

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

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

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ МІСЦЕВОСТІ
(ЦММ) ДЛЯ ЧАГОРСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ
ЗА ВІДКРИТИМИ DEM-ДЖЕРЕЛАМИ В СЕРЕДОВИЩІ QGIS**

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

Виконав:

студент_2 курсу, 208-М групи
спеціальності 193 “Геодезія та землеустрій”
ОПП “Геодезія”

Ворсуляк Петро Васильович

Керівник :

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

*До захисту допущено
на засіданні кафедри*

протокол № 3 від 18 листопада 2025 р.

Зав. кафедрою _____ доц. Дарчук К.В.

Чернівці – 2025

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: - студента 2 курсу, 208-М групи, спеціальності 193 "Геодезія та землеустрій" другого (магістерського) рівня вищої освіти на тему: " Порівняльний аналіз цифрових моделей місцевості (ЦММ) для Чагорської територіальної громади за відкритими DEM-джерелами в середовищі QGIS".

У роботі розглянуто методику створення та порівняльного аналізу цифрових моделей місцевості (ЦММ) для Чагорської територіальної громади Чернівецької області на основі відкритих DEM-джерел у середовищі QGIS. Джерельну базу становлять глобальні набори SRTM 30 м (2000 р.) та Copernicus Global DSM/DEM 30 м (2011–2020 рр.), доступні через плагін OpenTopography DEM Downloader. Запропоновано уніфікований робочий процес: підготовка даних (кліпінг, заповнення западин, приведення до EPSG:32635), побудова похідних (тіньова відмивка, горизонталі з кроком 1 м, карта ухилів), а також коректне порівняння моделей одного типу — DSM↔DSM (SRTM vs Copernicus DSM). Різницевий аналіз продемонстрував середнє зростання цифрових висот $\approx +4,06$ м у новішій моделі, що відображає сукупний вплив змін покриття (ліси, забудова) та відмінностей знімання. Виконано класифікацію ухилів за ДБН (у % та градусах), визначено площі сприятливих/малосприятливих/несприятливих зон для забудови, сформовано геодезично корисні шари (вузлові точки з Z уздовж вулиць с.Чагор). Отримані результати є придатними для практичних задач містобудування, інженерної підготовки територій, протиерозійних заходів і навчальних цілей у галузі геодезії та землеустрою.

Ключові слова: ЦММ, ЦМР, DEM, SRTM, Copernicus, QGIS, ухил, зональна статистика, класифікація за ДБН, Чагорська громада.

ABSTRACT

Qualification work: - student of the 2nd year, group 208-M, specialty 193 "Geodesy and land management" of the second (master's) level of higher education on the topic: "Comparative analysis of digital terrain models (DTM) for the Chahorsk territorial community using open DEM sources in the QGIS environment".

The study presents a workflow for creating and comparing Digital Surface/Terrain Models (DSM/DTM) for the Chahor (Chagor) Territorial Community (Chernivtsi Region, Ukraine) using open DEM sources in QGIS. The data stack includes SRTM 30 m (2000) and Copernicus Global DSM/DEM 30 m (2011–2020) datasets available via the OpenTopography DEM Downloader plugin. A unified pipeline is proposed: data preparation (clipping, sink filling, harmonization to EPSG:32635), derivation of hillshade, 1-m contours, and slope maps, followed by like-to-like comparisons — DSM↔DSM (SRTM vs Copernicus DSM) and DTM↔DTM (Copernicus DEM vs FABDEM). The difference analysis indicates a mean elevation increase of $\approx +4.06$ m in the newer DSM, reflecting both surface cover changes (forests, built-up areas) and sensor/processing differences. Slope classification according to national building norms (in percent and degrees) was performed to delineate favorable, conditionally suitable, and unfavorable zones for construction. Additional geodetic layers (street-aligned Z points, profiles) were generated to support engineering tasks. The results apply to urban planning, engineering site preparation, erosion control, and educational activities in Geodesy and Land Management.

Keywords: DSM, DTM, DEM, SRTM, Copernicus, QGIS, slope, zonal statistics, building code classification, Chahor Community.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів наукових досліджень інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Ворсуляк П.В.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ І. АНАЛІЗ СТВОРЕННЯ ЦММ ЗА ДЖЕРЕЛАМИ ДАНИХ ПЛАГІНА OPEN TOPOGRAPHY DEM DOWNLOADER ГІС QGIS...	7
1.1 Створення ЦММ за допомогою плагіна OpenTopography DEM Downloader.....	7
1.2 Об’єктивність оцінки ЦММ та ЦМР різних джерел даних.....	11
Висновки до розділу 1.....	18
РОЗДІЛ ІІ. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ В ЦІЛЯХ СТВОРЕННЯ ЦММ.....	19
2.1 Загальна фізико-географічна характеристика території дослідження ..	19
2.2 Існуючі тематичні векторизовані шари території досліджень	22
2.3 Просторове поширення пунктів ДГМ території досліджень	24
Висновки до розділу 2.....	28
РОЗДІЛ ІІІ. ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ЦММ ДЛЯ ЧАГОРСЬКОЇ ГРОМАДИ.....	29
3.1 Створення цифрової моделі місцевості території громади за даними SRTM.....	29
3.2 Порівняння ЦММ за різними джерелами даних	36
Висновки до розділу 1.....	54
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	56

ВСТУП

Актуальність. Зростання темпів забудови в приміській зоні м. Чернівці та потреба в оперативній інженерно-геодезичній інформації зумовлюють використання відкритих висотних даних для побудови цифрових моделей місцевості/рельєфу. Сучасні глобальні DEM (SRTM, Copernicus, NASADEM, ALOS тощо), доступні через плагін OpenTopography DEM Downloader у QGIS, дають змогу формувати ЦММ для локальних територій з достатньою точністю та повторюваністю. Методично важливо розрізняти DSM (ЦММ) та DTM (ЦМР) і порівнювати моделі однакового типу. Для Чагорської ТГ це створює основу для планування, оцінки придатності територій, протиерозійних заходів та моніторингу антропогенних змін.

Мета дослідження - розробити й верифікувати робочий процес створення та порівняння ЦММ для Чагорської ТГ на основі відкритих DEM-джерел (SRTM, Copernicus) у QGIS з отриманням похідних продуктів (горизонталі, ухили, карти змін) і прикладною інтерпретацією для потреб геодезії та землеустрою.

У ході виконання роботи виконано наступні завдання:

1. Зібрати та підготувати DEM-дані (SRTM 30 м; Copernicus Global DSM/DEM 30 м), уніфікувати проєкцію (EPSG:32635) і екстент, виконати попередню обробку (clip, fill sinks).
2. Побудувати ЦММ для території досліджень, сформувати похідні: тіньову відмивку, горизонталі, карту ухилів та її класифікацію за ДБН.
3. Виконати DSM порівняння (SRTM і Copernicus DSM) і визначити кількісні показники оцінки - різницеві растри, зональна статистика в межах ТГ.
4. Здійснити оцінку ЦММ для окремих геодезичних та землепорядних завдань (вузлові точки з Z-висотами вздовж вулиць с.Чагор, інтерпретація придатності територій для забудови).

Об'єктом дослідження виступала територія Чагорської територіальної громади Чернівецької області.

Предмет дослідження - технології створення та порівняльного аналізу ЦММ із відкритих DEM-джерел у QGIS; морфометричні показники (висота, ухил), різницеві моделі та їх інженерно-геодезична інтерпретація.

Методи дослідження. ГІС-аналіз (QGIS), растрова алгебра (Raster Calculator), Zonal statistics, Reclassify by table, інтерполяція (TIN), картографічне моделювання, статистичний аналіз; дані SRTM, Copernicus (DSM/DEM), додатково — FABDEM та знімки дуже високої роздільної здатності (0,5 м), векторні шари з офіційних порталів.

Наукова новизна

- Уточнено та верифіковано робочий процес роздільного порівняння $DSM \leftrightarrow DSM$ і $DTM \leftrightarrow DTM$ для громади локального масштабу з кількісною оцінкою змін висот (напр., середня різниця $\approx +4,06$ м між Copernicus DSM і SRTM);
- Адаптовано нормативну класифікацію ухилів (у % і градусах) до даних відкритих DEM для задач інженерної підготовки територій;
- Продемонстровано інтеграцію DEM із знімками для формування геодезично корисних шарів (вузлові точки Z, профілі).

Практичне застосування. Отримані ЦММ і похідні продукти можуть застосовуватись у: містобудівному плануванні (зонування придатності), проектуванні інженерних мереж (дренаж, каналізація), протиерозійних заходах, моніторингу антропогенних змін, навчальному процесі спеціальності Геодезія та землеустрій.

Структура і обсяг роботи. Дипломна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків до розділів, висновків загальних та списку використаних джерел. Робота представлена на 57 сторінках формату А4. Список використаної літератури містить 20 найменувань.

РОЗДІЛ І. АНАЛІЗ СТВОРЕННЯ ЦММ ЗА ДЖЕРЕЛАМИ ДАНИХ ПЛАГІНА OPEN TOPOGRAPHY DEM DOWNLOADER ГІС QGIS

1.1 Створення ЦММ за допомогою плагіна OpenTopography DEM Downloader

Для створення цифрової моделі місцевості (ЦММ) у QGIS існує кілька зручних плагінів (доповнень), які автоматизують завантаження висотних даних, побудову DEM/DTM/DSM та подальшу обробку рельєфу. Ми проаналізували найпопулярніші й найефективніші з них.

1. DEMto3D. Призначення: побудова 3D-моделей рельєфу на основі растрової ЦМР.

Можливості:

- створення 3D-моделей для друку або візуалізації;
- масштабування вертикальної висоти (Z-фактор);
- експорт у STL для 3D-друку.
- ◆ Підходить для: створення навчальних макетів, 3D-візуалізацій рельєфу.
- ◆ Тип моделі: DSM/DTM (на основі DEM).

2. QGIS Terrain Analysis Plugin (TAP). Призначення: аналітика поверхні на основі DEM.

Можливості:

- автоматичне обчислення похилів, експозицій, кривизни;
- створення карт тіньового рельєфу;
- обчислення висотних профілів.
- ◆ Ідеальний для: геоморфологічного аналізу після побудови ЦММ.

3. Relief Visualization Toolbox (RVT). Призначення: професійна візуалізація ЦМР (тіньове відмивання, мультиосвітлення, розширений

hillshade).

Можливості:

- створення карт освітлення з кількох напрямів;
- підвищення контрастності деталей рельєфу;
- аналіз мікрорельєфу.

◆ Корисно для: археології, геоморфології, кадастру, екології.

4. QGIS Plugin – “DEM Extraction” або “DEM Downloader”.

Призначення: швидке завантаження даних ASTER GDEM, ALOS, Copernicus DEM.

◆ Перевага: дозволяє вибрати альтернативні джерела даних, якщо SRTM має затінені або неточні ділянки.

◆ Тип вихідних даних: GeoTIFF, IMG, ASCII Grid.

6. Processing Toolbox → GRASS / GDAL

(Це не окремий плагін, а вбудований модуль QGIS, який часто замінює додаткові розширення.)

◆ Основні інструменти:

- r.fill.dir, r.fillnulls — заповнення западин;
- r.slope.aspect — створення карт ухилів і експозицій;
- r.contour — побудова горизонталей;
- gdaldem hillshade — створення тіньової відмивки.

◆ Тип моделей: DEM, DTM, DSM.

Рекомендований робочий процес

1. Завантажити DEM через “SRTM Downloader” або “DEM Downloader”.
2. Об’єднати тайли → *Растр* → *Різне* → *Конструювати віртуальний растр (VRT)*.
3. Заповнити западини → *Processing Toolbox* → *GRASS* → *r.fill.dir*.
4. Побудувати тіньову відмивку (hillshade) або карту ухилів.
5. Зберегти результат як GeoTIFF DEM (ЦММ).

7. Плагін OpenTopography DEM Downloader — це один із найзручніших сучасних інструментів QGIS для створення цифрових моделей місцевості (ЦММ / DEM / DTM).

OpenTopography DEM Downloader — плагін для створення цифрової моделі місцевості.

Для завантаження глобальних цифрових моделей рельєфу (ЦМР) у середовищі QGIS доцільно використовувати плагін OpenTopography DEM Downloader (*Plugin ID: 2593*). Цей інструмент забезпечує автоматичне отримання DEM-даних із ресурсу [OpenTopography.org](https://www.opentopography.org) для вибраної користувачем території безпосередньо в середовищі програми.

Плагін підтримує широкий набір відкритих висотних моделей (Таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Особливості джерел даних для ЦММ плагіну OpenTopography DEM Downloader

№	Джерело DEM	Просторова роздільна здатність	Тип / опис
1	SRTM 90 m	90 × 90 м	Глобальна модель рельєфу (NASA SRTM)
2	SRTM 30 m	30 × 30 м	Детальніша версія SRTM (1 Arc-Second)
3	ALOS World 3D 30 m	30 × 30 м	Оптична модель JAXA (Японія)
4	SRTM GL1 Ellipsoidal 30 m	30 × 30 м	SRTM-дані в еліпсоїдальній висотній системі
5	Global Bathymetry SRTM15+ V2.1	15 Arc-Second (≈500 м)	Комбінована модель рельєфу й батиметрії
6	Copernicus Global DSM 30 m	30 × 30 м	Цифрова модель поверхні (ЄС Copernicus)
7	Copernicus Global DSM 90 m	90 × 90 м	Узагальнена версія Copernicus DSM
8	NASADEM Global DEM	30 × 30 м	Оновлені дані місії SRTM + ASTER

№	Джерело DEM	Просторова роздільна здатність	Тип / опис
9	Europe DTM 30 m	30 × 30 м	Детальна модель рельєфу Європи
10	GEDI L3 Grid 1 km	1 × 1 км	Лазерна висотна модель рослинного покриву
11	GEBCO IceTopo Bathymetry 500 m	500 × 500 м	Батиметрія під льодовим покривом
12	GEBCO SubIceTopo Bathymetry 500 m	500 × 500 м	Батиметрія підльодовикових областей

Порядок роботи з плагіном наступний:

- спочатку варто встановити плагін в ГІС. У QGIS необхідно обрати меню → *Плагіни* → *Керування та встановлення плагінів* → *OpenTopography DEM Downloader*. Важливим є отримати авторизацію: необхідно отримати безкоштовний API-ключ на сайті [OpenTopography.org](https://opentopography.org), без нього плагін не може завантажувати DEM-дані.

- далі варто здійснити вибір території: на карті у QGIS задати прямокутну область або межі адміністративної одиниці (наприклад, Чагорської ТГ);

- слід обрати джерела DEM. У списку обрати модель, наприклад SRTM 30 m або Copernicus DSM 30 m, залежно від потреб у роздільній здатності;

- здійснити завантаження ЦММ і його збереження. У вікні параметрів зазначити шлях для збереження (*Output directory*). Після підтвердження команда Download DEM завантажує файл у форматі GeoTIFF (.tif);

- провести імпортування проєкту. Отриманий файл автоматично додається до карти QGIS і може бути використаний для побудови ЦММ, горизонталей, карт ухилів і тіньового відмивання.

Переваги використання OpenTopography DEM Downloader

- доступ до 12 глобальних моделей рельєфу з роздільною здатністю до 30 м;
- просторове обрізання даних безпосередньо у QGIS (завантажується лише потрібна ділянка);
- відсутність потреби в ручному завантаженні з веб-порталів;
- автоматичне проєктування у WGS 84 (EPSG 4326);
- підтримка GeoTIFF і збереження метаданих (висот, джерела, системи координат).

Для побудови ЦММ території Чагорської ТГ оптимальним є використання моделі Copernicus Global DSM 30 m або SRTM 30 m, оскільки вони мають стабільну якість, покривають всю територію України та легко інтегруються з геопросторовими даними QGIS.

1.2 Об'єктивність оцінки ЦММ та ЦМР різних джерел даних.

Плагін OpenTopography DEM Downloader у QGIS є інтерфейсом до сервісу <https://opentopography.org>, який надає доступ до відкритих глобальних та регіональних цифрових моделей рельєфу (DEM), створених на основі різних місій дистанційного зондування Землі (LiDAR, SAR, стереознімки тощо).

Після вибору регіону плагін зазвичай пропонує кілька наборів даних — кожен має власний рік створення, роздільну здатність і метод отримання.

Найчастіше доступні такі джерела (Табл.1.2)

Таблиця 1.2

Джерела даних плагіна OpenTopography DEM Downloader

Назва DEM	Просторова роздільна здатність	Рік або період зйомки	Джерело / місія
SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)	30 м (1 arc-sec) або 90 м	2000 рік (лютий)	NASA / NGA
ASTER GDEM v3	30 м	2000–2013	METI (Японія) +

Назва DEM	Просторова роздільна здатність	Рік або період зйомки	Джерело / місія
Copernicus GLO-30 / GLO-90 (EU DEM)	30 м або 90 м	2011–2020 (оновлення 2021)	NASA ЄС / ESA (Copernicus)
ALOS World 3D (AW3D30)	30 м	2006–2011	JAXA (Японія)
NASADEM	30 м	оновлення 2000–2014	NASA (оновлений SRTM)
FABDEM (Forest And Buildings removed DEM)	30 м	2000–2021	ETH Zurich / NASADEM основа
LiDAR Local Datasets (для США, Канади, частково Європи)	0.5–2 м	залежить від регіону, 2007–2024	USGS, NOAA, місцеві агенції

При оцінці території та її рельєфу у ретроспективному аналізі важливо здійснювати порівняння ЦММ з ЦММ, а ЦМР з ЦМР (Табл.1.3). Також варто звертати увагу на період за який зібрано дані.

Таблиця 1.3

Різниця між ЦММ (DSM) і ЦМР (DTM)

Параметр	Цифрова модель місцевості (ЦММ, DSM)	Цифрова модель рельєфу (ЦМР, DTM)
Що показує	Висоту усієї поверхні, включаючи будівлі, дерева, споруди	Висоту поверхні ґрунту, без урахування об'єктів
Джерело даних	Радарні місії, фотограмметрія, LiDAR без фільтрації	LiDAR із фільтрацією, топографічні зйомки, контурні карти
Типова назва англ.	DSM (Digital Surface Model)	DTM (Digital Terrain Model)
Приклад	SRTM, ASTER GDEM	Copernicus DTM, LiDAR DTM

Модель SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) відображає рельєф земної поверхні станом на лютий 2000 року, тобто для того часу, коли існували об'єкти, зафіксовані місією.

SRTM була радарною місією NASA, яка тривала з 11 по 22 лютого

2000 року. Вона за допомогою інтерферометричного радара (C-band) вимірювала висоти поверхні Землі, отримуючи тривимірну модель — Digital Surface Model (DSM), тобто висоту верхньої частини земної поверхні разом із об'єктами: рослинністю (лісами, кущами), будівлями, спорудами тощо.

SRTM показує рельєф таким, яким він був у 2000 році.

Тобто:

- нові дороги, кар'єри, дамби, насипи, нова забудова після 2000 р. не враховані;
- рельєфна форма (пагорби, долини, русла річок) зберігає реальну геоморфологію;
- у місцях густої рослинності або лісу висоти можуть бути трохи завищеними (радар "бачив" верхівки дерев, а не ґрунт).

У наукових текстах зазвичай пишуть так:

«Цифрова модель рельєфу побудована на основі даних SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), отриманих у лютому 2000 року, що відображають стан рельєфу території на момент зйомки.» або коротше: «SRTM DEM (2000 р.) — цифрова модель поверхні, створена за результатами радарної місії NASA.»

Тому вірно говорити і казати що дані SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) належать до ЦММ а не до ЦМР.

SRTM насправді є Digital Surface Model (DSM) — тобто цифровою моделлю місцевості, бо вона включає висоти об'єктів, які стояли на поверхні у 2000 році (будівлі, дерева тощо). Тому правильно говорити: «На основі даних SRTM (2000 р.) побудовано цифрову модель місцевості (ЦММ) для території дослідження.»

У наукових роботах формулюють наступним чином: “Дані SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, 2000 р.) відображають цифрову модель місцевості (DSM), що містить висотну інформацію не лише про рельєф ґрунтової поверхні, а й про рослинний покрив і антропогенні об'єкти. Тому побудована модель характеризує загальний вигляд місцевості на момент

зйомки.”

Copernicus DEM (EU-DEM / GLO-30 / GLO-90) - це продукт Європейського космічного агентства (ESA) та програми Copernicus, створений на основі даних місії TanDEM-X (DLR + Airbus Defence and Space). Він поширюється у двох основних варіантах:

- Copernicus GLO-30 — глобальний DEM з роздільною здатністю 30 м,
- Copernicus GLO-90 — спрощена версія 90 м.

Тип моделі Copernicus DEM - позиціонується як: Digital Elevation Model (DEM), що є наближеною до Digital Terrain Model (DTM), тобто — це фактично цифрова модель рельєфу (ЦМР), а не місцевості. При формуванні Copernicus DEM із даних радарної місії TanDEM-X було проведено автоматичну фільтрацію дерев, будівель і споруд, щоб відобразити поверхню ґрунту, а не вершини об'єктів.

Таблиця 1.4

Порівняння головних характеристик Copernicus DEM і SRTM

Характеристика	SRTM (2000)	Copernicus DEM (2021)
Тип моделі	DSM (ЦММ) – місцевість із об'єктами	DTM (ЦМР) – рельєф без об'єктів
Джерело	Радар C-band (Shuttle, NASA)	Радар X-band (TanDEM-X, DLR/ESA)
Рік збору	2000	2011–2020
Публікація	2003–2015 (глобальна версія)	2021 (Copernicus GLO-30/GLO-90)
Вертикальна точність	~10–15 м	~1–3 м (у середньому)
Просторова роздільна здатність	30 або 90 м	30 або 90 м

Отже SRTM (30 м) → ЦММ (DSM) — показує поверхню з об'єктами станом на 2000 рік. Copernicus DEM (GLO-30 або GLO-90) → ЦМР (DTM) —

відображає рельєф земної поверхні без будівель і дерев, побудований за даними 2011–2020 рр., оприлюднений у 2021 р.

Для території України найчастіше використовують:

- Copernicus DEM (EU-DEM) — найновіший, створений на базі даних TanDEM-X (2011–2020), оновлений у 2021 році, роздільна здатність 30 м.
- SRTM (2000) — класичний і стабільний, але застарілий (понад 20 років).
- ASTER GDEM (2000–2013) — має вищу деталізацію, але часто з артефактами.

Тип моделі (ЦМР чи ЦММ) потрібно обов'язково узгоджувати при порівнянні, інакше результати будуть методологічно некоректні.

Порівнювати можна тільки моделі одного типу: ЦММ (DSM) ↔ ЦММ (DSM) — оцінка змін на поверхні місцевості (забудова, ліс, споруди, антропогенні зміни). ЦМР (DTM) ↔ ЦМР (DTM) — оцінка реальних змін рельєфу ґрунтової поверхні (кар'єри, насипи, ерозія, обвал, терасування тощо).

Наступні набори в OpenTopography можна вважати ЦММ (DSM). Це моделі, що показують висоту поверхні з усіма об'єктами (Табл.1.5).

Таблиця 1.5

Існуючі ЦММ в OpenTopography

Назва набору	Тип	Рік / період	Коментар
SRTM (1 arc-second, 30 м)	ЦММ (DSM)	2000	Класична модель місцевості, включає будівлі та рослинність
ASTER GDEM v3	ЦММ (DSM)	2000–2013	Побудована зі стереопар знімків; поверхня включає об'єкти
ALOS World 3D (AW3D30)	ЦММ (DSM)	2006–2011	Дуже деталізована, але також з будівлями та лісами

Отже, для порівняння між роками ЦММ ↔ ЦММ можна брати:

SRTM (2000) ↔ ALOS World 3D (2006–2011) або ↔ ASTER GDEM (2000–2013). Це дозволяє об'єктивно бачити антропогенні зміни місцевості (наприклад, появу забудови, зменшення лісів, кар'єри тощо).

Набори даних, що вважаються ЦМР (DTM). Це моделі, очищені від об'єктів — показують саме поверхню ґрунту (Табл.1.6).

Таблиця 1.6

Існуючі ЦМР в OpenTopography

Назва набору	Тип	Рік / період	Коментар
Copernicus DEM GLO-30 / GLO-90	ЦМР (DTM)	2011–2020 (оновлення 2021)	Найсучасніша модель рельєфу
FABDEM (Forest and Buildings removed DEM)	ЦМР (DTM)	2000–2021	На основі NASADEM, очищена від будівель і лісу

Для ЦМР ↔ ЦМР порівнянь рекомендується: Copernicus DEM (2021) ↔ FABDEM (2000–2021). Так можна отримати об'єктивну картину змін рельєфу (а не забудови) між періодами.

Таким чином залежно від мети дослідження та типу моделей можна здійснювати порівняння між наступними джерелами даних (Табл.1.7).

Таблиця 1.7

Рекомендовані джерела для порівняння в OpenTopography

Мета дослідження	Тип моделей для порівняння	Рекомендовані джерела
Зміни рельєфу (кар'єри, ерозія, насипи)	ЦМР ↔ ЦМР	Copernicus DEM ↔ FABDEM
Зміни місцевості (збудова, ліси, антропогенна діяльність)	ЦММ ↔ ЦММ	SRTM ↔ ALOS / ASTER
Динаміка загальної морфології	будь-яка пара одного типу	уникай змішування DSM і DTM

Таким чином в OpenTopography існують наступні джерела даних (Табл.1.8).

Таблиця 1.8

Існуючі джерела даних в OpenTopography

№	Назва в плагіні	Роздільна здатність	Тип моделі	Роки даних	Коментар
1	SRTM 90 m	90 м	ЦММ (DSM)	2000	Груба версія SRTM
2	SRTM 30 m	30 м	ЦММ (DSM)	2000	Найпопулярніша, радарна місцевість з об'єктами
3	ALOS World 3D 30 m	30 м	ЦММ (DSM)	2006–2011	Знімки ALOS PRISM, поверхня з будівлями й лісами
4	SRTM GL1 Ellipsoidal 30 m	30 м	ЦММ (DSM)	2000	Та сама місія, інша висотна система
6	Copernicus Global DSM 30 m	30 м	ЦММ (DSM)	2011–2020	TanDEM-X, детальніша поверхня місцевості
8	NASADEM Global DEM	30 м	ЦММ (DSM)	2000 (оновлено 2014–2019)	Оновлений SRTM із виправленнями
9	Europe DTM 30 m (EU-DEM)	30 м	ЦМР (DTM)	~2000–2011	Не працює для твоєї території
—	FABDEM	—	ЦМР (DTM)	2000 (очищено 2021)	Відсутня у плагіні

Для порівняння ЦММ ↔ ЦММ (місцевість із об'єктами) можна використовувати наступні джерела з таблиці 1.9.

Таблиця 1.9

Порівняння ЦММ з ЦММ в OpenTopography

Пара порівняння	Що покаже	Примітки
SRTM 30 m (2000) ↔ ALOS World 3D 30 m (2006–2011)	Зміни місцевості (забудова, ліс, антропогенні зміни) між 2000 та 2010 рр.	Обидві DSM-моделі, радар/оптика, 30 м
SRTM 30 m (2000) ↔ Copernicus Global DSM 30 m (2011–2020)	Триваліший період (~20 років) розвитку населених пунктів і лісистості	Найкраще поєднання для об'єктивної оцінки ЦММ
NASADEM Global DEM (оновлений SRTM) ↔ Copernicus Global DSM 30 m	Порівняння з меншими артефактами, ніж оригінальний SRTM	Обидва DSM, висока сумісність

Серед наявних джерел для найбільш об'єктивної оцінки можна використати SRTM 30 m (2000) ↔ Copernicus Global DSM 30 m (2011–2020) — це найбільш коректне порівняння ЦММ з ЦММ із різницею у два десятиліття. Для порівняння ЦМР ↔ ЦМР (рельєф поверхні) можна використовувати наступні джерела з таблиці 1.10.

Таблиця 1.10

Порівняння ЦМР з ЦМР в OpenTopography

Для чого	Джерела
Стара ЦМР (~2000 р.)	FABDEM (30 m) – завантажити вручну з OpenTopography
Нова ЦМР (~2011–2020 рр.)	Copernicus DEM GLO-30 (DTM) – теж доступна через OpenTopography (або Copernicus Hub)

Серед наявних джерел для найбільш об'єктивної оцінки можна використати FABDEM (2000 очищений 2021) ↔ Copernicus DEM GLO-30 (2011–2020) — це найоб'єктивніше порівняння ЦМР з ЦМР. Підсумкова таблиця 1.11 виглядає наступною:

Таблиця 1.11

Підсумкова таблиця для порівняння

Мета	Тип	Перша модель	Друга модель	Коментар
Аналіз змін забудови, рослинності	ЦММ ↔ ЦММ	SRTM 30 m (2000)	Copernicus Global DSM 30 m (2011–2020)	Працює напряму у твоєму плагіні
Аналіз змін рельєфу (грунтової поверхні)	ЦМР ↔ ЦМР	FABDEM (2000 очищено 2021)	Copernicus DEM GLO-30 (2011–2020)	Завантажити вручну з OpenTopography
Резервний варіант ЦММ ↔ ЦММ		SRTM 30 m	ALOS World 3D 30 m	Якщо хочеш проміжний період (~2010 р.)

Висновки до розділа 1. У межах проведеного аналізу було встановлено, що плагін OpenTopography DEM Downloader є одним із найефективніших сучасних інструментів для створення цифрових моделей місцевості (ЦММ) у середовищі QGIS, оскільки забезпечує прямий доступ до 12 глобальних наборів цифрових моделей рельєфу (DEM/DTM/DSM) із просторовою роздільною здатністю до 30 метрів. Під час дослідження визначено, що дані різних джерел, доступних у плагіні, мають різну фізичну сутність і часову актуальність. Отже, використання OpenTopography DEM Downloader забезпечує оперативне, точне та методологічно коректне створення цифрових моделей місцевості (ЦММ) і рельєфу (ЦМР) для геопросторового аналізу території Чагорської громади, що є базою для подальших геоморфологічних, кадастрових та екологічних досліджень.

РОЗДІЛ II. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ В ЦІЛЯХ СТВОРЕННЯ ЦММ

2.1 Загальна фізико-географічна характеристика території дослідження

Територією дослідження в дипломній роботі є Чагорська територіальна громада, розташована в межах колишнього Глибоцького (нині — Чернівецького) району Чернівецької області (Рис.2.1).

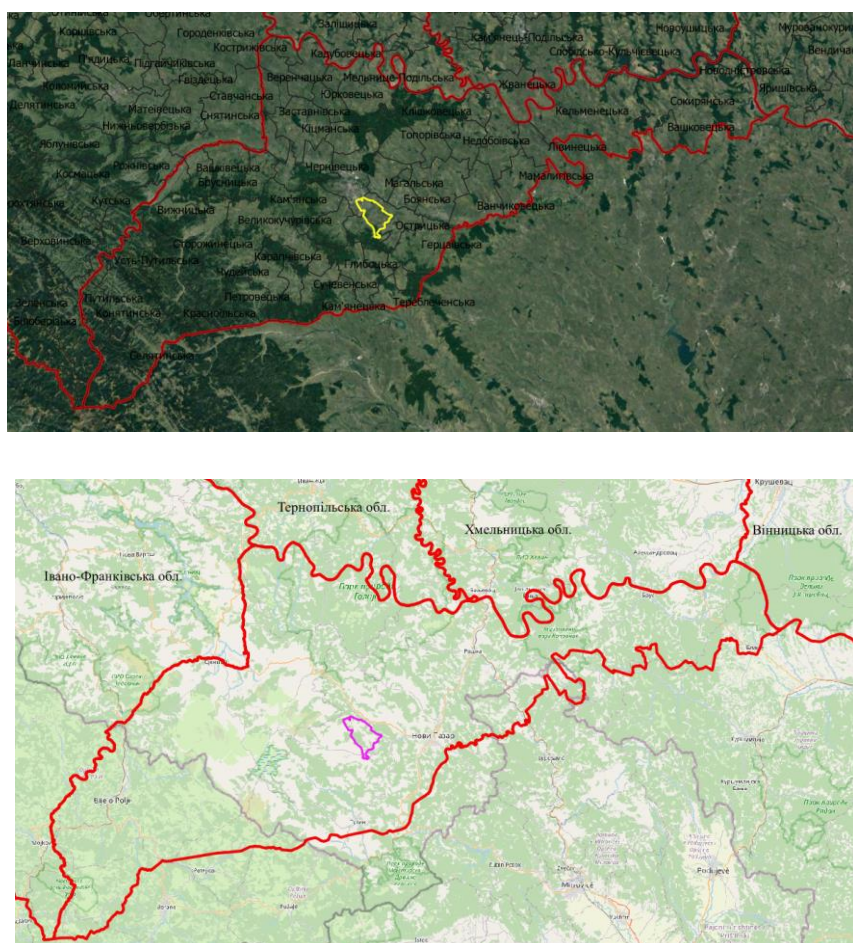


Рис. 2.1. Картосхема розташування Чагорської територіальної громади

Чагорська сільська територіальна громада — це адміністративно-територіальна одиниця України, центр якої знаходиться в селі Чагор. Загальна площа громади становить 50,25 км², чисельність населення — 14 160 осіб (станом на 2018 р.), середня густота населення — приблизно 202 осіб/км².

Таблиця 2.1

Кількість населення Чагорської територіальної громади в розрізі
адміністративних одиниць

№	Населений пункт	Населення
1	Кут	439
2	Луковиця	1412
3	Молодія	3851
4	Чагор	8458
5	Разом	14160

Громада утворена в результаті адміністративно-територіальної реформи 2019 року шляхом добровільного об'єднання Луковицької, Молодійської та Чагорської сільських рад колишнього Глибоцького району. Її створення затверджене відповідним рішенням Чернівецької обласної ради.

Природно-географічні умови. Територія громади розташована в межах Передкарпаття. Середні абсолютні висоти становлять 300–400 м н. р.м.

Клімат — помірно континентальний, із теплим літом, помірно холодною зимою та достатньою кількістю опадів. Кліматичні особливості зумовлені взаємодією атлантичних циклонів, які приносять вологе повітря, і континентальних антициклонів, що формують суху та холодну погоду взимку.

Середня температура січня — $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Середня температура липня — $+17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Тривалість теплового періоду ($t > +10\text{ }^{\circ}\text{C}$) — приблизно 165 днів.

Річна кількість опадів — 650–750 мм, із максимумом у червні–липні.

Сніговий покрив нестійкий.

Весняний перехід температури через 0 °C зазвичай спостерігається в другій декаді березня, а останні весняні заморозки припадають на 20–25 квітня. Перехід до літа відбувається в другій половині травня, коли середньодобова температура перевищує +15 °C [31].

Природні умови та ресурси. На території громади переважають букові ліси, у складі яких зустрічаються рідкісні види рослин — беладонна звичайна (*Atropa belladonna*), венерині черевички (*Cypripedium calceolus*), лунарія оживаюча (*Lunaria rediviva*), шафран Гейфелів (*Crocus heuffelianus*).

Фауна представлена як степовими, так і лісово-гірськими видами: заєць-русак, лисиця, сойка, зяблик, яструб, шуліка тощо.

Переважає лісостепова природно-кліматична зона, в якій основне господарське використання земель — сільськогосподарське. Ґрунтовий покрив утворений переважно дерново-підзолистими ґрунтами, які відзначаються родючістю, проте потребують агротехнічних заходів для збереження вологи та запобігання ерозії.

Корисні копалини представлені родовищами будівельних матеріалів — суглинків, глин, гравію, гальки, а також покладами мінеральних вод. Річкова сітка представлена невеликими притоками місцевого значення.

Гідрологічні та агрокліматичні умови. Ґрунтові води на підвищеннях залягають на глибині 15–20 м і не впливають на процеси ґрунтоутворення. У пониженнях рельєфу (днища балок) рівень ґрунтових вод знижується до 0,5–1,5 м, забезпечуючи додаткове зволоження.

Основне джерело вологи — атмосферні опади, які формують запаси ґрунтової вологи, від яких залежить ріст, розвиток і врожайність сільськогосподарських культур.

Для стабільного землекористування необхідним є впровадження заходів із протидії ерозії, нагромадження вологи та інтенсивного землеробства, що враховує зональні особливості агрокліматичних умов.

Загалом, рельєф території сприятливий для механізованого обробітку ґрунтів, посіву та збирання врожаю, що створює передумови для ефективного сільськогосподарського виробництва.

2.2 Існуючі тематичні векторизовані шари території досліджень

Через офіційний портал децентралізації України було завантажено векторизовані шари меж та об'єктів адміністративно-територіального устрою.

Надалі ці шари були імпортовані до програмного середовища QGIS із збереженням їх просторових і атрибутивних даних (рис. 2.2).

Можливості програмного комплексу QGIS дають змогу виокремити межі досліджуваної Чагорської територіальної громади та виконати аналіз її фізико-географічного положення з урахуванням просторових зв'язків.

В роботі у програмному продукті QGIS імпортовано космічні знімки дуже високої роздільної здатності. Роздільна здатність поданого космічного знімка — 0.5×0.5 метра на піксель. Це видно з параметра “Розмір пікселя: 0.5, -0.5” у властивостях файлу. Отже, просторова роздільна здатність знімка становить 50 см/піксель, тобто кожен піксель відображає ділянку місцевості розміром 0.5 м на 0.5 м у системі координат WGS 84 / UTM зона 35N (EPSG:32635).



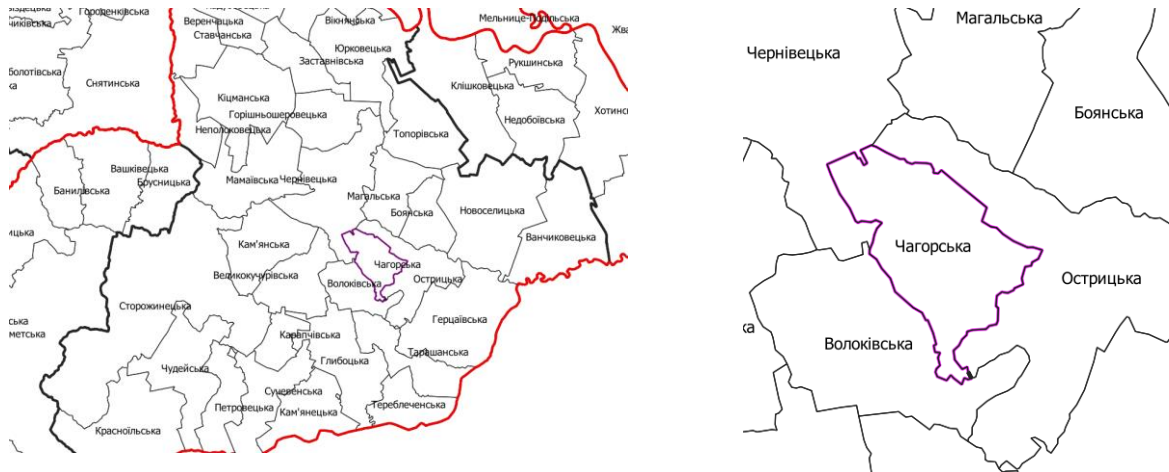


Рис. 3.2 Розміщення Чагорської територіальної громади відносно об'єктів адміністративно-територіального устрою

Отже, 0.5 м/піксель — це “дуже висока роздільна здатність”, яка: дозволяє розрізняти окремі об'єкти (будівлі, дороги, дерева); є достатньою для створення топографічних планів у масштабі до 1:5000 або навіть 1:2000; повністю придатна для створення цифрової моделі місцевості (ЦММ) та геодезичного аналізу (Рис. 2.3).

Виміри	X: 38738 Y: 38672 Канали: 3
Походження	425345.6214797417051159,5354133.1443110415711999
Розмір пікселя	0.5,-0.5

Система координат

Ім'я	EPSG:32635 - WGS 84 / UTM zone 35N
Одиниці	метри
Метод	Universal Transverse Mercator (UTM)
Celestial body	Earth
Точність	Based on <i>World Geodetic System 1984 ensemble</i> (EPSG:6326), which has a limited accuracy of at best 2 meters .
Reference	Dynamic (relies on a datum which is not plate-fixed)

Рис.2.3 Метадані космічного знімку

Використовуючи космічні знімки як картографічну основу, здійснено векторизацію окремих тематичних шарів. Одним із таких шарів, необхідних для подальшого геодезичного аналізу території та побудови цифрової моделі місцевості (ЦММ), стали межі населених пунктів.

У середовищі ГІС створено окремий полігональний шар, який відображає кордони сіл: Кут, Луковиця, Молодія, Чагор. (Рис. 2.4). Також

векторизовано головні автомобільні дороги та водні об'єкти у вигляді річок та водотоків територіальної громади.

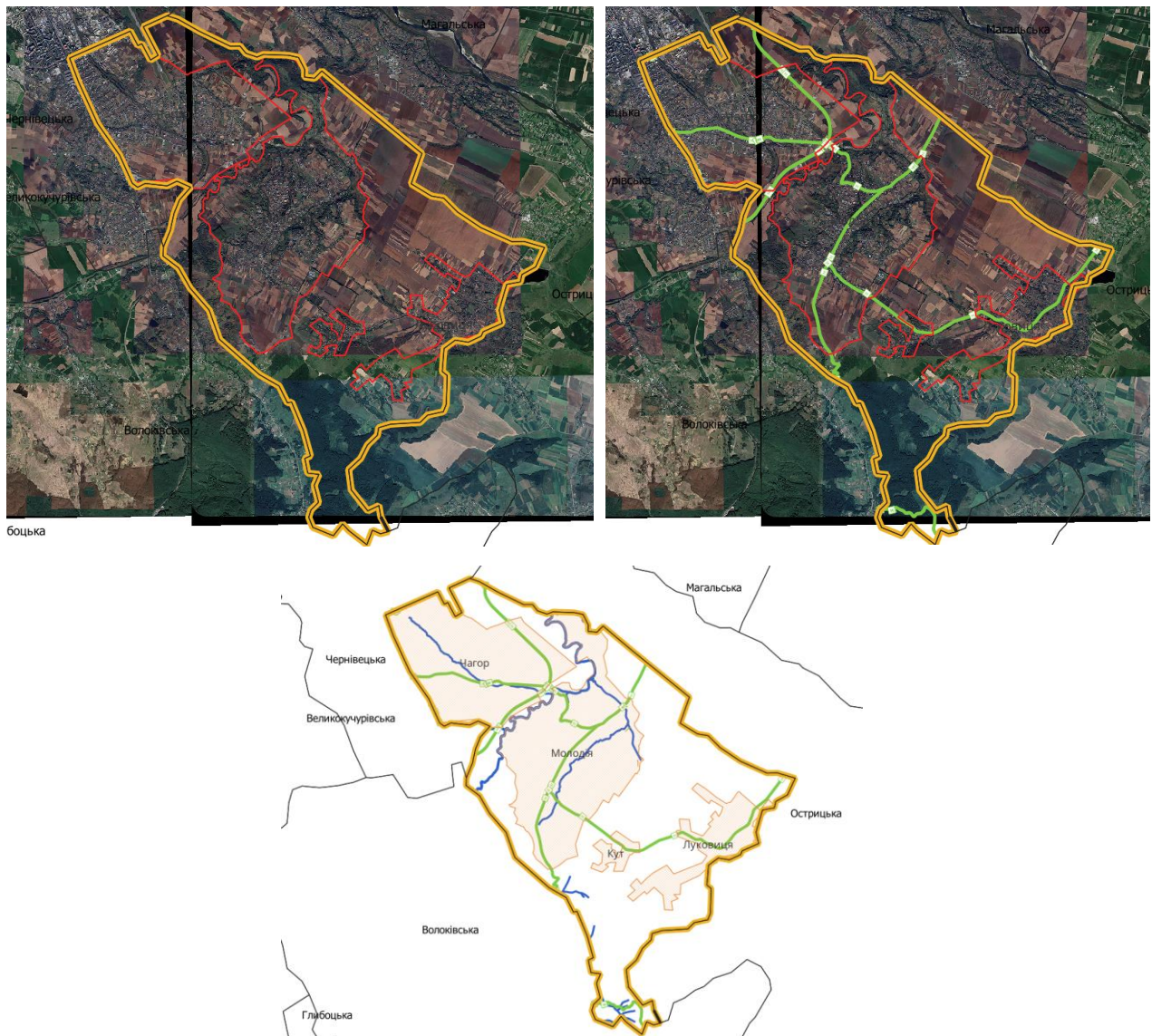


Рис. 2.4 Векторизовані межі населених пунктів, автодороги, водні об'єкти Чагорської територіальної громади

Також створено семантику, крім просторових даних, у вигляді назви населених пунктів.

2.3 Просторове поширення пунктів ДГМ території досліджень

Здійснено ГІС аналіз просторового розташування пунктів ДГМ для території Чагорської громади. На сьогоднішній день геопортал ДГМ є закритий через війну в країні. Як альтернатива може бути використанна

растрова основа у вигляді топографічної карти де зображено пункти ДГМ з їх абсолютними висотами. Одними із найдоступніших на безкоштовних сайтах мережі інтернет є топокарти масштабу 1:100 000. Останні вдалось імпортувати та здійснити геоприв'язку в ГІС для виявлення пунктів ДГМ.

Тому, після геокодування топографічної карти масштабу 1:100 000 та оверлейного аналізу її з межами адміністративно-територіальних одиниць є завдання дослідити просторовий аналіз та ідентифікувати пункти ДГМ на картах для території Чагорської громади (Рис.2.5).

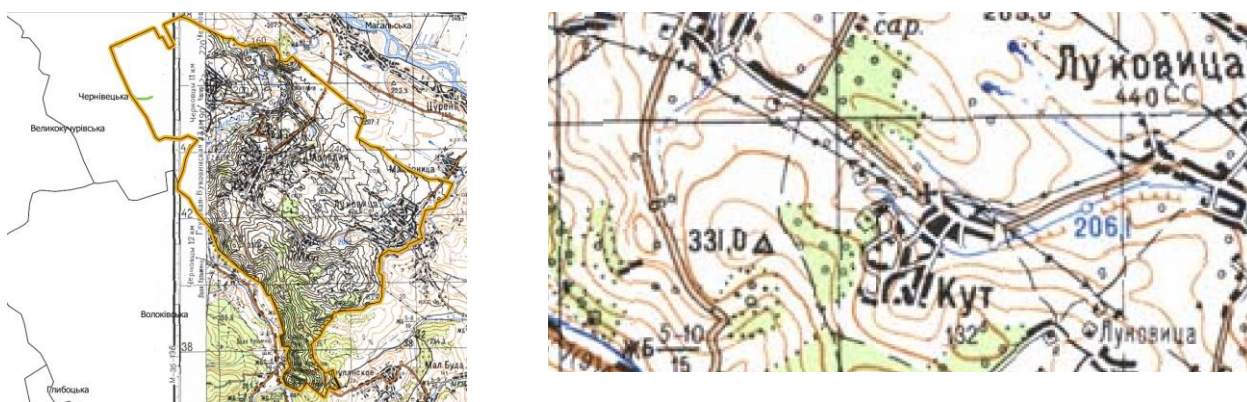


Рис.2.5 Прив'язана топографічна карта масштабу 1:100 000

У середовищі геоінформаційної системи було створено окремий тематичний шар, який відображає розташування пунктів державної геодезичної мережі (ДГМ) як на території дослідження, так і в межах прилеглої зони — на відстані до 4 км від її кордонів. Шар сформовано за допомогою інструментів створення точкових об'єктів програми QGIS, що дозволяє точно відобразити просторове положення пунктів із урахуванням їхніх координат.

Завдяки налаштуванню властивостей шару, для кожного об'єкта застосовано умовні позначення відповідно до вимог топографічних стандартів, що забезпечує коректне відображення пунктів ДГМ на картографічній основі.

Після геоприв'язки аркуша топографічної карти у межах території дослідження було ідентифіковано наявні пункти державної геодезичної мережі, що дозволило перевірити їх просторове положення та точність розміщення.

Звичайно, що представлення інформації, щодо пунктів ДГМ на топокарті не дозволяє стверджувати про високу точність їх розміщення. Тому, щоб підвищити об'єктивність дослідження використано просторові характеристики пунктів з сайту Державної геодезичної мережі України. Останнє дозволило візуально виявити неспівпадіння розташування пунктів ДГМ на топографічній карті з даними з офіційного сайту ДГМ України (Рис.2.6).



Рис.2.6 Неспівпадіння розташування пунктів ДГМ на топокарті і за даними ДГМ України



Рис. 2.7 Геодезичне забезпечення території Чагорської територіальної громад
Загальна кількість пунктів державної геодезичної мережі (ДГМ),

розташованих у межах Чагорської територіальної громади, становить три. До них належать: пункт ДГМ 2-го класу – Котул (південно-західна частина території дослідження), пункт 3-го класу – Кися та пункт розрядної мережі – 5708.

Поблизу меж громади, на її північному та східному напрямках, також знаходяться ще два пункти ДГМ 3-го класу – Остриця та Цурень.

З огляду на те, що площа громади становить 50,25 км², щільність пунктів ДГМ дорівнює 1 пункт на 16,75 км². Відповідно до «Основних положень створення пунктів державної геодезичної мережі», середня нормативна щільність має бути не меншою ніж 1 пункт на 30 км² [33, 39].

Отже, щільність пунктів ДГМ у межах Чагорської територіальної громади є задовільною та відповідає нормативним вимогам.

Крім того, програмне середовище QGIS, яке використовується у дипломній роботі, забезпечує можливість налаштування координатної сітки з відповідними підписами.

Додавання кілометрової сітки з підписами координат сприяє орієнтуванню на місцевості та полегшує інтерпретацію тематичних шарів (рис. 2.8).

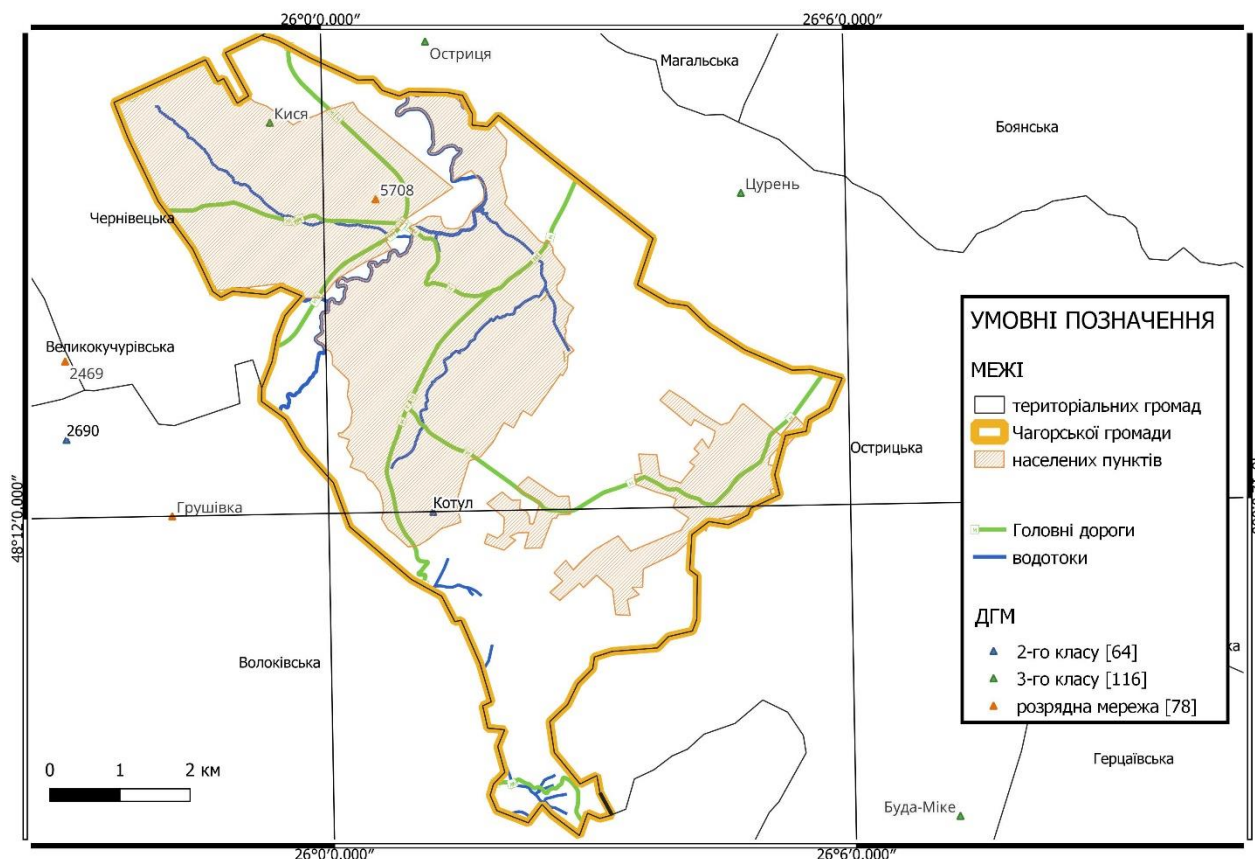


Рис. 2.8 Розташування пунктів ДГМ Чагорської територіальної громади

Виновки до розділу 2. Територіальна основа. Чагорська ТГ є компактною територією, зручною для детального ГІС-моделювання. Використано дані дуже високої роздільної здатності. Імпортований космічний знімок 0,5 м/пікс дозволяє точно векторизувати межі населених пунктів, дороги та водотоки; цього достатньо для контролю якості ЦММ і створення топопланів до масштабу 1:5000 (за наявності геодезичної прив'язки). Підготовлені векторні шари. Межі ТГ, межі населених пунктів, автодороги й водні об'єкти створюють повноцінну топооснову для маскування, кліпінгу та зонального аналізу результатів ЦММ.

РОЗДІЛ III. ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ЦММ ДЛЯ ЧАГОРСЬКОЇ ГРОМАДИ

3.1 Створення цифрової моделі місцевості території громади за даними SRTM.

У межах дипломної роботи було проведено аналіз території Чагорської територіальної громади шляхом створення цифрової моделі місцевості (ЦММ) із використанням даних місії SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

SRTM — це міжнародна місія зі збору даних цифрової моделі рельєфу земної поверхні, що відбулася у лютому 2000 року. Зйомка проводилася з борту американського космічного корабля багаторазового використання «Шаттл». Для отримання просторових даних використовувалась радарна інтерферометрична технологія, яка базувалася на двох радіолокаційних сенсорах — SIR-C та X-SAR, встановлених на борту апарата.

Отримані в результаті місії дані лягли в основу глобальної цифрової моделі рельєфу (SRTM DEM), яка охоплює майже всю поверхню Землі. Завдяки відкритому доступу до цих даних, створення ЦММ у середовищі ГІС QGIS є відносно простим і не потребує додаткового спеціалізованого обладнання.

Побудова ЦММ на основі SRTM-даних може здійснюватися двома основними способами:

2. Імпорт висотних даних із відкритих веб-ресурсів, зокрема з архівів Геологічної служби США (USGS), яка надає безкоштовний доступ до наборів даних через геопортал EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>);
3. Безпосереднє завантаження даних через відповідні інструменти або плагіни у програмному середовищі QGIS.

У першому випадку користувач повинен пройти реєстрацію на порталі EarthExplorer, після чого можна здійснити завантаження даних. Для цього необхідно:

- за допомогою інтерактивного курсора обрати межі Чагорської територіальної громади;
- у вкладці “Data Sets” відкрити групу Digital Elevation → SRTM;
- обрати набір даних SRTM 1 Arc-Second Global, який забезпечує роздільну здатність близько 30 метрів;
- у вкладці “Results” переглянути доступні тайли й візуально перевірити покриття території дослідження перед завантаженням.

Отримані дані після завантаження можуть бути імпортовані до QGIS, де виконують подальшу обробку, аналіз і побудову цифрової моделі рельєфу Чагорської громади (Рис.3.1).

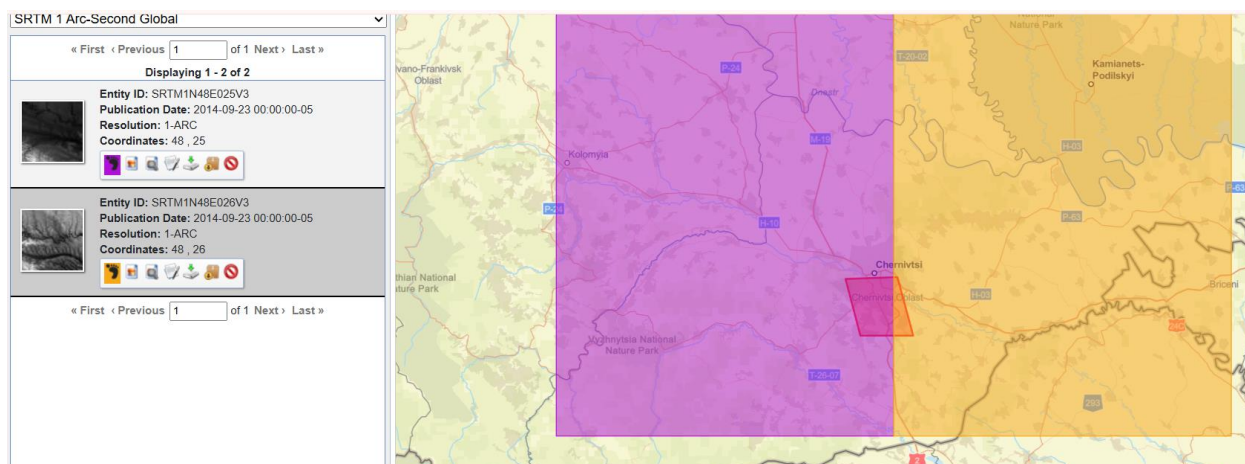


Рис.3.1 Візуалізація вікна відображення пошуку даних SRTM

У вікні, що відкривається після виклику команди імпорту, необхідно обрати інструмент завантаження файлу. Після підтвердження операції слід вказати формат збереження даних — *.tiff* і вибрати тип файлу GeoTIFF (1 Arc-Second), який містить висотну інформацію з місії SRTM (Рис.3.2).

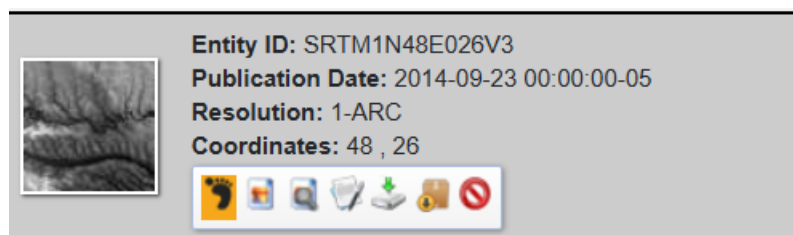


Рис.3.2 Набір можливих інструментів SRTM

Імпорт та оброблення даних SRTM у середовищі QGIS. Із геопорталу EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) необхідно імпортувати растрові дані SRTM із потрібною просторовою роздільною здатністю. Після завантаження файлу у форматі GeoTIFF його можна відкрити та додати до проекту QGIS як растровий шар. Це дає можливість візуалізувати рельєф території, де кожен піксель зображення відображає середню висоту місцевості у метрах. При цьому темні тони позначають ділянки з нижчими відмітками, а світлі — території з вищим рельєфом.

Для спрощення процесу імпорту рекомендовано використовувати плагін “SRTM Downloader” у середовищі QGIS. Цей інструмент дозволяє визначати межі потрібної території за допомогою карти або введення координат, а також автоматично виконувати завантаження та пошук відповідних знімків SRTM.

Оскільки дані місії SRTM подаються у вигляді окремих тайлів, для дослідження території громади може знадобитися кілька растрових файлів, які потрібно об’єднати в один суцільний шар.

Це виконується за допомогою команди Растр → Різне → Конструювати віртуальний растр (Build Virtual Raster), що створює зведений растровий шар без втрати роздільної здатності.

У разі, якщо імпортовані SRTM-знімки мають іншу систему координат або проекцію, ніж базові ортофотоплани проекту, необхідно виконати перепроєктування растру через інструмент

Растр → Проекція → Перепроєктування (Warp / Reproject).

У параметрах інструмента слід:

- зазначити цільову систему координат (наприклад, *EPSG:32635* — *WGS 84 / UTM Zone 35N*);
- встановити роздільну здатність вихідного растру — 30 метрів;
- вказати шлях збереження та назву файлу у форматі .tif (GeoTIFF).

У результаті виконання цих кроків формується єдина цифрова модель місцевості (ЦММ), яка дозволяє отримати детальну інформацію про рельєф Чагорської територіальної громади та наочно відобразити її у середовищі QGIS (рис. 3.7–3.8).

Обробка та візуалізація даних цифрової моделі місцевості. У даному дослідженні розглянуто основні етапи обробки растрових даних, отриманих після побудови цифрової моделі місцевості (ЦММ).

Відповідно до методичних рекомендацій, на початковому етапі необхідно обрізати зображення, залишивши лише потрібну ділянку території.

Це здійснюється за допомогою інструмента «Вирізати растр за областю» (Clip Raster by Extent).

Після вибору вихідного файлу слід визначити область обрізки, яку можна задати за допомогою параметра “Протяжність карти” або вибором прямокутної рамки безпосередньо на карті.

Отриманий фрагмент зберігається як новий растровий файл, який буде використано для подальшої обробки.

Наступним етапом є усунення похибок у висотній моделі, пов’язаних із наявністю замкнених западин (депресій), що перешкоджають правильному моделюванню стоку води та аналізу рельєфу.

Для цього застосовується функція «Заповнення заглиблень» (Fill Sinks / Fill Depressions), що виконує корекцію поверхні растру.

У налаштуваннях цього інструмента необхідно: вказати вихідний файл (матрицю висот), до якого застосовується операція; задати шлях і назву нового коригованого файлу для збереження результатів.

Після виконання попередніх операцій здійснюється візуалізація цифрової моделі місцевості.

Для покращення наочності та інтерпретації даних рекомендується змінити відображення з чорно-білого на кольорове.

Це виконується шляхом встановлення параметрів у властивостях шару: тип візуалізації: одноканальна псевдокольорова (Singleband pseudocolor); градієнт: топографічний (Topographic); інтерполяція: лінійна або дискретна; кількість кольорових класів: відповідно до деталізації моделі (10–20 класів).

Такий підхід дає змогу створити наочне топографічне зображення рельєфу, де кольорова шкала відображає зміну висот на досліджуваній території (рис. 3.3).

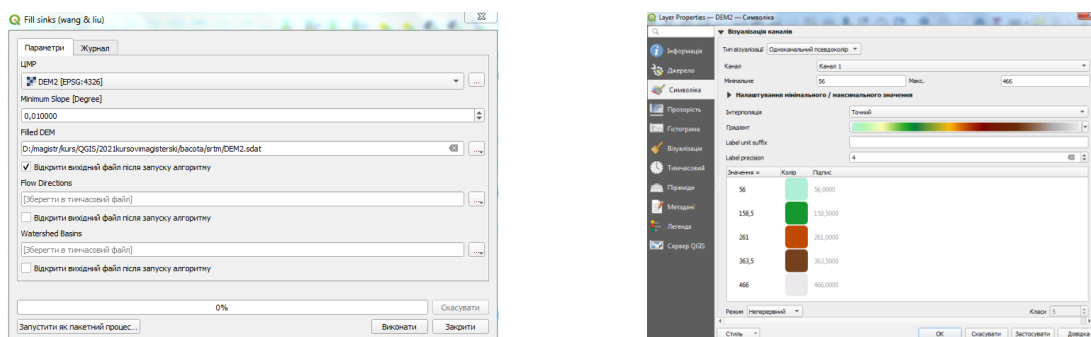


Рис. 3.3 Налаштування ЦММ у вікні інструменту Fill sinks (wang and liu), символіки та типу візуалізації.

Створення тіньової відмивки рельєфу. Для підвищення наочності відображення рельєфу та виявлення морфологічних особливостей поверхні рекомендується створити тіньову відмивку (hillshade). Для цього слід продублювати вихідний растровий шар ЦММ, скориставшись контекстним меню шару та обравши опцію «Створити копію шару» (Duplicate Layer).

У новоствореному шарі необхідно перейти до властивостей шару та в полі «Render type» (Тип візуалізації) обрати режим «Відмивання» (Hillshade).

Цей тип відображення дозволяє отримати об'ємну візуалізацію рельєфу, в якій завдяки імітації падіння сонячного світла формується ефект тіней.

Для досягнення реалістичного результату можна задати:

- азимут Сонця (напрямок падіння світла, у градусах);
- висоту Сонця над горизонтом, що визначає кут освітлення поверхні.

Зміна цих параметрів дає змогу візуально моделювати освітлення території, що суттєво полегшує сприйняття форм рельєфу та орієнтацію на місцевості. Отримана тіньова відмивка надає цифровій моделі реалістичного вигляду (рис. 3.4).

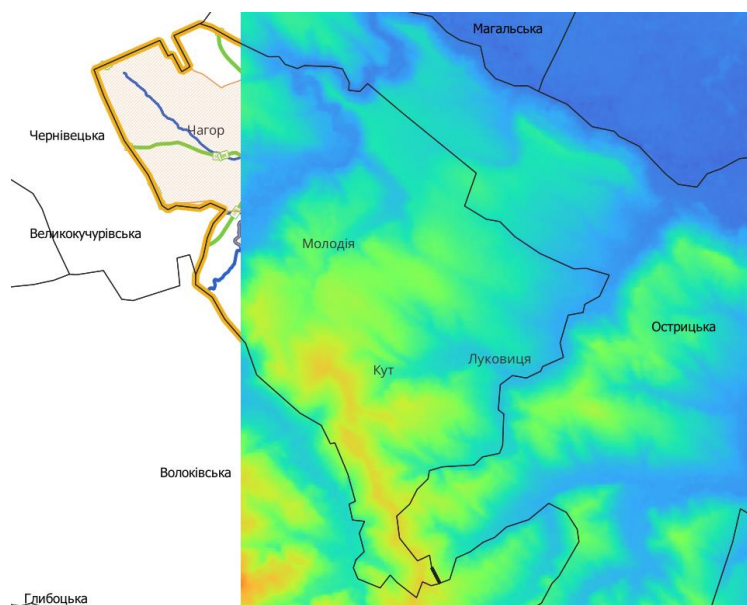


Рис. 3.4 Створена та візуалізована цифрова модель місцевості

Отримана цифрова модель місцевості (ЦММ) представлена у растровому форматі, що не завжди забезпечує достатню наочність при детальному аналізі висотних відмінностей.

Для покращення візуалізації поверхні території та подальшої векторизації даних доцільно створити горизонталі (ізолінії) для території Чагорської територіальної громади.

Побудова горизонталей виконується за допомогою інструмента Растр → Видалити → Горизонталі (Raster → Extraction → Contour), де задаються параметри формування ізоліній. Основним параметром є інтервал між горизонталями, який визначає висотний крок між сусідніми ізолініями. Значення цього параметра обирається відповідно до масштабу майбутньої карти.

Після побудови шару горизонталей можна налаштувати його візуальні параметри: змінити колір ліній на чорний, задати товщину контурів та стиль відображення (рис. 3.5). Це значно підвищує читабельність карти та дозволяє ефективно поєднувати отриманий шар із іншими векторними та растровими даними.

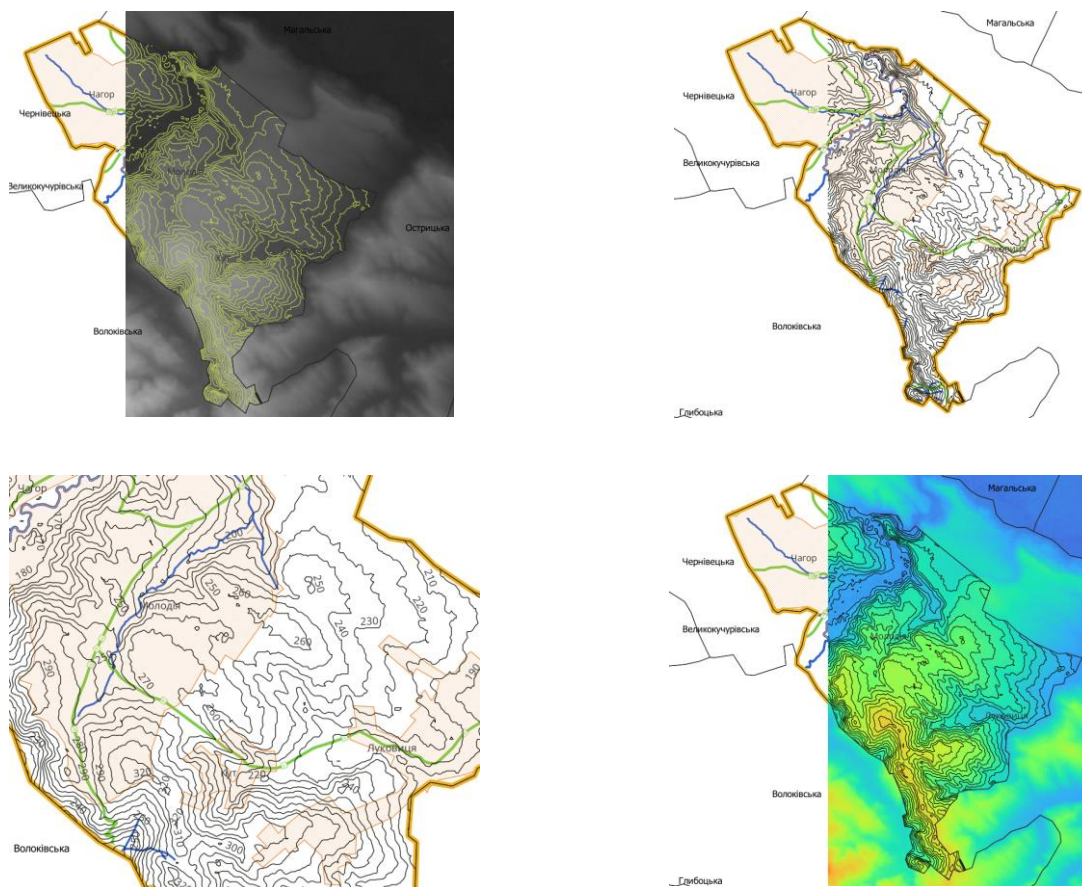


Рис.3.5 Утворений лінійний рельєф ЦММ завдяки горизонталям для території Чагорської територіальної громади в середовищі QGIS

3.2 Порівняння ЦММ за різними джерелами даних.

Створення ЦММ для території може здійснюватись за даними різних джерел даних. Зокрема плагін OpenTopography DEM Downloader ГІС QGIS дозволяє створити такі ЦММ по більш ніж за 12 джерелами даних різної роздільної здатності. Виникає природне питання – яке джерело даних найбільш близьке до істинних величин та візуального представлення найбільш точної ЦММ. Тому в роботі створено та проаналізовано різні ЦММ за 12 джерелами глобальних даних.

Для порівняння ЦММ ↔ ЦММ (місцевість із об'єктами) можна використовувати наступні джерела в OpenTopography з таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Порівняння ЦММ з ЦММ в OpenTopography

Пара порівняння	Що покаже	Примітки
SRTM 30 m (2000) ↔ ALOS World 3D 30 m (2006–2011)	Зміни місцевості (забудова, ліс, антропогенні зміни) між 2000 та 2010 рр.	Обидві DSM-моделі, радар/оптика, 30 м
SRTM 30 m (2000) ↔ Copernicus Global DSM 30 m (2011–2020)	Триваліший період (~20 років) розвитку населених пунктів і лісистості	Найкраще поєднання для об'єктивної оцінки ЦММ
NASADEM Global DEM (оновлений SRTM) ↔ Copernicus Global DSM 30 m	Порівняння з меншими артефактами, ніж оригінальний SRTM	Обидва DSM, висока сумісність

Серед наявних джерел для найбільш об'єктивної оцінки можна використати SRTM 30 m (2000) ↔ Copernicus Global DSM 30 m (2011–2020) — це найбільш коректне порівняння ЦММ з ЦММ із різницею у два десятиліття.

Отже було створено ЦММ за даними джерела Copernicus Global DSM 30 m (2011–2020) (Рис.3.6). Проведено горизонталі для території досліджень по ЦММ, як і в попередньому випадку, через 1 метр.

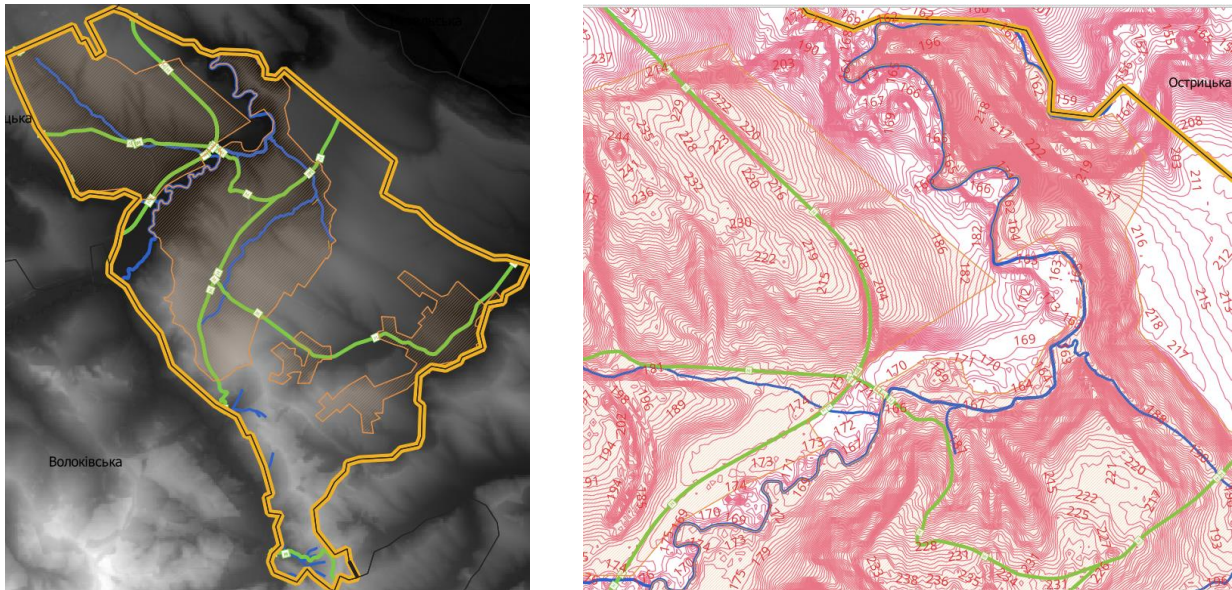


Рис. 3.6 ЦММ за даними джерела Copernicus Global DSM 30 m

Маючи дві ЦММ можна здійснити їх порівняння і визначити кількісні показники. Перед обчисленням важливо, щоб обидва DEM:

- мали однакову проєкцію (наприклад, *EPSG:32635 – WGS 84 / UTM zone 35N*);
- покривали однакову територію (один extent).

◆ Якщо вони різні: потрібно використати Растр → Проекції → Перетворити (Reproject Raster). Потім обрізати Растр → Вилучення → Обрізати за діапазоном (Clip raster by extent).

Далі потрібно відкрити калькулятор растрів у меню: Растр → Калькулятор растрів (Raster Calculator). Далі ввести формулу для різниці висот. У вікні калькулятора ввести: "CopernicusDSM30@1" - "SRTM30@1". Де:

- "CopernicusDSM30@1" — це шар Copernicus (новіший, 2011–2020 рр.),
- "SRTM30@1" — старіший шар (2000 р.),
- @1 означає перший канал растра.

Результат: різниця висот у метрах (Рис.3.7).

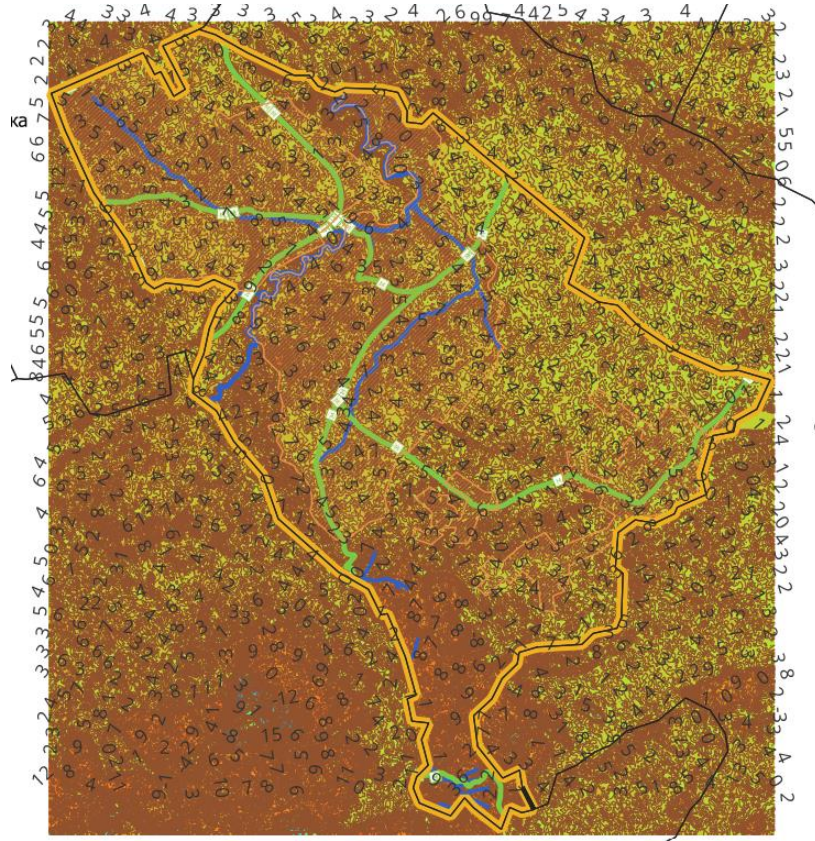


Рис.3.7 Результат "CopernicusDSM30@1" - "SRTM30@1" з візуалізованими горизонталями через 1 метр.

Позитивні значення характеризують підвищення (нові насипи, споруди). Негативні - зниження (кар'єри, вирубки, ерозія, русла річок).

Далі потрібно вказати параметри виходу: Output layer: вибрати шлях і назву, наприклад diff_SRTM_Copernicus.tif. Output format: GeoTIFF. Натиснути ОК.

Після створення шару відкрити Властивості шару → Символіка. Змінити тип відображення на Singleband pseudocolor (одноканальна кольорова шкала), установити діапазон значень, наприклад:

- від -10 м до +10 м, щоб бачити реальні зміни.

Можна вибрати кольори:

- сині відтінки — зниження,
- червоні — підвищення.

Щоб кількісно оцінити зміни потрібно:

- використати Processing → Toolbox → Raster layer statistics,
- або Растр → Аналіз → Zonal statistics (за полігонами).

Тоді отримаємо середню, мінімальну, максимальну зміну висот по вибраній зоні.

Для оцінки вертикальних змін місцевості між двома часовими зрізами побудовано різницевий шар висот за формулою:

$$\Delta h = h_{\text{Copernicus}} - h_{\text{SRTM}} \quad (1)$$

де $h_{\text{Copernicus}}$ - абсолютні відмітки за моделлю Copernicus Global DSM (2011–2020 рр.), а h_{SRTM} - відмітки за моделлю SRTM (2000 р.). Отриманий растр відображає позитивні та негативні зміни рельєфу місцевості протягом двадцятирічного періоду.

Завдяки можливостям ГІС можна проаналізувати вертикальні зміни місцевості між двома часовими зрізами. Останнє можна виконати вибравши Zonal statistics” (статистика за полігонами). Ця функціональна можливість не використовується для піксель-до-піксельного порівняння двох ЦММ (вона потрібна, коли є полігони, наприклад межі громад). Тому можна подивитись статистику по межах громади. Інструмент Zonal statistics (українською — «Статистика за зонами») не в меню “Растр”, а в Панелі інструментів обробки (Processing Toolbox). Для того, щоб знайти Zonal Statistics у QGIS потрібно у головному меню натиснути Обробка → Панель інструментів обробки (або скорочено натисни клавішу *Ctrl + Alt + T*). Відкриється права бокова панель (Processing Toolbox). У верхньому полі пошуку слід написати: zonal. З’явиться інструмент: Raster analysis → Zonal statistics (Statistics by zones) або українською: Аналіз растрів → Статистика за зонами. Також даний інструмент можна знайти через панель “Обробка даних” у головному меню натиснути Обробка даних → Інструменти аналізу растрів → Zonal statistics (у деяких перекладах QGIS цей пункт називається «Статистика по зонам»

або «Растрова статистика за полігонами»). Після відкриття вікна інструмента варто внести наступні дані (Табл.3.2):

Поле	Що вибрати
Растровий шар	твій шар із різницею висот, наприклад DEM_difference.tif
Зональний шар (вектор)	полігональний шар меж громади, району або ділянок
Атрибут полігона для ідентифікації	наприклад, NAME або ID
Вихід	створюється новий вектор, у якому для кожного полігона додаються поля mean, min, max, stddev — статистика за висотою

Після проведених дій ми отримали результат статистичного аналізу (Рис.3.8).

id	_count	_sum	_mean	_median	_stddev	_min	_max	_range	_minority	_majority	_variety	_variance
1	78780.00000000...	319971.516693...	4.06158310095...	3.57743835449...	2.83309385527...	-22.1977539062...	24.8221435546...	47.0198974609...	-22.1977539062...	3.000000000000...	71778.00000000...	8.02642079277...

Рис.3.8 Результат статистичного аналізу вертикальних змін місцевості між двома часовими зрізами

Це — результат зональної статистики по шару громади, і ці поля вже містять повний набір статистичних показників різниці висот між Copernicus DSM (2011–2020) та SRTM (2000).

Таблиця 3.3

Розшифрування полів атрибутної таблиці

Поле	Значення	Пояснення
_count	78 780	Кількість пікселів DEM у межах громади ($\approx 78\,780 \times 30 \text{ м} \times 30 \text{ м} \approx 70,9 \text{ км}^2$).
_sum	319 971.5	Сума всіх різниць висот (у метрах).
_mean	4.06 м	Середня різниця висот: Copernicus на $\approx 4,1$ м вище, ніж SRTM. Це головний результат!
_median	3.58 м	Медіана (серединне значення) — підтверджує стабільне зміщення вверх.
_stddev	2.83	Стандартне відхилення — коливання різниць у межах $\pm 2,8$ м, тобто помірна варіація рельєфу.
_min	-22.20 м	Мінімальна різниця: місця, де SRTM показує більшу висоту (можливо, помилка або кар'єр, яма, заплави).
_max	24.82 м	Максимальна різниця: ділянки, де Copernicus значно вище — можливо, ліси, насипи, антропогенні зміни.

Поле	Значення	Пояснення
_range	47.02	Діапазон значень — повна варіація висот між мінімумом і максимумом.
_variance	8.03	Дисперсія — квадрат стандартного відхилення, підтверджує стабільну варіацію.

Таким чином за результатами аналізу зональної статистики різниці висот між цифровими моделями місцевості, створеними на основі даних SRTM (2000 р.) та Copernicus Global DSM (2011–2020 pp.), для території Чагорської територіальної громади середнє значення різниці становить 4,06 м. Це свідчить про підвищення цифрових висот у новішій моделі, що зумовлено оновленням поверхні місцевості (наявністю рослинності, забудови, удосконаленням методів радарного зондування). Стандартне відхилення значень (2,83 м) вказує на помірну неоднорідність рельєфу громади.

В роботі проведено аналіз просторових змін різниці висот між цифровими моделями місцевості (Рис.3.9)

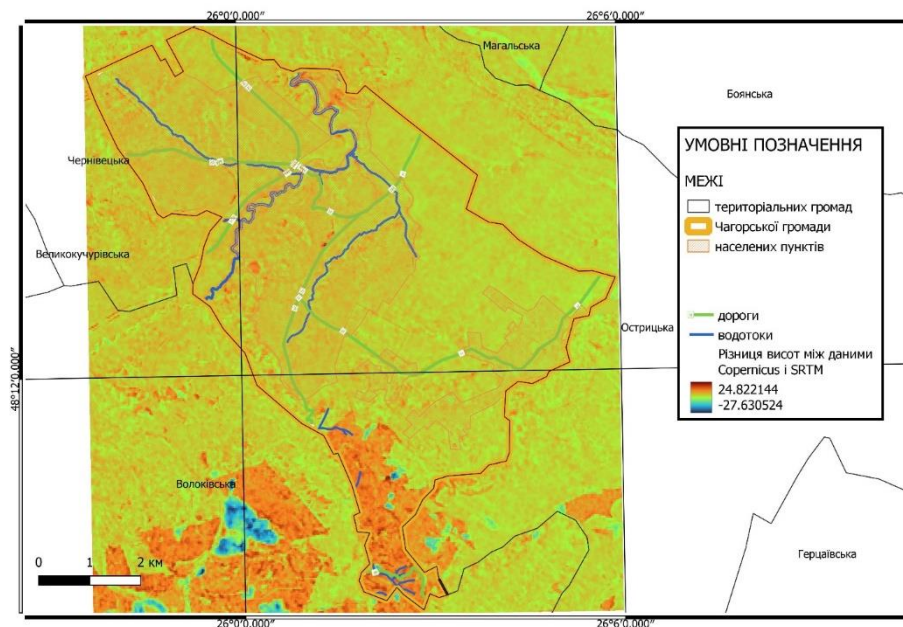


Рис. 3.9 Різниця висот між цифровими моделями місцевості SRTM (2000 р.) та Copernicus Global DSM (2011–2020 pp.)

Найбільші та локальні найменші зміни по висоті характерні для південної частини громади. Як показують геодані космознімка для цієї території притаманні ліси, саме тому і виявлено найбільші (ріст дерев) та найменші (вирубка) зміни по висоті (Рис.3.10)

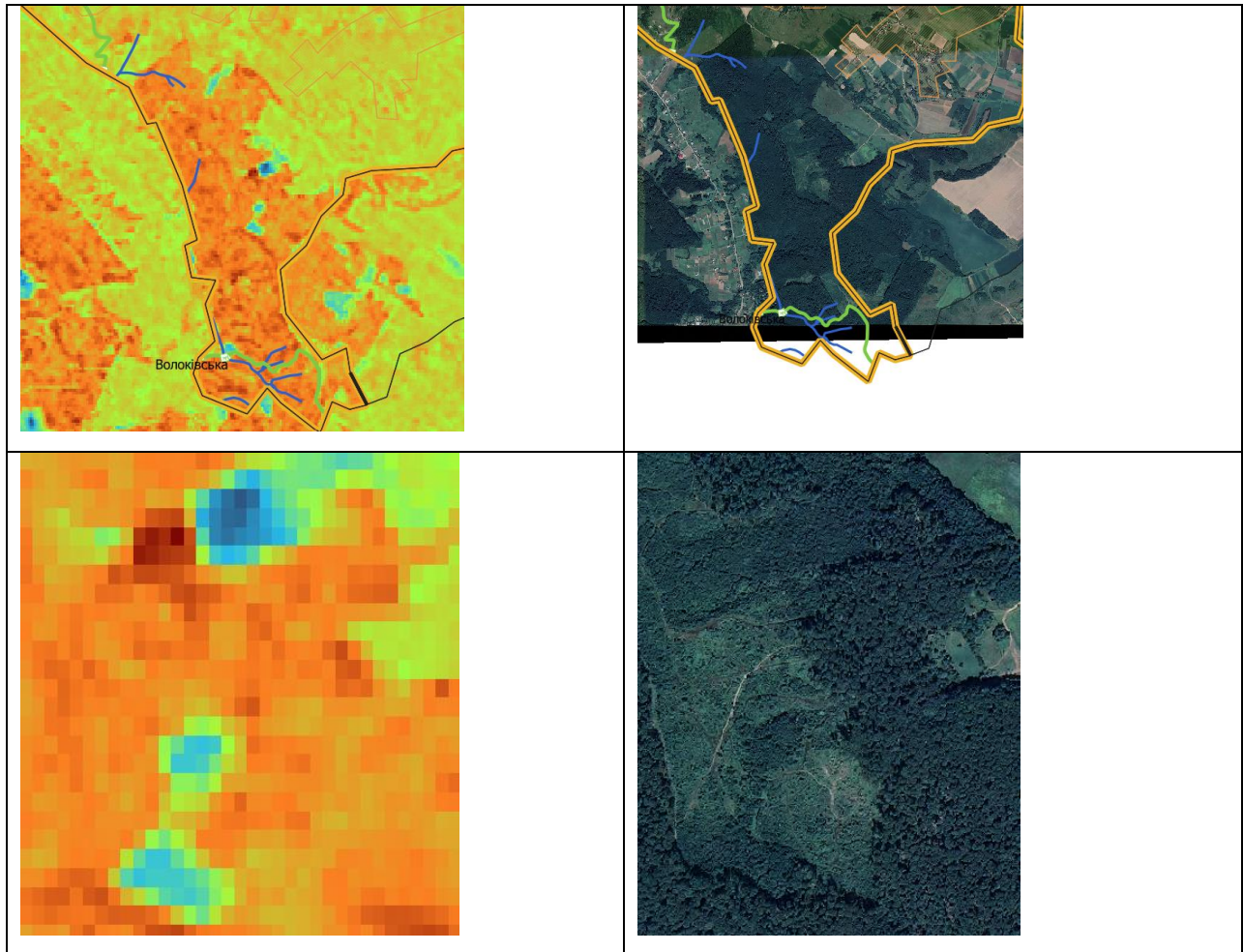


Рис.3.10 Максимальні та мінімальні зміни по висоті між цифровими моделями місцевості SRTM (2000 р.) та Copernicus Global DSM (2011–2020 рр.).

3.3 Використання ЦММ в геодезичних цілях.

Отриману ЦММ можна використовувати в різних цілях, зокрема в геодезичних. Як приклад з ЦММ можна отримати як горизонталі так і окремі висотні точки для території досліджень. Окремо можна створити та налаштувати висотні точки для конкретних ділянок, вулиць, майданчиків

населених пунктів. Так, для населеного пункту с.Чагор в якому векторизовано осі вулиць можна створити точкові об’єкти вздовж осей через різний інтервал.

Спочатку варто обрати геооб’єкти для території, що цікавить. Можна скористатись інструментом розміщеним у “Обробка даних” - “Панель інструментів обробки” – “Векторна вибірка” – “Вибрати за розташуванням”. У вікні, що відкриється варто обрати у верхній частині векторизований шар осі вулиць, у геометричному предикаті поставити галочку в пункті – Перетинати, а в нижній частині обрати векторизований шар з яким варто порівняти та підтвердити вибір (Рис. 3.11).

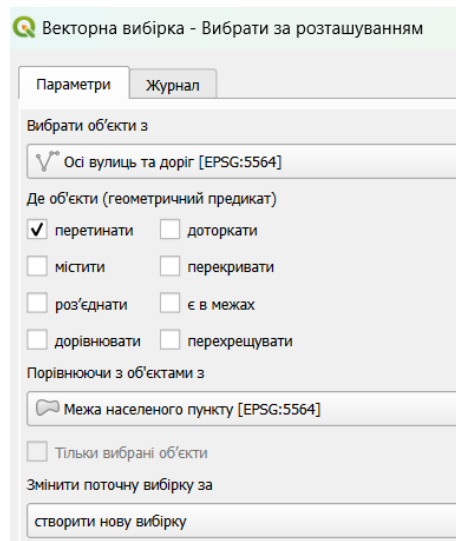


Рис. 3.11 Налаштування вибору геооб’єктів за розташуванням

Далі необхідно присвоїти координату Z виділеним осям. В “Обробка даних” - “Панель інструментів обробки” – “Векторна геометрія” обрати інструмент Drape (set Z value from raster). У вікні, що відкриється потрібно обрати вхідний шар, растровий шар (ЦМР) та запустити обробку. Таким чином утвориться векторний шар із значенням по висоті Z. Після чого слід утворити вузлові точки вздовж лінійної геометрії використавши “Обробка даних” - “Панель інструментів обробки” – “Векторна геометрія” – “Створити

шар з вершин”. Де вказати попередньо утворений векторний шар із значенням по висоті Z та запустити обробку даних (Рис.3.12).

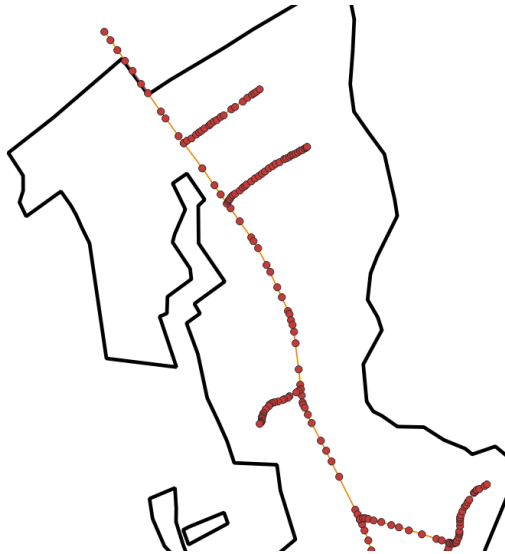


Рис. 3.12 Створення вузлових точок вздовж лінійної геометрії вулиць центральної частини с.Чагор

Для створеного векторного шару потрібно відкрити таблицю атрибутів та викликати калькулятор відкритого поля. Поставити галочку у полі “Створити нове поле”, у полі ім’я вказати назву (наприклад Z), а в полі для виразів вказати `round ( z( $geometry ),3 )`, що означає створення нової колонки за назвою z для геометрії, заокругливши до 3 знаків після коми (Рис.3.13).

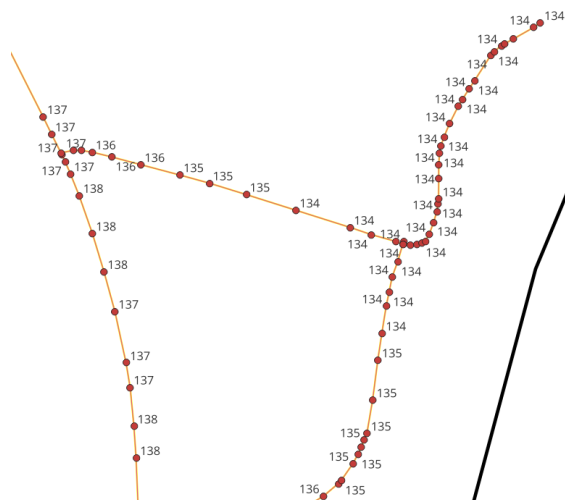


Рис.3.13 Створення підписаних вузлових точок вздовж лінійної геометрії

Візуалізовані дані показують нерівномірне розташування вершин вздовж лінійних об'єктів, тому можна використати інший спосіб створення рівномірного положення вузлових точок вздовж лінійної геометрії. Для цього необхідно, як в першому випадку, виділити векторизовані осі вулиць та утворити вузлові точки вздовж лінійної геометрії використавши “Обробка даних” - “Панель інструментів обробки” – “Векторна геометрія” – “Точки вздовж геометрії”. Де вказати векторний шар осей вулиць та вказати на якій відстані вузлові точки будуть розташовані та запустити обробку даних (Рис.3.14).



Рис. 3.14 Створення рівномірно розташованих вузлових точок вздовж лінійної геометрії вулиць центральної частини с.Чагор

В “Обробка даних” - “Панель інструментів обробки” – “Векторна геометрія” обрати інструмент *Drape (set Z value from raster)*. У вікні, що відкриється потрібно обрати вхідний шар, растровий шар (ЦМР) та запустити обробку. Таким чином утвориться векторний шар із значенням по висоті *Z*. Далі для створеного векторного шару потрібно відкрити таблицю атрибутів та викликати калькулятор відкритого поля. Поставити галочку у полі “Створити нове поле”, у полі ім'я вказати назву (наприклад *Z*), а в полі для виразів вказати `round ( z( $geometry ),3 )`. Таким чином, створяться рівномірно розташовані вузлові точки вздовж лінійної геометрії з підписами (Рис.3.15).



Рис. 3.15 Створення рівномірно розташованих вузлових точок з підписами висот вздовж лінійної геометрії центральної частини с.Чагор

ЦМР використовується для різних цілей в тому числі для визначення інженерно-будівельних умов, зон затоплення, визначення меж басейнів водозбору для оптимального розміщення та розрахунку потужностей каналізаційних мереж і т. ін.

Завдання полягало у побудові карти крутизни схилів для території, що досліджується для визначення зон, сприятливих для будівництва. Так як Чагорська громада знаходиться в безпосередній близькості з м.Чернівці, то актуальність та темпи забудови на території громади збільшуються з кожним роком.

Створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР) за допомогою ГІС-технологій може відбуватись завдяки оцифруванню горизонталей території досліджень. Якщо є у векторному форматі точкові і лінійні геооб'єкти, то важливо створювати ЦМР по однотипних за геометрією геооб'єктах. Тому, точкові об'єкти – позначки висот і лінійні об'єкти – горизонталі необхідно перетворити у однаковий вид геометрії, наприклад точковий. Послідовність виконання зазначена нижче.

Відкривши векторизований шар з горизонталями необхідно через меню “Обробка даних” обрати “Панель інструментів обробки” і у запропонованому списку обрати “Векторна геометрія” – “Створити шар з вершин”. У вікні, що

відкриється необхідно обрати для якого шару потрібно здійснити створення шару з вершин – тобто для горизонталей. Отримаємо векторизований шар точкових об'єктів на горизонталях, причому кожна точка показує абсолютну висоту території (Рис.1.а).

Також можна використати інший інструмент - “Векторна геометрія” – “Точки вздовж геометрії”. Цей інструмент дозволяє розмістити точки вздовж горизонталей через однакову відстань, також можна налаштувати розміщення точок не на самій лінії горизонталей, а на певній відстані (Рис. 3.16).

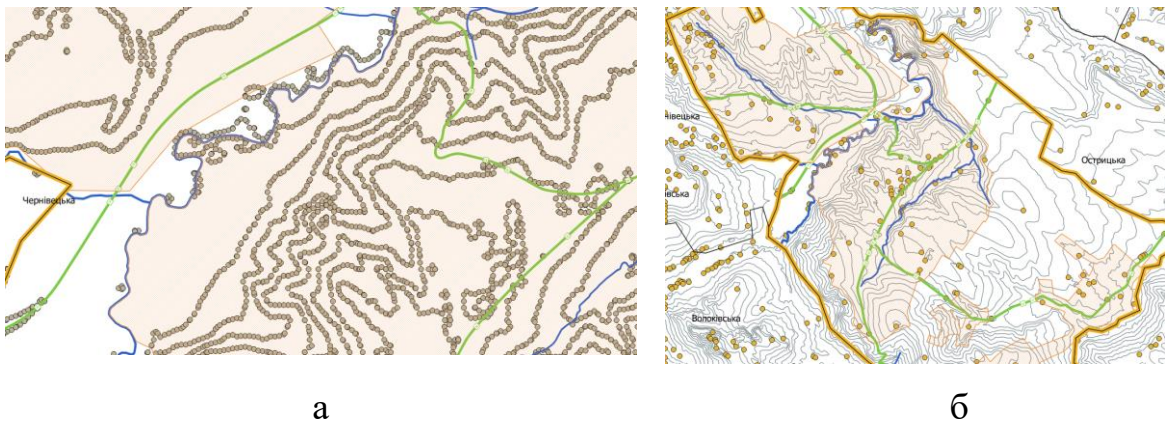


Рис. 3.16 Створення точкових об'єктів з лінійних інструментами QGIS

Далі необхідно здійснити об'єднання двох окремих точкових шарів у один спільний шар. Для цього можна використати інструмент Merge vector layers (він розміщений “Обробка даних” - “Панель інструментів обробки” - “Загальний вектор” – “Об'єднання векторних шарів”). У вікні, що відкриється у вкладці “Вхідні шари” потрібно обрати новостворений шар і шар з висотними відмітками (можуть бути пункти ДГМ).

Після того як відбулась підготовка до створення ЦМР необхідно вибрати інструмент “Інтерполяція TIN” з “Інтерполяція” – “Панель інструментів обробки” – “Обробка даних”. У вікні, що відкриється потрібно обрати з яким векторним шаром надалі працювати, а також з яким атрибутом (атрибут з показниками абсолютної висоти). Важливим є додавання

вибраного шару і атрибуту в поле шарів. Метод інтерполяції можна залишити той який запропонований, вибрати для якої території створювати ЦМР (можна обрати екстент карти), а також вказати розмір пікселя по X і Y (наприклад 1) (Рис. 3.17).

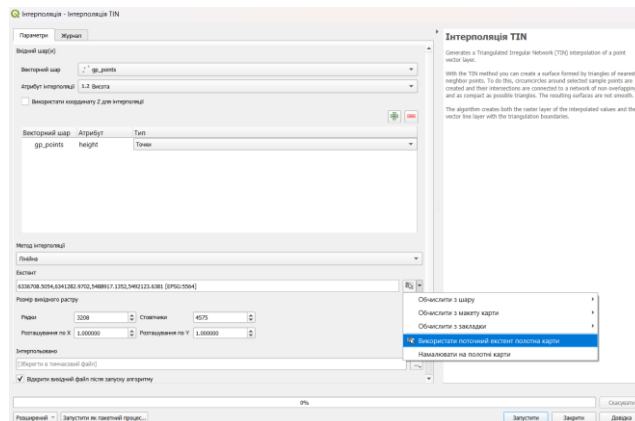


Рис. 3.17 Налаштування ЦМР методом інтерполяції даних

Після проведених налаштувань буде створено ЦМР для території, що вказана попередньо.

Отримавши чорно-біле зображення потрібно здійснити налаштування візуалізованої ЦМР. Це можна здійснити через контекстне меню утвореного шару ЦМР у рубриці “Властивості” обрати із запропонованого - “Символіка”. У вкладці “Тип візуалізації” необхідно обрати – Одноканальний псевдоколір, а в Градієнті – обрати кольорову гамму.

Після цього можна створити картосхему крутизни схилу. В “Обробці даних” - “Панель інструментів обробки” – вибрати Схил (slope) у підменю GDAL. У вікні, що відкрилось потрібно ввести для якої ЦМР йде побудова, поставити за потреби позначку у вікні – Схил, виражений у відсотках замість градусів і запустити побудову. Візуалізується крутизна схилів (Рис. 3.19).

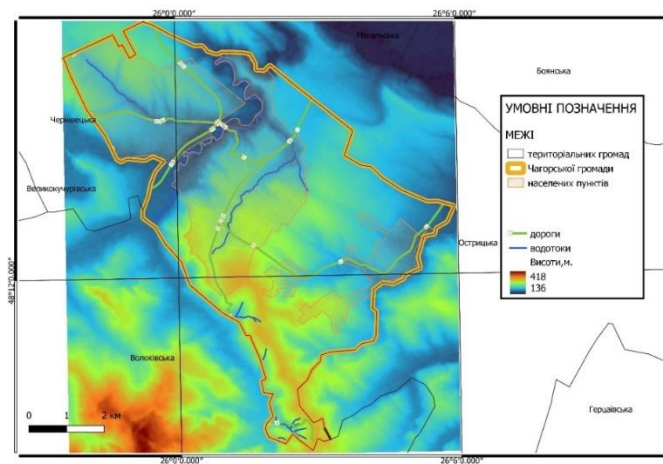


Рис. 3.18 Утворена ЦМР через тип візуалізації - Одноканальний псевдоколір

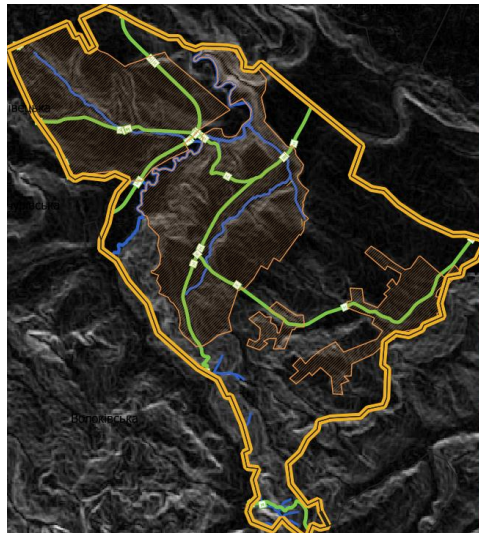


Рис. 3.19 Створення карти крутизни схилів.

Так як завдання полягає у побудові карти крутизни схилів для території, що досліджується для визначення зон, сприятливих для будівництва, то необхідно здійснити класифікацію крутизни схилів за градацією згідно нормативних вимог (Табл.3.4).

Таблиця 3.4

Вимоги, щодо ухилів території за даними ДБН Б.2.2-12:2019

Похил рельєфу	Сприятливий для будівництва	Малосприятливий для будівництва	Несприятливий для будівництва
	0,5-8%	Менше 0,5-15%	Більше 15%

Для класифікації растру за умовами, що мають бути зручно використати інструмент “Reclassify by table” з “Панелі інструментів обробки” (Обробка → Панель інструментів обробки → Аналіз растрів → Перекласифікація за таблицею, або (у деяких версіях): Processing Toolbox → Raster analysis → Reclassify by table). У вікні налаштувань потрібно обрати растр крутизни схилів а в полі Reclassification table вказати умови класифікації. Обравши Add Row з’явиться новий рядок де в комірці Мінімум та Максимум можна вказати величину комірок (пікселів) для класифікації. Зокрема з таблиці для сприятливого будівництва дані 0,5-8%, що і вказуємо як мінімальні і максимальні значення, а для комірки за назвою Значення обираємо 1 (Рис. 12). Це і буде перша умова. Важливим є налаштувати додатково чи крайні межі (у даному випадку 0,5 і 8) входять у даний діапазон. Для цього підтвердивши введення першої умови слід повернутись до попереднього вікна і в полі Межі діапазону обрати з запропонованих

варіантів входження крайнього мінімального значення

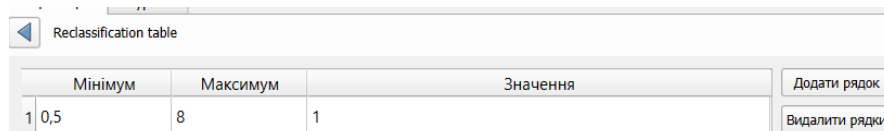


Рис. 3.20 Уведення даних для 1-го критерію.

Таким чином, поступово, по-черзі необхідно ввести усі дані у комірки (Рис.13). Мінімальні значення будуть входити в критерій на відміну від

максимальних

Using classes:
 1) $0.5 \leq x < 8 \rightarrow 1$
 2) $0 \leq x < 0.5 \rightarrow 2$
 3) $8 \leq x < 15 \rightarrow 2$
 4) $15 \leq x < \text{inf} \rightarrow 3$. Останнє значення inf означає безкінечність.

Візуалізується карта крутизни схилів (Рис.3.21).

	Мінімум	Максимум	Значення	Додати рядок
1	0,5	8	1	Видалити рядки
2	0	0,5	2	Видалити все
3	8	15	2	ОК
4	15	inf	3	Скасувати

Рис.3.21 Уведення даних згідно вимог, щодо ухилів території за даними ДБН Б.2.2-12:2019

Дуже важливо, щоб система координат проекту ГІС та окремого шару, по якому йде створення схилу були в одній системі координат. Якщо залишатись в географічній системі координат, то ГІС буде розраховувати крутизну в градусах, тоді вимоги ДБН Б.2.2-12:2019 можна змінити (Табл).

Таблиця 3.5

Вимоги, щодо ухилів території за даними ДБН Б.2.2-12:2019

Категорія	Межі ухилу (°)	Опис
1	0 – 0.29°	Дуже пологий, заплави
2	0.29 – 4.57°	Сприятливий для будівництва
3	4.57 – 8.53°	Малосприятливий
4	> 8.53°	Несприятливий

Отже, вдалось отримати зображення покатегоріально. Маючи картосхему крутизни, яку попередньо вдалось візуалізувати (Рис.14) можна спостерігати, що вона покриває територію за межами населеного пункту. Тому потрібно обрізати растр. В “Панелі інструментів обробки” потрібно знайти “Вирізати растр за шаром маски”. У вікні, що відкриється потрібно вказати попередньо утворений растр крутизни, а також поставити галочку у полі – Зберегти роздільну здатність вхідного растру. Утвориться растрове зображення крутизни схилів виключно для території населеного пункту.

Утворене чорно-біле зображення можна представити як кольорове. Для цього через контекстне меню у вкладці Символіка необхідно здійснити налаштування. У вкладці “Тип візуалізації” потрібно обрати “Одноканальний псевдоколір”. Так як значення для пікселів точні (1,2,3) то метод інтерполяції потрібно обрати Точний. У вікні значень необхідно залишити для продовження три значення і їх підписати (Рис.3.22).

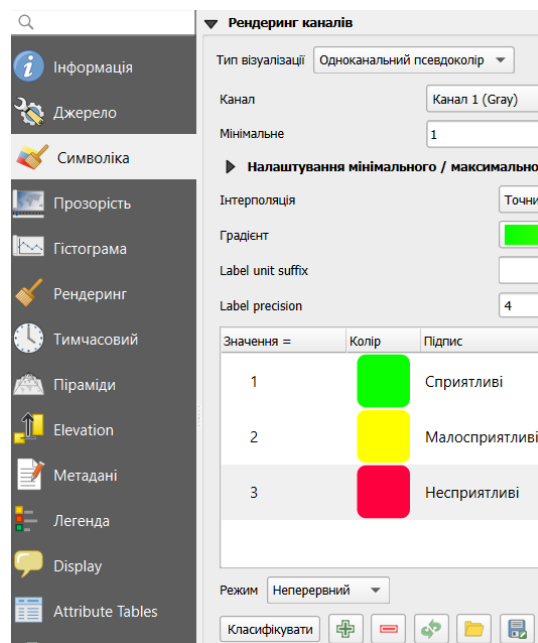


Рис. 3.22 Налаштування кольорового відображення картосхеми крутизни схилів.

В результаті буде утворена кольорова карта крутизни схилів (Рис. 3.23)

Далі можна визначити площу для кожного растру по категоріально. Необхідно знайти інструмент “Raster layer unique values report”, що знаходиться у розділі “Растровий аналіз” – “Панелі інструментів обробки”. У вікні, що з’явиться потрібно обрати попередньо створений кольоровий растр крутизни схилів та підтвердити вибір. Після цього у окремому вікні QGIS з’явиться посилання на статистичний звіт по площі пікселів растру (Рис.3.24)

Analyzed file:
 C:/Users/Admin/AppData/Local/Temp/processing_QKckuV/734dbedde58242fe975213a12927b05a/OUTPUT.tif
 (канал 1)

Екстент: 422821.0419326330884360,5334347.1446506222710013 :
 433038.3850349112763070,5345804.4565759925171733

Проекція: EPSG:32635 - WGS 84 / UTM zone 35N

Ширину в пікселях: 412 (units per pixel 24.7994)

Висота в пікселях: 462 (units per pixel 24.7994)

Total pixel count: 190344

NODATA pixel count: 108746

Значення Pixel count	Площа (м²)
1 1075	661134.7533632852
2 46543	28624367.27980222
3 19815	12186404.77943581
4 14165	8711603.517572964

Рис. 3.24 Статистичний звіт по площах пікселів растру

Також статистичні дані можна отримати завдяки інструменту Zonal histogram, що знаходиться у розділі “Растровий аналіз” – “Панелі інструментів обробки”. Тут у вікні налаштувань потрібно вказати растр та вектор в межах якого знаходиться растр, наприклад межі населеного пункту. Після цього утвориться окремий шар з атрибутивними даними і статистичною характеристикою. Маючи таку статистичну інформацію можна її показати у вигляді діаграми. Через контекстне меню обираємо діаграми. Тут у налаштуваннях обираємо вид діаграми і її налаштування.

Таким чином, для території Чагорської громади характерними є ділянки, що дуже пологі – 0,66 км². Ділянки сприятливі для будівництва 28,6 км², ділянки малосприятливі займають 12,19 км². Ділянки не сприятливі для будівництва охоплюють 8,71 км², що знаходяться вздовж русла водотоків, у частині громади покритою лісовою рослинністю.

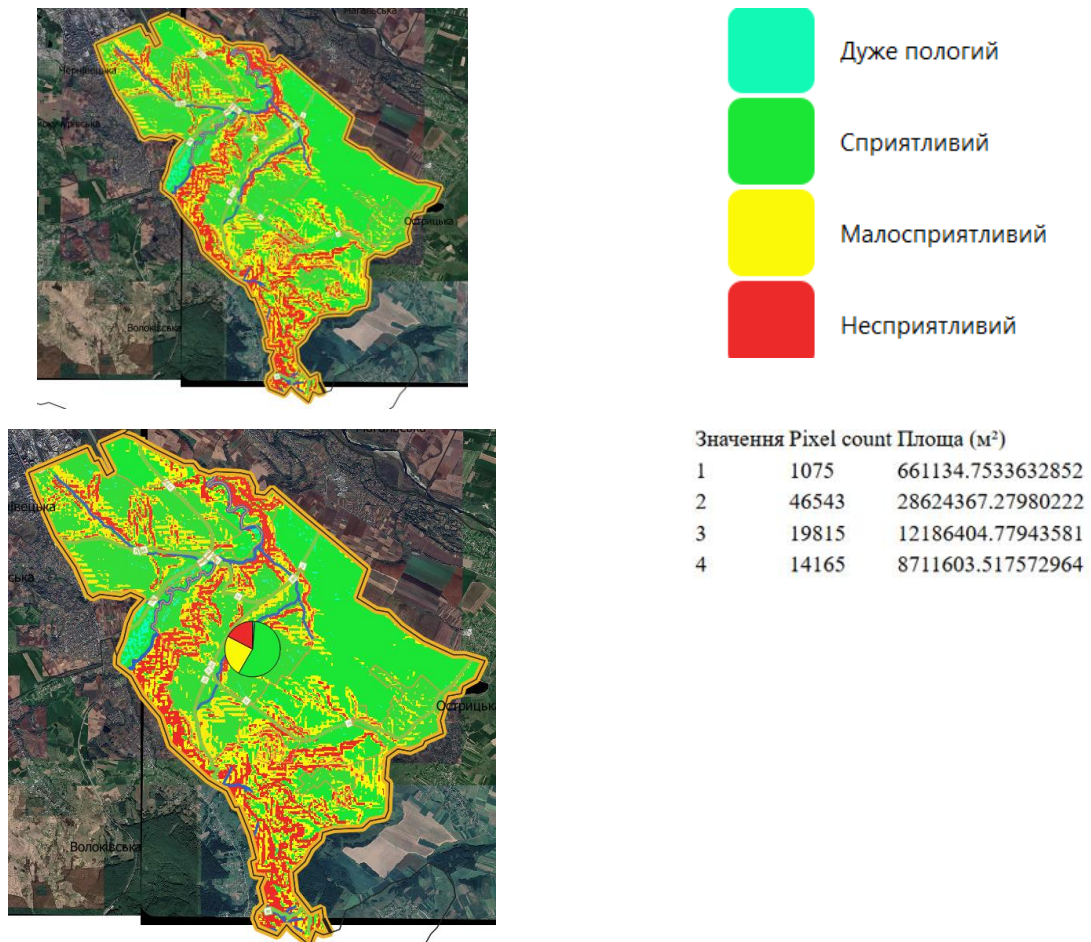


Рис. 3.23 Картосхема крутизни схилів по категоріально

Висновки до розділу 3. Джерельна база та методика. ЦММ території побудовано на основі відкритих даних SRTM 30 м (2000 р.) та Copernicus Global DSM 30 м (2011–2020 рр.). Перед аналізом виконано єдині підготовчі кроки: кліпінг за межами ТГ, заповнення западин (Fill Sinks), приведення до спільної проєкції EPSG:32635 (UTM 35N) і однакового екстенту.

Комбінація SRTM 30 м (2000) та Copernicus Global DSM 30 м (2011–2020) забезпечує репрезентативний багаторічний зріз для оцінки антропогенних змін місцевості Чагорської ТГ, а створені похідні (горизонталі, ухили, експозиції, різницевий шар) формують надійну основу для містобудівних, інженерно-геодезичних і природоохоронних рішень.

ВИСНОВКИ

1. Створено цифрову модель місцевості (ЦММ) для Чагорської територіальної громади на основі відкритих DEM-джерел (SRTM 30 м і Copernicus Global DSM 30 м) у середовищі QGIS. Це забезпечило повноцінне просторове представлення рельєфу території з можливістю подальшого геодезичного аналізу.
2. Проведено порівняльний аналіз моделей SRTM і Copernicus, який виявив середню різницю висот +4,06 м при стандартному відхиленні 2,83 м. Позитивне зміщення пояснюється змінами поверхні (лісові насадження, забудова) та вдосконаленням алгоритмів обробки даних.
3. Виконано морфометричний аналіз рельєфу: побудовано тіньову відмивку, горизонталі, карти ухилів, проведено класифікацію території за придатністю для будівництва відповідно до вимог ДБН Б.2.2-12:2019. Встановлено, що більша частина громади (понад 57 %) належить до сприятливої для забудови зони.
4. Розроблено геодезично орієнтовані інструменти на базі ЦММ, зокрема формування вузлових точок із координатами Z уздовж вуличної мережі, що забезпечує можливість створення профілів місцевості та попередніх інженерних розрахунків.
5. Практична цінність дослідження полягає у створенні комплексної картографо-геодезичної бази даних, придатної для містобудівного планування, оцінки інженерно-геологічних умов, протиерозійного аналізу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Геоінформаційне картографування в Україні: концептуальні основи і напрями розвитку. [Л. Г. Руденко, Т. І. Козаченко, Д. О. Ляшенко, А. І. Бочковська, А. П. Дишлик, В. С. Чабанюк, В. В. Путренко]; за ред. Л. Г. Руденка. Київ : Наукова думка, 2011 – 102 с.
2. Децентралізація та ефективне місцеве самоврядування : [навчальний посібник для посадовців органів влади та фахівців з розвитку місцевого самоврядування]. К. : ПРООН/МПВСР, 2016. 269 с.
3. Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” [Кабінет Міністрів України; пост. від 07.08.2013 р. № 646 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/646-2013>.
4. Закон України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” від 23.12.1998 р. № 353-XIV [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/353-14>
5. Карпінський Ю. Лященко. К. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні: НДІГК, 2006. 107 с.
6. Карпінський Ю.О., Лященко А. А. Нові підходи до стандартизації та технічного регулювання в сфері географічної інформації. Львів. : Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Збірник наукових праць Західного Геодезичного Товариства. Ліга-Прес 2004. с. 283-291.
7. Козаченко Т. І., Курач Т. М. Геоінформаційне картографування науки та інноваційної діяльності в Україні Вісн. геодезії та картографії. 2004. №3. С. 32-43.
8. Колишко Р.А. Децентралізація публічної влади: історія та сучасні тенденції розвитку. Вісник КНУ. Серія «Міжн. відн.». 2015. Вип. 27. С. 198.
9. Линьов К.О. Децентралізація та лінійність у державному управлінні : автореф. дис. канд. наук з держ. упр. К., 2015. 210 с.
10. Мінченко Р.М. Проблеми децентралізації державної влади і їх взаємодія з

місцевим самоврядуванням в Україні. Держава і право. № 39. с.452

11. Мосов С.П., Тарасов В.М., Чорнокнижний О.А., Куковський С.А., Брезіцький Е.Ю. Географічні інформаційні системи: Підручник. К.: НАОУ, 2005. 240 с

12. Основні положення створення та оновлення топографічних планів масштабів 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500. – К. : Головне управління геодезії, картографії та кадастру при КМУ, 1998. – 56 с.

13. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України: постанова Кабінету Міністрів України № 844 від 8 червня 1998 р. Збір. законодавства України. Сер. 1. Постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України. 1998. №9. С. 416.

14. Про затвердження Порядку обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі [Мінагрополітики України; наказ від 03.11.2014 р. № 435 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1467-14>

15. Про Порядок охорони геодезичних пунктів. Кабінет Міністрів України; Постанова від 19.07.1999 № 1284.

16. Самойленко В.М. Основи геоінформаційних систем. Методологія: Навчальний посібник. К.: Ніка-Центр, 2003. 276 с.

17. Скрипник Я.П. Основи геоінформаційних технологій. Методичні вказівки та завдання до практичних і лабораторних робіт Чернівці: Рута, 2004. 44с.

18. Скрипник Я.П. Практикум з основ ГІС та геоінформаційного картографування: Навчально-мет.посібник. Чернівці: ЧНУ, 2014. 171 с.

19. Статистичний щорічник Чернівецької області за 2016 рік. Головне управління статистики у Чернівецькій області; за ред. А. В. Ротаря. Чернівці, 2017. 534 с.

20. Третяк А.М. Землевпорядне проектування: Теоретичні основи і територіальний землеустрій: Навч. Посібник. К.: Вища освіта, 2006. 528 с.