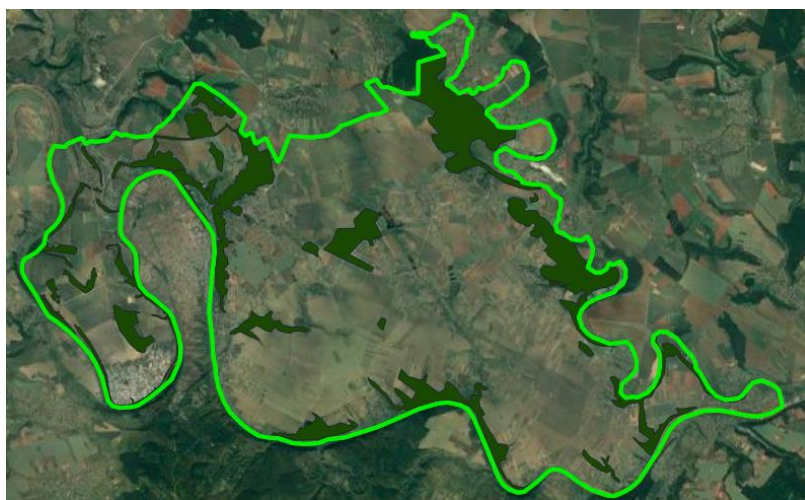


Рис. 3.26 Територія Мельнице-Подільської територіальної громади з векторизованим шаром рослинності

Завдяки функціональним можливостям ГІС продукту, що використовується в даному дослідженні вдалось визначити загальну площу територій під лісовими ресурсами – 36,64 км<sup>2</sup>, що становить 15% від загальної площі території досліджень.

Згідно матричної моделі оптимального використання угідь в залежності від крутизни схилу складеної А.М. Третьяком оптимальність розташування лісової рослинності на схилах крутизною більше 7°. Саме тому у даній роботі варто виокремити ділянки з вказаною крутизною схилів.

Наступним завданням є перетворення зображення крутизни схилу за двома показниками - більше та менше 8°. Це можна здійснити через Калькулятор растрів (Рис.3.27). У рядку введення формули варто обрати попередньо створений шар.

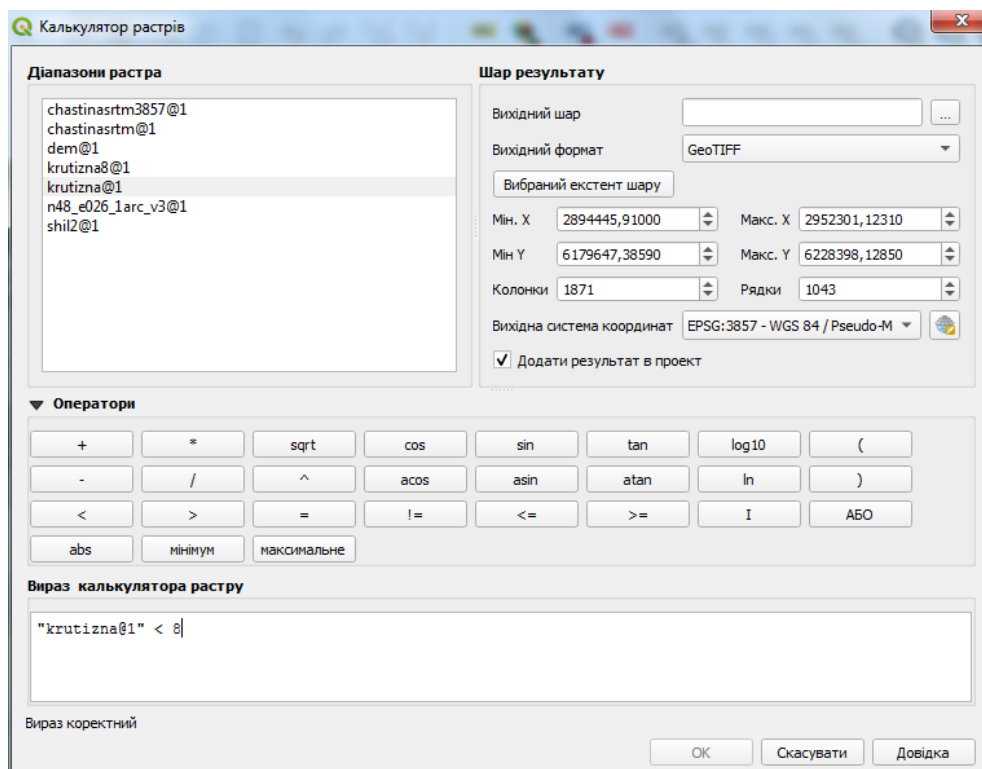


Рис. 3.27 Калькулятор растрів ГІС продукту QGIS

Таким чином отримаємо зображення у чорно-білому вигляді де білий колір відображатиме території громади з показником крутизни менше 8°, а темний колір показуватиме розміщення ділянок з крутизною більше 8° (Рис. 3.28).

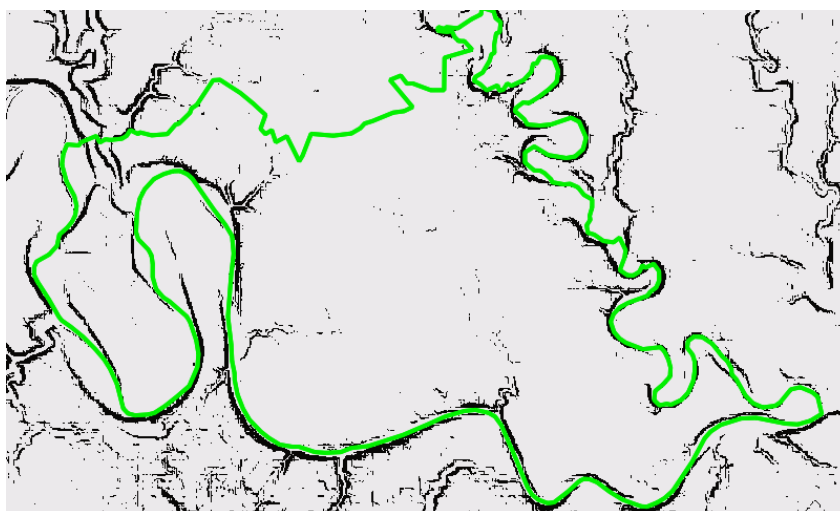


Рис. 3.28 Територія Мельнице-Подільської територіальної громади з виділеними ділянками крутизни схилу за двома показниками - більше та менше 8°.

Далі потрібно через підменю Растр – Перетворення – Полігонізувати, здійснити перетворення растра у векторну графіку. Коли з'явиться новий векторизований шар необхідно через контекстне меню включити таблицю атрибутів, в якій буде зазначено створені полігональні об'єкти із присвоєнням атрибутивної характеристику кожному – або 0 (те, що не відповідає нашому попередньому запиту – ділянки без води), або ж 1 (те, що відповідає запиту). Включивши редагування у цьому ж вікні можна обрати інструмент – Обрати об'єкти використовуючи вираз і в меню вибору обрати – Поля та значення, вписавши в редакторі формул -  $DN = 0$ . Таким чином ми оберемо усі створені полігональні об'єкти, що не відповідають критеріям пошуку, тобто не вміщують території з крутизною менше 8°, після чого інструментом видалення можна їх усіх видалити.

Таким чином, ми отримаємо векторизовані полігони зображення ділянок з потрібною крутизною, які завдяки оверлейному аналізу можна візуально побачити з шаром лісової рослинності (Рис. 3.29).

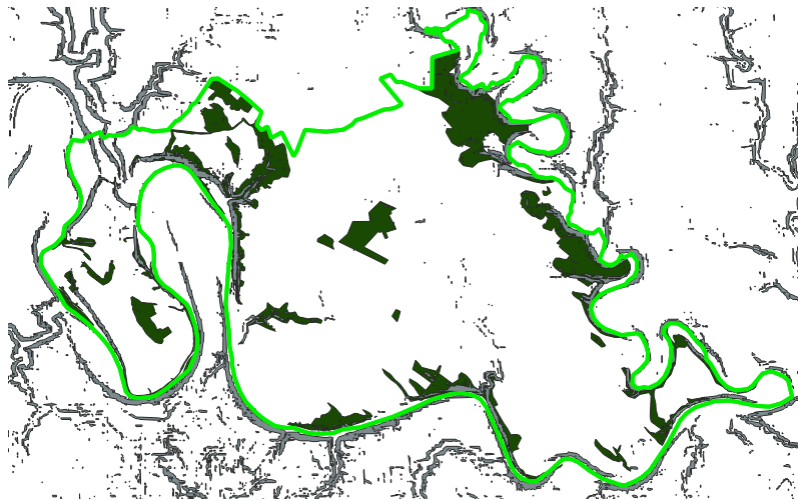


Рис. 3.29 Територія Мельнице-Подільської територіальної громади з виділеними ділянками крутизни схилу більше  $8^\circ$  та векторизованим шаром лісової рослинності.

В роботі здійснено розрахунок площі територій з крутизною схилу більше  $8^\circ$ , що знаходяться за межами ділянок під лісовою рослинністю. Через функціональну можливість головного меню обрано Вектор-Обробка даних-Різниця. У вікні, що відкриється обрано між якими двома векторизованими шарами здійснити обрану різницю. Таким чином у нас залишиться лише векторизовані окремі об'єкти, що відповідають шуканим ділянкам (Рис.3.30).

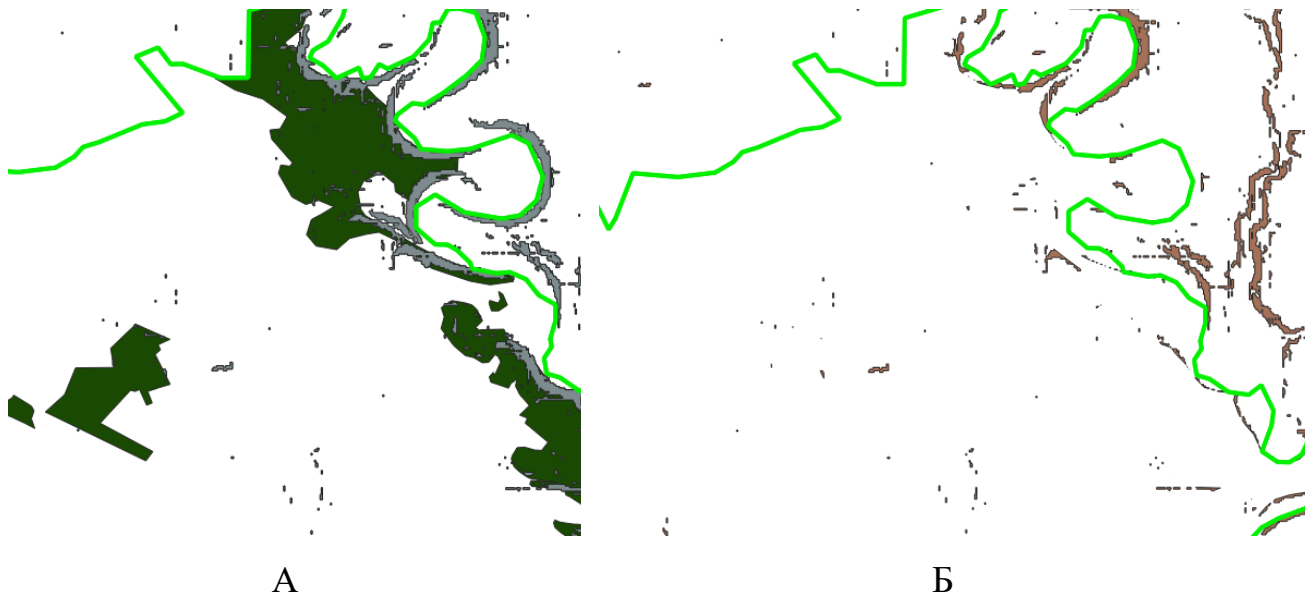


Рис. 3.30 Вигляд північно-східної частини території Мельнице-Подільської територіальної громади з виділеними ділянками крутизною схилу більше  $8^\circ$  та векторизованим шаром лісової рослинності (А) та території з крутизною схилу більше  $8^\circ$ , що знаходяться за межами ділянок під рослинністю (Б).

На рисунку добре проглядається та проведені розрахунки показали, що для близько 90% ділянок крутизною схилу більше  $8^{\circ}$  характерним є наявність лісової рослинності, що говорить про досить високі показники оптимальності розміщення даного типу угідь.

Найбільші ділянки територій крутизною схилу більше  $8^{\circ}$  де відсутня лісова рослинність характерні для північно-західної території Мельнице-Подільської територіальної громади в районі села Михалків. Для виокремлених ділянок наявний тип угідь – рілля, що згідно моделі оптимальності використання розробленої А.М. Третьяком є не вірним при зазначеній крутизні схилу територій (Рис. 3.31).

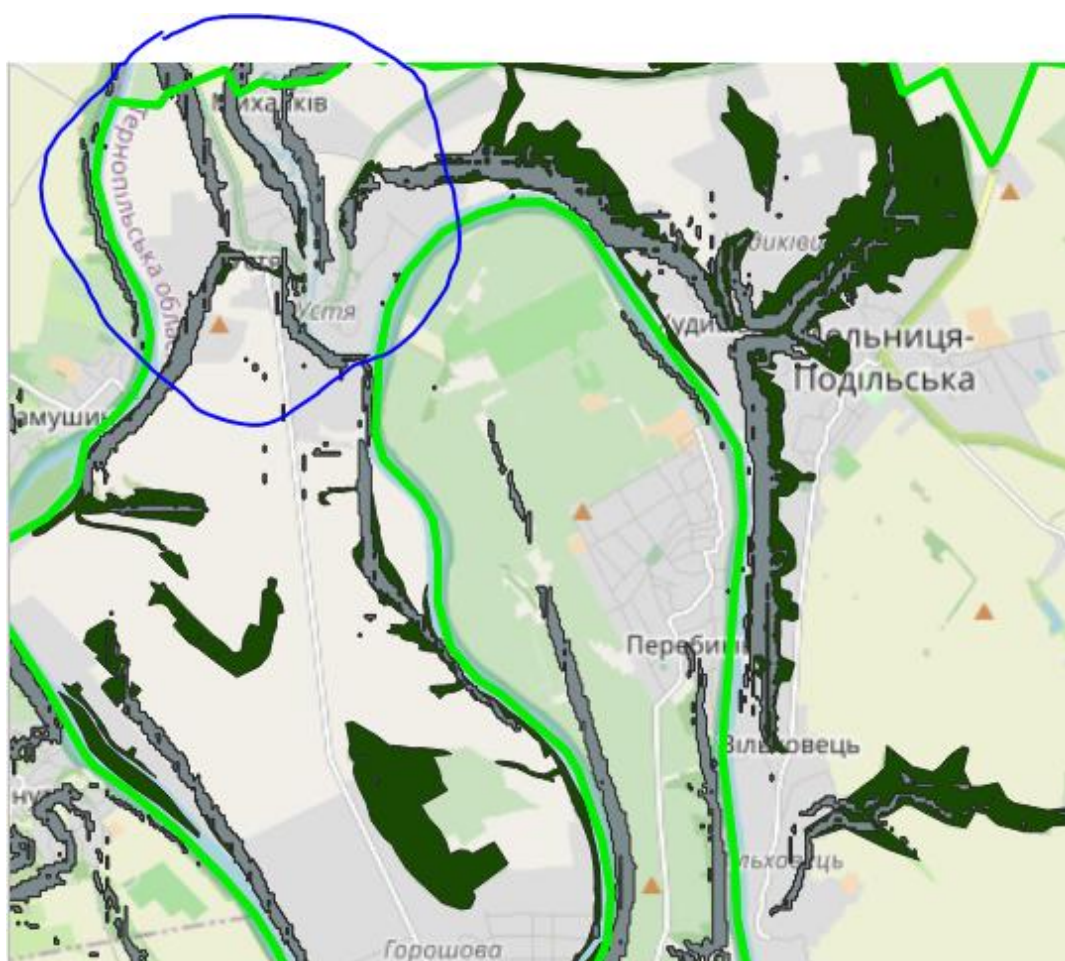


Рис. 3.31 Вигляд північно-західної частини території Мельнице-Подільської територіальної громади з виділеними ділянками крутизною схилу більше  $8^{\circ}$  на яких відсутня лісова рослинність.

### **Висновки до розділу 3.**

Дослідження територій, пов'язаних з вивченням об'єктів та явищ природи, виявленням структури землекористування, ареалів порушення, забруднення та деградації природного середовища, вимагають наявності якісних цифрових моделей рельєфу (ЦМР) місцевості, на формування яких у більшості випадків використовують дистанційні методи зондування Землі.

З існуючих програмних рішень щодо надання даних висоти можна відзначити різні сервіси. Наслідуючи тенденції використання вільно поширюваних геоінформаційних ресурсів та програмних продуктів з відкритим вихідним кодом, для створення просторової бази даних, що зберігає суміщені геометричні моделі рельєфу місцевості, сформовані на базі моделей матриць висот, передбачається використання вже існуючих ЦММ та програмних засобів їх обробки.

Створені ЦММ в ГІС як растрова основа дозволяють аналізувати рельєф з різних позицій, в тому числі в цілях геодезії та землеустрою, що продемонстровано у роботі на прикладі територіальної громади.

## ВИСНОВКИ

1. Завдяки встановленому плагіну SRTM-Downloader створено ЦММ для території Мельнице-Подільської територіальної громади. Здійснено порівняння ЦММ отриманих з різних джерел, зокрема: Copernicus та SRTM. Встановлено, що різниця у отриманні супутникових даних для території 11-15 років, для ЦММ SRTM мінімальні значення абсолютної висоти становлять 113 метрів, а максимальні 425 метрів. Для DEM Copernicus 117,8 та 435 метрів відповідно.
2. Проаналізовано растрові картографічні дані, віднайдено та оцифровано окремі пункти ДГМ на території Мельнице-Подільської територіальної громади. Встановлено, що горизонталі отримані з DEM Copernicus точніше (краще співпадіння з пунктами ДГМ) відображають цифрову модель місцевості. Подекуди спостерігається точне співпадіння абсолютних висот двох різних геометричних об'єктів. Через це у наступних дослідженнях використано ЦММ отриману з DEM Copernicus.
3. Визначено оптимальне використання угідь в залежності від крутизни схилу ЦММ. Складено картосхему крутизни схилів території. Створено профіль ділянки за допомогою плагіну (модуля) Profile Tool. В досліджуваній роботі здійснено було оцифрування геооб'єктів і представлення їх через векторну графіку як окремі тематичні шари. При дешифруванні окремо створено базу даних із наповненням її атрибутивною характеристикою.
4. В роботі здійснено розрахунок площі територій з крутизною схилу більше  $8^\circ$ , що знаходяться за межами ділянок під лісовою рослинністю. Найбільші ділянки територій крутизною схилу більше  $8^\circ$  де відсутня лісова рослинність характерні для північно-західної території Мельнице-Подільської територіальної громади в районі села Михалків. Для виокремлених ділянок наявний тип угідь – рілля, що згідно моделі

оптимальності використання розробленої А.М. Третьяком є не вірним при зазначеній крутизні схилу територій

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурштинська Х. Опрацювання даних лазерного сканування місцевості для відтворення гідрографічних об'єктів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Л. : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. Вип. 1 (17). С. 195-203.
2. Дорожинський О.Л. Фотограмметрія: підручник Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 332 с.
3. Дорожинський О. Л. Цифрова фотограмметрія сучасний стан та чинники її розвитку Геодез. картогр. і аерознімання. Львів, 2005. Вип. 66. С. 136–143.
4. Жолкевський П. Ф. Формування парадигми сталого сільськогосподарського природокористування із застосуванням матеріалів аерокосмічної зйомки . Житомир : Полісся, 2005. 56 с.
5. Красовський Г. Я. Інформаційні системи тематичної обробки геоданих в завданнях моніторингу довкілля і природних ресурсів на регіональному рівні: матеріали наради Можливості супутникових технологій у сприянні вирішенню проблем Харківщини. 2009. С. 65–68.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Фотограмметрія та дешифрування аерознімків» для студ. ден. форми навчання спеціальності 6.070904 «Землевпорядкування та кадастр»/уклад.:І. П. Купріянич, Є. В. Бутенко. К.:НАУ, 2006.Методи дистанційного зондування Землі : метод. посіб. для студ. напряму «Геодезія, картографія та землевпорядкування» вузів III–IV рівнів акредитації уклад : С. С. Кохан, І. П. Поліщук. К.: НАУ, 2006. 136 с.
7. Тукай Р. Р. Використання даних лазерного сканування місцевості з літака для побудови цифрової моделі забудованої території Зб. пр. Захід. геодез. т-ва Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Львів, 2005. С. 268–271.
8. Часковський О. Створення цифрових моделей рельєфу на основі даних аерофотознімання Геодезія, архітектура та будівництво. Л. Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. №2. С. 150-151.

9. En.wikipedia.org. 3D reconstruction from multiple images. (2019) Retrieved from: [https://en.wikipedia.org/wiki/ 3D\\_reconstruction\\_ from\\_multiple\\_images](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_reconstruction_from_multiple_images)
10. Kamal J. (2017). Use of photogrammetry in 3D modeling and visualization of buildings. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/255651498\\_Use\\_of\\_photogrammetry\\_in\\_3D\\_modeling\\_and\\_visualization\\_of\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/255651498_Use_of_photogrammetry_in_3D_modeling_and_visualization_of_buildings).
11. T. Schenk (2008). Introduction to Photogrammetry. Retrieved from: <http://www.mat.uc.pt/~gil/downloads/IntroPhoto.pdf>.
12. Sébastien Lachambre (2017). Unity Photogrammetry Workflow. Retrieved from: [https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/UnityPhotogrammetryWorkflow\\_2017-07\\_v2.pdf](https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/UnityPhotogrammetryWorkflow_2017-07_v2.pdf).
13. Cramer, M., 2009, Digital Camera Calibration, EuroSDR official publication No. 55, 257p.
14. Cramer, M., and Haala, N. (2010): DGPF Project: Evaluation of Digital Photogrammetric
15. Aerial-based Imaging Systems – Overview and Results from the Pilot Cen <http://www.geoguide.com.ua/software/software.php?part=racurs&art=photomod>  
<http://panorama.kharkov.ua/lessons/rlessons.htm?page=phm100>
16. Liu X.Y. Airborne LiDAR for DEM generation: Some critical issues. Prog. Phys. Geogr. 2008;32:31
17. Wang C., Tseng Y. Dual-directional profile filter for digital terrain model generation from airborne laser scanning data. J. Appl. Remote Sens. 2014;8:4480–4494. doi: 10.1117/1.JRS.8.083619
18. Nico G. Terrain modelling by kinematical GPS survey .Natural Hazards and Earth System Sciences. 2005. № 5. P. 293 - 299.
19. Using RTK GPS method in creation of digital terrain models : (International conference of cartography and GIS, January, 25-28, 2006, Borovets, Bulgaria)  
Режим доступу до журн.: [http://www.datamap-bg.com/conference\\_cd/pdf/47\\_210\\_Iilmaz\\_Tu.pdf](http://www.datamap-bg.com/conference_cd/pdf/47_210_Iilmaz_Tu.pdf).

