

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

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

**ОЦІНЮВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ТЕРИТОРІЇ НА ОСНОВІ БУФЕРНИХ МОДЕЛЕЙ
КОЛА Й ГЕКСАГОНА У ГІС (НА ПРИКЛАДІ
НЕДОБОЇВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ)**

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

Виконав:

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

Ткач Василь Миколайович

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: "Оцінювання геодезичного забезпечення території на основі буферних моделей кола й гексагона у ГІС (на прикладі Недобоївської територіальної громади)".

У роботі розроблено та апробовано ГІС-методику оцінювання геодезичного забезпечення територій на основі двох комплементарних буферних моделей — кругової (нормативної) та гексагональної (площе-еквівалентної). Як тестову площадку обрано Недобоївську територіальну громаду Чернівецької області. Кругові буфери формувалися за нормативними радіусами для масштабних рядів 1:10 000–1:25 000, 1:5 000 і 1:2 000; гексагональна дискретизація будувалася як площинний еквівалент колу з підбором горизонтального й вертикального інтервалів сітки. Для обох моделей виконано просторовий аналіз покриття/непокриття, розраховано площі «білих плям», виконано локалізацію проблемних ділянок у межах населених пунктів. Показано, що гексагональна модель у двох масштабах (1:10 000–1:25 000 та 1:2 000) зменшує площі невідповідності (від 29,4% до 28,3% та від 60,6% до 52,3% відповідно), тоді як для масштабу 1:5 000 спостерігається зростання (з 49,5% до 52,1%), що пов'язано з позиціонуванням сітки й конфігурацією меж. Обґрунтовано доцільність використання гексагональної дискретизації як альтернативи круговим буферам для сценарного планування згущення пунктів ДГМ. Запропоновано практичні рекомендації для органів місцевого самоврядування та інженерів-геодезистів щодо вибору моделі та параметрів буферизації залежно від масштабу картографування та просторової структури території.

Ключові слова: геодезичне забезпечення, ДГМ, буферний аналіз, гексагональна сітка, ГІС.

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: "Assessment of geodetic support of the territory based on buffer models of a circle and a hexagon in GIS (on the example of the Nedoboivska territorial community)".

This thesis proposes and tests a GIS-based methodology for assessing geodetic control sufficiency using two complementary buffering models: the conventional circular (norm-based) buffers and an area-equivalent hexagonal discretization. The Nedo-boivtsi Territorial Community (Chernivtsi Oblast, Ukraine) serves as the test site. Circular buffers are generated according to regulatory radii for map scales 1:10,000–1:25,000, 1:5,000 and 1:2,000, whereas hexagonal grids are constructed as area-equivalents to circles by selecting proper horizontal and vertical spacing. For both models, spatial coverage/gaps are computed and “white spots” (ungauged areas) are quantified; critical localities within settlements are identified. Results indicate that the hexagonal model reduces non-coverage areas in two scales (from 29.4% to 28.3% at 1:10,000–1:25,000; from 60.6% to 52.3% at 1:2,000), while a slight increase is observed at 1:5,000 (49.5% → 52.1%) due to grid positioning and boundary geometry. We substantiate the advantages of hexagonal discretization as an alternative to circular buffers for scenario-based densification of the state geodetic network. Practical guidelines are provided for municipalities and surveyors on selecting buffer models and parameters depending on mapping scale and territorial structure.

Keywords: geodetic control, geodetic network, buffering, hex-grid, GIS.

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

_____ Ткач В. М.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ І. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРИТОРІЇ	8
1.1 Геодезичне забезпечення території: сутність, нормативно-правова база та актуальність оцінки	8
1.2 Використання буферів у просторовому аналізі геодезичного забезпечення.....	12
1.3 Визначення радіусів для колових та гексагональних моделей	13
Висновки до розділу 1.....	16
РОЗДІЛ ІІ. ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЇ	17
2.1 Роль геоінформаційних систем у сучасних геодезичних дослідженнях	17
2.2 Використання QGIS для оцінки геодезичного забезпечення території.	20
Висновки до розділу 2.....	25
РОЗДІЛ ІІІ. ПОРІВНЯЛЬНИЙ ГІС-АНАЛІЗ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗА БУФЕРНИМИ МОДЕЛЯМИ РІЗНОЇ ФОРМИ	26
3.1 Загальна фізико-географічна характеристика території дослідження....	26
3.2 Векторизовані шари території досліджень як основа ГІС-аналізу.....	29
3.3 Створення буферів у вигляді кола для пунктів ДГМ	36
3.4 Створення буферів гексагонів для пунктів ДГМ території досліджень	39
3.5 Порівняння геодезичного забезпечення території громади за допомогою створення різних буферів.....	42
Висновки до розділу 1.....	51
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	53

ВСТУП

Сучасні завдання геодезії та землеустрою вимагають швидкої та відтворюваної оцінки достатності опорної геодезичної мережі для різних масштабів карт і планів. Класична практика використовує кругові буфери для пунктів ДГМ з нормативними радіусами для кожного масштабного ряду. Водночас, така модель схильна до «надлишкового» перекриття та геометричних прогалин, що ускладнює об'єктивне виявлення зон дефіциту геодезичного забезпечення. Гексагональна дискретизація (hex-grid) — регулярна, ізотропна й безшовна — дає альтернативний спосіб оцінювання покриття, дозволяючи порівнювати результати за однакової площі «впливу» елементів.

У роботі запропоновано, реалізовано й випробувано дві узгоджені моделі буферизації — колова (norm-based) та гексагональна (area-equivalent) — з параметризацією під масштаб 1:10 000–1:25 000, 1:5 000 і 1:2 000. На основі даних ГІС побудовано карти покриття/непокриття Недобоївської ТГ, розраховано площі «білих плям», здійснено порівняння чутливості моделей. Показано, що за двома з трьох масштабів гексагональна модель зменшує площі невідповідності, а результати можуть бути покращені за рахунок раціонального зсуву сітки.

Мета дослідження - розробити та апробувати ГІС-методику оцінювання геодезичного забезпечення території за допомогою двох буферних моделей (коло/гексагон), порівняти їх результативність для різних масштабів.

Під час здійснення роботи були поставлені та виконані завдання:

1. Зібрати та підготувати векторні дані межі ТГ, населених пунктів і пунктів ДГМ; побудувати базові растрові та векторні підкладки.
2. Реалізувати колову модель буферизації з нормативними радіусами для 1:10 000–1:25 000, 1:5 000, 1:2 000; визначити зони непокриття.

3. Побудувати гексагональну модель (площе-еквівалентну колу), підібрати горизонтальний/вертикальний інтервали для заданих «радіусів дії».
4. Порівняти площі невідповідності за двома моделями; виконати локальний аналіз у межах населених пунктів.

Об'єктом дослідження виступає територіальна організація пунктів державної геодезичної мережі в межах ТГ. Предметом - ГІС-методи й параметри буферизації (коло/гексагон) для виявлення «білих плям» геодезичного забезпечення. Територія досліджень – Недобоївська територіальна громада.

Методи дослідження, що використовувались: геоінформаційне моделювання та візуалізація (буферизація, побудова гексагональних сіток, обрізка/різниця, центроїди); розрахунково-аналітичні методи (узгодження площ кола/гексагона, підбір кроку сітки; площинна статистика), просторово-топологічні операції (Clip, Difference, Count points in polygon); оціночні показники покриття/непокриття для різних масштабів.

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що використано єдину площинно-еквівалентну схему переходу від нормативного кругового буфера до гексагональної дискретизації, що забезпечує зіставність результатів для території Недобоївської громади. Також обґрунтовано вплив просторового зсуву гекс-сітки відносно пунктів ДГМ на кінцеві «білі плями», що відкриває можливість сценарного планування згущення.

Практичне використання може бути реалізоване як швидка скринінг-оцінка геодезичного забезпечення для планування топографо-геодезичних робіт, визначення пріоритетних зон для нових пунктів (мінімізація «білих плям» з урахуванням масштабу), інтеграція у муніципальні ГІС як інструмент ухвалення рішень щодо землеустрою, будівництва та кадастру.

Структура і обсяг роботи. Дипломна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків до розділів, висновків загальних та списку

використаних джерел. Робота представлена на 55 сторінках формату А4.
Список використаної літератури містить 27 найменувань.

РОЗДІЛ І. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРИТОРІЇ

1.1 Геодезичне забезпечення територій: сутність, нормативно-правова база та актуальність оцінки

Геодезичне забезпечення територій включає створення, підтримання та використання геодезичної мережі — сукупності пунктів із відомими координатами і висотами, що забезпечують точність просторових, планово-висотних чи висотних робіт. У масштабі держави це передбачає забезпечення єдиного просторово-координатного і висотного базису, що дозволяє коректно виконувати топографо-геодезичні, землевпорядні, будівельні, картографічні та інженерні роботи.

Пункти державної геодезичної мережі (ДГМ) відіграють ключову роль як опорні елементи, до яких прив'язуються локальні системи координат, топографічні знімання, землевпорядні та інші роботи. Таким чином, геодезичне забезпечення — це фундаментальна інфраструктурна основа для просторових даних, їхньої точності, узгодженості й актуальності.

Оцінка геодезичного забезпечення означає аналіз того, наскільки існуюча мережа пунктів відповідає вимогам: щільності покриття, рівномірності розміщення, точності координат, стану пунктів та можливості їх використання.

Зі змінами в просторі (нове будівництво, зміна землекористування, природні та антропогенні деформації) геодезична мережа з часом втрачає частину своєї актуальності. Оцінка дозволяє виявити «прогалини» — зони з недостатнім забезпеченням, де точність може бути знижена.

Під час воєнних дій або у післявоєнний період — це має особливе значення: зруйновані або недоступні пункти мережі, переміщення уламків,

зміни ландшафту, руйнування інфраструктури — усе це впливає на точність просторового позиціонування, надійність координатних даних, що використовуються у військових, оборонних, інженерних чи гуманітарних проектах.

Крім того, у військовому контексті — можливості точного позиціонування, коректної геоінформації, планування дій на основі просторових даних стають критичними. Надійна геодезична мережа — один із компонентів просторової готовності держави.

Проведення оцінки дозволяє планувати відновлення чи модернізацію мережі, оптимізувати ресурси, підвищити ефективність інженерно-геодезичних робіт, супроводжувати реконструкцію та розвиток територій.

Виявлення зон із недостатньою геодезичною підтримкою дає можливість внести їх у план робіт на укріплення мережі здійснити забезпечення точності просторових баз даних, карт, кадастрів, інженерних систем, знизити ризики похибок у будівництві, землеустрої, кадастрових роботах, а також підвищити ефективність використання ГІС-технологій, дистанційного зондування, навігації, що спираються на геодезичні дані.

В Україні існує ряд нормативно-правових актів, які регламентують створення, підтримання та використання геодезичної мережі. Головні завдання та особливості цих документів вимагають наступного:

- пункти державної геодезичної мережі мають бути розташовані з певною середньою щільністю (для прикладу — норматив 1 пункт на 30 км²);
- координати та висоти пунктів повинні мати підтверджену точність (залежно від класу мережі) та бути внесені до державного реєстру;
- пункти повинні бути доступними, забезпечені прив'язкою до реального місця, містити маркування, паспортні дані;
- при оновленні чи перевірці пунктів — необхідне забезпечення актуальності координат, заміна зруйнованих чи неправильно розташованих пунктів.

У період воєнних чи надзвичайних ситуацій повинні бути передбачені процедури екстреної перевірки, оновлення мережі, резервні пункти.

Таким чином, нормативів досить багато, але ключова увага — на щільності, доступності, точності й актуальності.

Серед існуючих досліджень детально проаналізовано роботи Білокриницького С.М. Він у своїх працях розглядає питання картографо-геодезичного забезпечення земельно-кадастрових робіт у регіоні (на прикладі Чернівецької області) та проблеми методики застосування. У навчальному посібнику «Геодезія» він систематизує функції геодезичного забезпечення, підкреслюючи значення створення опорної мережі, що покриває територію, забезпечує координатну та висотну основу. Аналізуючи регіональне забезпечення, Білокриницький визначає, що існує потреба в модернізації мережі, підвищенні точності пунктів, врахуванні змін ландшафту та антропогенних факторів.

Також під час досліджень розглянуто роботи І. С. Тревого, Є. Ю. Ільківа, Д. В. Кухтаря, М. В. Галярника. Автори у спільному дослідженні «Аналіз забезпечення територій пунктами державної геодезичної мережі» ставлять проблему аналізу щільності мережі, способів оцінки та критеріїв відповідності [27]. У праці Ільківа та Галярника розглянуті методики контролю геометричних параметрів, використання знімальних та дистанційних методів для верифікації пунктів мережі.

Щодо закордонних досліджень то у міжнародній літературі питання геодезичної мережі розглядаються в контексті точності GNSS-мереж, моніторингу деформацій, комбінованого використання геодезичних і геоінформаційних систем. Наприклад, дослідження показують, що безперервне спостереження та мультисенсорні засоби дозволяють підвищити точність і швидко реагувати на зміни.

Аналіз робіт українських авторів показує, що головними проблемами геодезичного забезпечення територій залишаються: недостатня щільність пунктів, втрата пунктів через руйнування або зміну землекористування, відсутність систематичного моніторингу стану мережі, особливо в умовах змін. Зокрема, Білокриницький акцентує на регіональних аспектах, тоді як Тревого, Ільків, Кухтар приділяють увагу аналітичним методикам оцінки. У зарубіжному контексті акцентується на якісній модернізації мереж, використанні GNSS-технологій, активному моніторингу та оперативному реагуванні на зміни (що особливо важливо в умовах криз). Тобто: існує узгоджене розуміння — мережа має бути актуальною, щільною, верифікованою.

Таким чином, для актуального стану мережі на території дослідження можна сформулювати такі висновки:

- потрібно оцінити щільність мережі за нормативом,
- провести аудит стану пунктів (наявність, стан, точність),
- врахувати особливості зон ризику (наприклад, в зоні бойових дій або після них),
- рекомендувати побудову або оновлення пунктів у тих зонах, де забезпечення недостатнє.

В умовах воєнних дій чи після них з'являються специфічні виклики:

- Руйнування чи знищення пунктів ДГМ, що порушує покриття.
- Переміщення або зміна ландшафту (наприклад, через обстріли, вибухи, руйнування споруд), що призводить до нерелевантності старих пунктів.
- Обмежений доступ до територій, що ускладнює польові перевірки.
- Необхідність швидкого відновлення або створення тимчасових пунктів, щоб забезпечити топографічне, інженерне чи оборонне використання просторових даних.

- Значення геодезичної мережі для навігації, забезпечення військово-інженерних операцій, планування відновлення інфраструктури, будівництва укріплень.

У таких умовах оцінка мережі має пріоритетний характер: вона повинна виконуватися з урахуванням ризиків, приймати до уваги тимчасові рішення, бути інтегрована зі швидкими методами дистанційного контролю (GNSS, БПЛА, космічний моніторинг). Крім того, нормативні вимоги можуть бути доповнені вимогами надзвичайного стану: прискорена перевірка, наявність резервних пунктів, інтеграція з кризовою інфраструктурою.

1.2. Використання буферів у просторовому аналізі геодезичного забезпечення.

Одним із ключових етапів аналізу щільності та просторової рівномірності пунктів державної геодезичної мережі є застосування буферних зон — геометричних областей, що формуються навколо вихідних об'єктів (точок або ліній) на заданій відстані. У геодезичних дослідженнях буфери дозволяють візуалізувати просторовий вплив пунктів мережі, оцінити перекриття зон забезпечення та виявити території з недостатнім геодезичним покриттям.

Найпоширенішими геометричними формами для побудови буферів є коло та правильний шестикутник (гексагон). Вибір типу фігури визначає характер інтерпретації результатів просторового аналізу, щільність покриття та точність подальших геодезичних розрахунків.

Коло є базовою геометричною моделлю впливу геодезичного пункту на навколишню територію. У цій моделі радіус R визначає максимальну відстань, на якій можливе забезпечення точності геодезичних спостережень або поширення координатної інформації.

Основні переваги кругових буферів:

- простота математичних обчислень та геометричної побудови;

- рівномірний розподіл відстаней від центру до будь-якої точки межі;
- зручність для первинної оцінки зони впливу пункту.

Разом із тим, кругова форма має певні обмеження. При накладанні множин буферів у вигляді кіл виникають значні перекриття, що ускладнює оцінку реальної густоти мережі. Крім того, кола не заповнюють площину без проміжків, що призводить до утворення неохоплених ділянок (прогалин) між сусідніми зонами.

Альтернативою круговим буферам у задачах просторового аналізу виступає гексагональна (шестикутна) модель. Правильні шестикутники мають властивість щільного заповнення площини без перекриття та пропусків, що робить їх оптимальними для моделювання рівномірних полігональних сіток у топографо-геодезичних дослідженнях.

Переваги гексагональної моделі:

- забезпечує безперервне покриття території;
- мінімізує спотворення площі у порівнянні з квадратною сіткою;
- усі центри гексагонів мають однакову відстань до шести найближчих сусідів, що наближає структуру до ізотропної;
- дає можливість точно оцінити просторову щільність пунктів та їх зони впливу.

Недоліком є відносна складність побудови та потреба у розрахунку радіуса шестикутника залежно від прийнятого масштабу досліджень.

1.3. Визначення радіусів для колових та гексагональних моделей

Для побудови буфера у формі кола використовується радіус R , який приймається залежно від масштабу топографічної карти або нормативів щільності геодезичних пунктів. Наприклад, для масштабів 1:10 000–1:25 000 типовим є радіус 3,1 км, для масштабів 1:5 000 — близько 2,52 км, а для 1:2 000 — близько 2,19 км (Табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Нормативні вимоги, щодо розташування пунктів ДГМ
згідно до масштабу території**

№	Масштаб	Площа (км ²)	Радіус (км)
1	1:10000-1:25000	30	3.1
2	1:5000	20	2.52
3	1:2000	15	2.19
4	1:1000	10	1.78
5	1:500	5	1.26

Отже, відповідно до вимог діючих нормативних документів, середня щільність геодезичних пунктів повинна складати як мінімум 1 пункт на 30 км².

У випадку гексагональної моделі застосовують два поняття радіуса:

- радіус вписаного кола (апофема) — відстань від центру шестикутника до середини його сторони (r);
- радіус описаного кола (R_h) — відстань від центру до вершини.

Зв'язок між ними описується формулою :

$$R_h = \frac{2r}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Відповідно, якщо відомий радіус кола, що описує зону впливу пункту, то шестикутник, побудований за радіусом R_h , матиме еквівалентну площу покриття. Для практичного застосування доцільно використовувати також похідні параметри:

$$a = \frac{2r}{\sqrt{3}} \quad ; \quad H = \sqrt{3}R_h \quad ; \quad W = 1.5R_h \quad (2)$$

де a — сторона гексагона, H — вертикальний інтервал, W — горизонтальний інтервал між центрами сусідніх шестикутників.

Таким чином, можна зробити порівняльну характеристику буферів-кіл та гексагонів (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2

Порівняльна характеристика буферів-кіл та гексагонів

Ознака	Буфер-коло	Буфер-гексагон
Геометричне заповнення площини	Має прогалини між колами	Повністю покриває площину
Перекриття зон	Значне	Мінімальне
Точність оцінки покриття	Орієнтовна	Більш аналітична
Візуальна інтерпретація	Просте колове представлення	Рівномірна структура покриття
Розрахункова складність	Мінімальна	Потребує геометричних обчислень

Застосування геометричних моделей у вигляді кіл та гексагонів дозволяє кількісно оцінити ступінь геодезичного забезпечення території, визначити ділянки з недостатньою кількістю пунктів, а також формувати рекомендації щодо оптимального розміщення нових елементів мережі. Колові буфери зручні для первинного аналізу, тоді як гексагональні структури доцільно використовувати для створення аналітичних моделей щільності або при побудові цифрових карт топографо-геодезичного забезпечення.

Отже, гексагональна сітка є більш раціональною формою для аналітичного представлення геодезичних даних, оскільки дозволяє уникнути надлишкового перекриття, забезпечує рівномірне покриття території та підвищує точність оцінки просторової структури пунктів геодезичної мережі.

Висновки до розділу 1. Геодезичне забезпечення території — це ключова складова інфраструктури просторових даних, забезпечення точності, узгодженості і актуальності просторово-координатної системи. Оцінка цього забезпечення дозволяє виявити слабкі зони мережі, провести моніторинг стану пунктів, підготувати план їх модернізації або відновлення.

Цей аналіз створює теоретичну основу, яку можна використати у практичній частині вашої роботи — зокрема, при аналізі забезпечення території дослідження пунктами ДГМ, побудові карт щільності, рекомендаціях щодо модернізації мережі. У результаті теоретичного аналізу встановлено, що застосування буферних моделей є ефективним інструментом для оцінки рівня геодезичного забезпечення територій. Буфери у формі кіл дають змогу швидко визначити зони впливу пунктів, однак створюють перекриття та не забезпечують рівномірного покриття площини. Натомість гексагональна модель забезпечує безперервність покриття, стабільну густоту та кращу геометричну узгодженість при аналізі просторової структури мережі.

Таким чином, гексагональні полігони є більш доцільною формою для моделювання щільності пунктів геодезичної мережі та подальшого картографічного узагальнення результатів.

РОЗДІЛ II. ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЇ

2.1. Роль геоінформаційних систем у сучасних геодезичних дослідженнях

Сучасна геодезія та землеустрій зазнали суттєвих трансформацій завдяки впровадженню геоінформаційних систем (ГІС), які об'єднують аналітичні, картографічні, базові та інженерні інструменти для роботи з просторовими даними.

ГІС є інтегрованим середовищем для збору, збереження, оброблення, аналізу та візуалізації просторової інформації, що дозволяє об'єктивно оцінювати природно-територіальні, інженерні, земельні та інші процеси.

У геодезії ГІС виконують роль аналітичного моста між польовими вимірюваннями та просторовими моделями території. Дані, отримані за допомогою GNSS, тахеометрів, безпілотних літальних апаратів або супутникових систем, інтегруються у ГІС для подальшої обробки — формування цифрових моделей рельєфу, мереж, кадастрових планів, систем координатного контролю.

Використання ГІС у геодезії дозволяє:

- створювати та оновлювати топографічні карти і плани;
- контролювати точність положення пунктів геодезичних мереж;
- моделювати геопросторові процеси — зсуви, деформації, підтоплення, просідання;
- інтегрувати геодезичні вимірювання у національні системи просторових даних;
- проводити просторовий аналіз (буферизацію, побудову ізоліній, гексагональне зонування тощо).

ГІС у системі землеустрою. У сфері землеустрою ГІС виступають ключовим інструментом формування, ведення та управління просторовими базами земельних ресурсів. Сучасні ГІС-додатки (ArcGIS, QGIS, MapInfo, GeoMedia, ERDAS Imagine, Global Mapper тощо) забезпечують автоматизовану підтримку всіх етапів землеустрою — від інвентаризації земель до планування територій і контролю їх використання.

Основні напрями використання ГІС у землеустрої:

- інвентаризація земельних ділянок та кадастровий облік;
- створення цифрових кадастрових карт і планів територій;
- аналіз структури землекористування, оцінка ефективності агровиробництва;
- моніторинг змін у землекористуванні (на основі супутникових знімків);
- оцінка просторових ризиків — ерозія ґрунтів, деградація земель, зсуви, підтоплення;
- планування територій відповідно до нормативів містобудування та екологічної безпеки;
- геодезичне забезпечення земельного кадастру, включаючи координатну точність меж ділянок.

Таким чином, ГІС у землеустрої виступає як базовий інструмент просторового управління, що об'єднує дані геодезичних, картографічних, кадастрових та аналітичних систем.

Інтеграція геодезичних вимірювань з ГІС-середовищем забезпечує створення єдиного координатно-просторового поля. Результати GNSS-вимірювань, тахеометричних зйомок чи лазерного сканування безпосередньо імпортуються в ГІС, де вони обробляються і трансформуються у цифрові моделі. Використовуючи ГІС, геодезист може:

- визначати параметри точності та розбіжності між пунктами мережі;

- будувати буферні зони навколо пунктів для оцінки геодезичного забезпечення;
- здійснювати 3D-візуалізацію рельєфу та аналіз геоморфологічних особливостей;
- інтегрувати дані дистанційного зондування Землі (Copernicus, Landsat, Sentinel);
- формувати атрибутивні бази для геодезичних пунктів (тип, клас, координати, стан тощо).

Використання інструментів геообробки (Spatial Analyst, Geoprocessing, ModelBuilder) дає змогу автоматизувати аналіз — створення гексагональних сіток, буферів, розрахунок щільності мереж, побудову карт забезпечення тощо.

Переваги використання ГІС у геодезії та землеустрої наступні (Табл.2.1)

Таблица 2.1

Переваги використання ГІС у геодезії та землеустрої

Показник	Геодезія	Землеустрій
Основна функція	Просторове позиціонування та контроль точності	Управління земельними ресурсами
Тип даних	Геодезичні координати, висоти, вектори	Межі ділянок, форми власності, угіддя
Застосування ГІС	Обробка вимірювань, побудова ЦМР, аналіз мереж	Формування кадастрів, планування використання
Переваги	Точність, автоматизація, інтеграція GNSS і ДЗЗ	Уніфікація даних, моніторинг, планування
Результати	Геодезичні карти, моделі, звіти	Кадастрові карти, плани, землевпорядна документація

В Україні застосування ГІС у геодезії та землеустрої регламентується положеннями Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» (2020 р.), який визначає принципи інтеграції геодезичних і кадастрових даних у єдину систему координат.

Впровадження ГІС активно підтримується науковими установами (Національний університет «Львівська політехніка», Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Київський національний університет будівництва і архітектури), де виконуються роботи з побудови цифрових моделей місцевості, кадастрового моніторингу та створення просторових баз даних.

ГІС-технології стали невід'ємною складовою геодезичних і землеустроювальних робіт. Їх використання забезпечує:

- інтеграцію різних видів просторових даних у єдине середовище;
- підвищення точності та оперативності геодезичних вимірювань;
- автоматизацію аналітичних процесів, у тому числі оцінки геодезичного забезпечення;
- ефективне планування землекористування та моніторинг стану земель.

Застосування ГІС у цих галузях сприяє формуванню національної інфраструктури геопросторових даних, забезпечує прозорість і точність земельних процесів, а також створює основу для цифрової трансформації територіального управління.

2.2 Використання QGIS для оцінки геодезичного забезпечення території

Програмне середовище QGIS є однією з найпотужніших платформ з відкритим кодом для виконання просторових аналізів, створення, редагування та візуалізації геоданих. Його перевагою є безкоштовність, універсальність та підтримка великої кількості плагінів, що дозволяють адаптувати систему для конкретних геодезичних, картографічних або землевпорядних завдань.

У контексті оцінки геодезичного забезпечення території, QGIS дозволяє:

- імпортувати координати пунктів державної геодезичної мережі (ДГМ) у форматах *.csv*, *.shp*, *.gpx*, *.geojson*;
- здійснювати аналіз щільності та рівномірності розташування пунктів;

- будувати буферні зони, гексагональні сітки або віртуальні полігони для оцінки зон геодезичного покриття;
- виконувати векторно-растрові операції, статистичний аналіз і візуалізацію результатів;
- поєднувати польові дані GNSS-вимірювань з даними космічного зондування та національних геопорталів (наприклад, geo.gov.ua, Geoportal ДГМ).

Підготовка та імпорт даних у середовище QGIS. Для аналізу геодезичного забезпечення необхідно сформувати вхідні набори просторових даних:

1. Векторний шар пунктів ДГМ (із атрибутами: ID, назва, тип пункту, клас точності, координати X/Y/Z, стан пункту).
2. Полігон межі досліджуваної території — громади, району або кадастрової зони.
3. Базові картографічні шари — рельєф, ортофотоплани, космознімки з відкритих джерел (Copernicus, Sentinel-2, ESRI World Imagery).

Після імпорту всі шари необхідно перевести до єдиної системи координат, наприклад EPSG:32635 — WGS 84 / UTM Zone 35N, щоб забезпечити метричну відповідність при подальших обчисленнях.

Для якісного аналізу геодезичної інфраструктури використовуються як вбудовані інструменти QGIS, так і спеціальні плагіни (plugins). Найбільш доцільними для даного виду дослідження є:

1. MMQGIS

- Використовується для побудови буферів, центрів, кластеризації пунктів, створення сіток.
- Дає змогу створити гексагональну або квадратну регулярну сітку для оцінки густоти пунктів ДГМ.

2. Processing Toolbox (Панель інструментів обробки)

- Містить набір аналітичних інструментів GDAL, GRASS, SAGA.

- Дозволяє виконувати операції:
 - *Vector* → *Analysis Tools* → *Count points in polygon* — підрахунок кількості пунктів у межах кожного гексагону;
 - *Vector* → *Geometry Tools* → *Centroids* — створення центроїдів полігонів;
 - *Raster* → *Extraction* → *Contour* — формування горизонталей для рельєфного аналізу;
 - *Raster* → *Terrain analysis* → *Slope, Aspect* — побудова карт крутизни схилів при оцінці доступності пунктів.

3. *Heatmap (Карта густоти)*

- Створює растрову поверхню щільності пунктів ДГМ.
- Дозволяє візуально виявити ділянки із низьким рівнем геодезичного покриття.

4. *SAGA GIS integration*

- Дає змогу використовувати алгоритми просторової статистики та морфометричного аналізу.
- Наприклад, функції “*Point density*”, “*Nearest Neighbour Distance*”, “*Kernel Density Estimation*” дозволяють отримати кількісні показники просторової рівномірності розташування пунктів.

5. *GeoStatistical Analysis*

- Застосовується для обчислення середніх, мінімальних та максимальних відстаней між пунктами, формування карт статистичних зональностей.

6. *QGIS Geometry by Expression / Field Calculator*

- Використовується для розрахунку радіусів буферів, площ гексагонів або побудови фігур за аналітичними виразами.

7. *OpenLayers / QuickMapServices*

- Дає можливість завантажувати підкладки з відкритих джерел (Google Satellite, OpenStreetMap, ESRI, Bing).

- Це дозволяє оцінювати територіальні умови розміщення пунктів (доступність, ландшафт, забудова).

Основні аналітичні можливості QGIS для дослідження геодезичного забезпечення наступні:

1. *Буферний аналіз (Buffer Analysis)* Створюються буфери навколо пунктів ДГМ для визначення зон їх впливу. Параметри буфера (радіус) залежать від класу пунктів або вимог нормативів (наприклад, 2–3 км для пунктів 1 класу). Аналіз перекриття буферів дозволяє визначити, чи має територія достатню геодезичну насиченість, чи існують «білі плями».

2. *Гексагональне зонування (Hexagonal Grid Analysis)*. За допомогою плагіна MMQGIS → Create Grid Layer → Hexagons створюється сітка однакових шестикутних полігонів.

У подальшому виконується:

- підрахунок кількості пунктів у межах кожного гексагона (*Count points in polygon*);
- класифікація гексагонів за рівнем забезпечення (високий, середній, низький);
- побудова карти геодезичного покриття.

3. *Статистичний аналіз розподілу пунктів*. Інструменти SAGA → Nearest Neighbour Analysis або QGIS → Mean Distance to Nearest Point дозволяють розрахувати середні відстані між пунктами. Отримані результати порівнюються з нормативними значеннями (1 пункт/30 км²), що дозволяє визначити відхилення від оптимальної густоти.

4. *Картографічна візуалізація результатів.* За допомогою інструмента Symbology здійснюється тематичне забарвлення пунктів або полігонів за кількісними показниками (кількість пунктів, густота, відстань). Використовуються градієнтні шкали («green-yellow-red» або «blue-white-red»), які відображають ступінь геодезичного забезпечення.

5. *Побудова діаграм і звітів.* У модулі Layout Manager можна сформувати картографічний звіт: карта, легенда, масштаб, графік густоти пунктів, статистичні таблиці (CSV або XLSX). Для автоматизації створення звітів застосовується Processing Modeler, що дозволяє побудувати послідовність операцій (імпорт → буфери → підрахунок → класифікація → карта).

Таблиця 2.2

Приклади практичного використання аналітичних інструментів

Завдання	Інструмент / Плагін QGIS	Результат
Аналіз щільності пунктів	<i>Heatmap, Count points in polygon</i>	Карта густоти пунктів
Визначення зон покриття	<i>Buffer, Intersection</i>	Зони геодезичного впливу
Оцінка рівномірності розташування	<i>Nearest Neighbour Index (SAGA)</i>	Коефіцієнт кластеризації пунктів
Побудова сітки забезпечення	<i>MMQGIS – Hexagonal grid</i>	Гексагональна карта покриття
Визначення неохоплених територій	<i>Difference (Vector overlay)</i>	Карта дефіциту пунктів
Візуалізація результатів	<i>Symbology, Layout, Atlas</i>	Картосхема з легендою і статистикою

Висновки до розділу 2. QGIS є універсальним і безкоштовним середовищем для оцінки геодезичного забезпечення територій, поєднуючи просторовий аналіз, векторну аналітику та статистику. Для вирішення задач цього типу найбільш ефективними є плагіни MMQGIS, SAGA GIS, Heatmap, GeoStatistical Tools, Field Calculator. Буферизація, гексагональне зонування та аналіз щільності дозволяють кількісно оцінити рівень покриття території пунктами ДГМ. Аналітичні можливості QGIS дозволяють виявити зони недостатнього забезпечення, оцінити оптимальність розміщення пунктів та сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення мережі. Використання QGIS підвищує точність, наочність і оперативність геодезичних досліджень, забезпечуючи перехід до цифрового формату аналізу просторових даних.

РОЗДІЛ III. ПОРІВНЯЛЬНИЙ ГІС-АНАЛІЗ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗА БУФЕРНИМИ МОДЕЛЯМИ РІЗНОЇ ФОРМИ

3.1 Загальна фізико-географічна характеристика території дослідження

Територією дослідження у роботі виступає Недобоївська територіальна громада колишнього Хотинського, а теперішнього Дністровського району Чернівецької області (Рис.3.1).

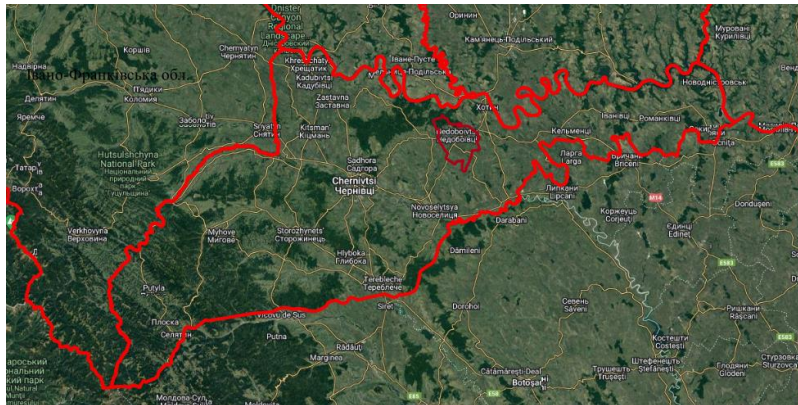


Рис. 3.1. Картосхема розташування Недобоївської територіальної громади.

Недобоївська сільська об'єднана територіальна громада — об'єднана територіальна громада в Україні, у Дністровському районі Чернівецької області. Адміністративний центр — село Недобоївці. Площа території складає — 79,5 км², населення — 12717 мешканець (2020 р.) (Табл 3.1), густота населення складає 90,2 осіб/км².

Таблиця 3.1

Кількість населення Недобоївської територіальної громади в розрізі
адміністративних одиниць

№	Населений пункт	Населення
1	Недобоївці	2965
2	Ставчани	1363
3	Долиняни	1319
4	Керстенці	1161
5	Ширівці	1600
6	Зарожани	2730
7	Владична	1579
5	Разом	12717

Громаду утворено в умовах адміністративно-територіальної реформи 2015 року. Сюди увійшли Долинянська, Керстенецька, Недобоївська та Ставчанська селищні ради Хотинського району, які 12 серпня 2015 року прийняли рішення про вільне об'єднання громад. А 14 серпня новоутворення громади було затверджено рішенням обласної ради.

Територія для досліджень міститься в Прикарпатті, із середніми висотами 300-400 м над рівнем моря. Клімат помірно Континентальний з неспекотним літом, помірною зимою та достатньої кількістю опадів утворюється під впливом радіаційних умов, з циркуляцією повітряних океанічних і континентальних повітряних мас. Влітку перші з них поширюються у вигляді циклонів з Атлантичного океану; влітку вони зумовлюють хмарність, опади, зниження температури повітря, загалом взимку - снігопади. Із зазначеними повітряними масами пов'язані західні та південно-західні вітри. Суху й холодну погоду в зимовий період зумовлює дія східних антициклонів.

Середня температура січня - мінус 4,9°C, липня - плюс 17,5°C. Період із температурою більше плюс 10°C становить 165 днів. Опадів близько 650-750 мм на рік, найбільша кількість - у червні-липні. Сніговий покрив нестійкий. Розташована у вологій, помірно теплій агрокліматичній зоні.

Розпочатком весни вважають перехід середньодобової температури повітря через 0° - друга декада березня. Весняні приморозки закінчуються приблизно до 20-25 квітня, а середньодобова температура переходить через +6°, +8°.

Початок літа відбувається зі встановленням теплої погоди та припиненням нічних заморозків - перехід середньодобової температури повітря через 15°. Розпочатком літа вважають другу половину травня [31].

На теренах переважають букові ліси. Зростають рідкісні рослини - беладонна звичайна, венерині черевички, лунарія оживаюча, шафран Гейфеля.

Для тваринності району характерні і степові, і гірські види. Тут трапляються заєць-русак, лисиця, сойка, зяблик, яструб і шуліка.

Вже згадана територія перебуває в лісостеповій природно-кліматичній зоні, де переважають сільськогосподарські угіддя.

Ґрунти - переважно дерново-підзолисті. Наявний потенціал корисних копалин представлений родовищами будівельних матеріалів (суглинки, глина, гравій, галька, мінеральна вода)ю Річкова мережа подана невеликими річками.

Потрібною умовою отримання високих урожаїв на земляних ділянках, що перебувають у власності (користуванні), є впровадження заходів щодо запобігання ерозії, вологи, вологонакопичення, впровадження інтенсивного землеробства.

На піднесених елементах рельєфу ґрунті води залягають на глибині 15-20 м і на процесу ґрунтоутворення не сприяють. Перезволоження ґрунтів відбувається за рахунок атмосферних опадів. У знижених елементах рельєфу

3.2 Векторизовані шари території досліджень як основа ГІС-аналізу

Можливості ГІС продукту дають змогу окремо виокремити межі ймовірної досліджуваної Недобоївської територіальної громади, що дозволяє зробити аналіз її фізико-географічного положення.

Крім усього іншого, використавши як основу космічне зображення, можна здійснити відцифрування за ним тематичних шарів. Однією з основних цільових тематичних верств при майбутньому геодезичному аналізі території, є кордони населених пунктів. Власне тому в ГІС продукті створено як окремий полігональний шар - межі населених пунктів: Недобоївці, Ставчани, Долиняни, Керстенці, Ширівці, Зарожани, Владична (Рис. 3.3).





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

Крім просторових даних створено атрибутивні дані, що вміщують назви населених пунктів

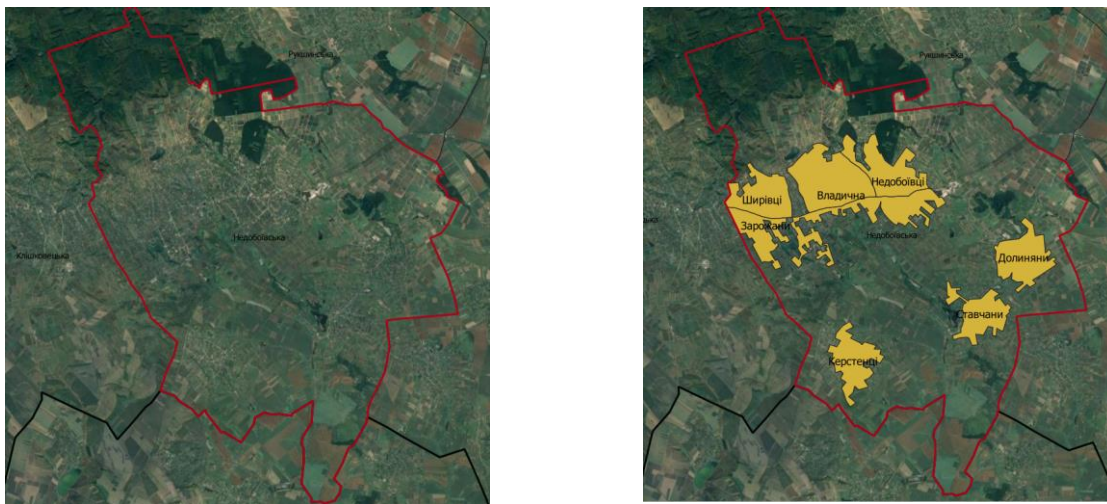


Рис. 3.3 Векторизовані межі населених пунктів Недобоївської територіальної громади

У роботі проведено дослідження рельєфу території Недобоївської територіальної громади за допомогою створеної ЦММ з використанням інформації даних SRTM.

Побудувати ЦММ доволі зручно за допомогою інформації даних SRTM. SRTM (Shuttle radar topographic mission) - міжнародна місія одержання даних цифрової моделі рельєфу (ЦММ) на території Землі. Фільмування території здійснювали в лютому 2000 р. з борт космічного

корабля багаторазового застосування «Шаттл» за участю радарної інтерферометричної камери і двох радіолокаційних сенсорів SIR-C і X-SAR, встановлених на борту корабля.

Розробка ЦММ, що використовує інформацію даних SRTM, може відбуватися за рахунок здійснення імпорту даних з безкоштовних сайтів або ж безпосередньо отримавши їх із програмного продукту ГІС QGIS.

Так в першому випадку слід за допомогою архіву Геологічної служби (ГС) США (USGS), який зробив свої відкриті дані безкоштовними для користувачів на сайті EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), виконати імпорт даних SRTM для території Недобоївської територіальної громади. Слід зазначити, що скачування файлів можливе лише після особистої формальної реєстрації.

Для завантаження на вказаному геопорталі слід обрати територію Недобоївської територіальної громади за спеціальним курсором мишки, після чого на вкладці «Data Sets» розгорнути групу Digital Elevation - SRTM та обрати SRTM 1 Arc-Second Global. Вкладка «Результати» дає нагоду візуально побачити дані SRTM на цікаву для нас місцевість (Рис.3.4).

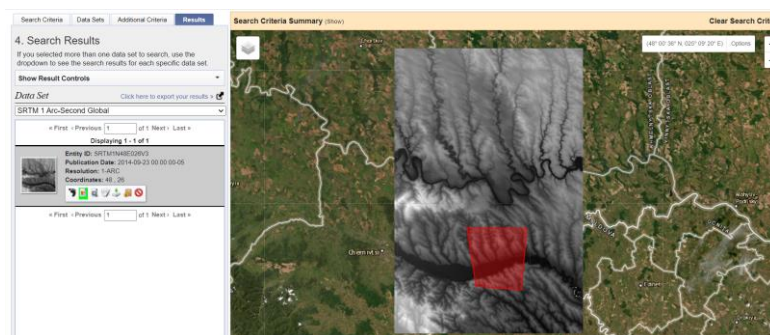


Рис.3.4 Візуалізація вікна відображення пошуку даних SRTM

У запропонованому вікні, що відкрилось необхідно обрати інструмент загрузки файлу. Після підтвердження імпорту слід обрати формат `-.tiff` та вказати файл - GeoTIFF 1Arc-second (Рис.3.5).

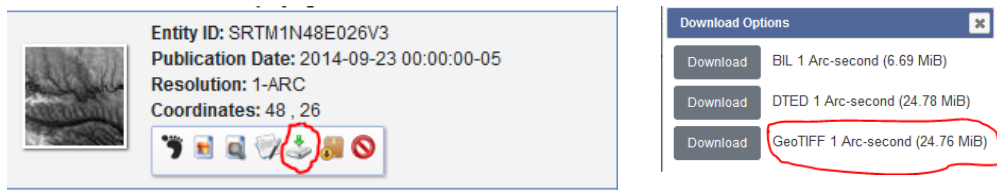


Рис.3.5 Набір можливих інструментів SRTM

З геопорталу необхідно імпортувати зазначену растрову інформацію з необхідною роздільною здатністю.

Після отримання файлу GeoTiff, його можна відкрити і додати як растровий шар в програму QGIS. Це дозволяє візуалізувати дані про рельєф території, де кожен піксель представляє середню висоту в метрах. Темні пікселі відображають ділянки з низькою висотою, а світлі - з високою. Щоб імпортувати SRTM-зображення, рекомендується використовувати плагін SRTM-Downloader у QGIS. Цей плагін дозволяє вказати територію за допомогою координат або карти і почати імпорт та пошук космічних знімків. Зазначено, що для певної території необхідно мати кілька імпортованих знімків SRTM, які потрібно об'єднати за допомогою підменю Растр-Різниці-Конструювати віртуальний растр. При цьому необхідно зареєструватися на сайті <https://earthexplorer.usgs.gov/>. В результаті цих заходів можна отримати детальну інформацію про рельєф території та візуалізувати її у програмі QGIS.

Якщо SRTM-зображення імпортовані в іншій проекції ніж зображення, що на робочому столі, то слід завдяки Растр-Проекція-Перепроєкціювання зробити заміну проекції до тієї, яка цікавить, при цьому слід провести налаштування як на запропонованому рисунку і зазначити роздільну здатність вихідного файлу – 30 метрів, а також обрати шлях збереження і назву у необхідному форматі Tif.

У даному тексті розглядаються кроки, необхідні для обробки даних растру. Згідно інструкції, спочатку потрібно видалити зменшену область з вихідного растру за допомогою функції вирізання області. Потім область

масштабується за допомогою інструменту Масштаб та виділяється за допомогою кнопки Протяжність карти або прямокутної рамки. Остаточно оброблена область зберігається в новому файлі.

Далі розглядається крок заповнення поглиблення. Для цього вибирається функція "Заповнити поглиблення" і проводяться налаштування, що включають вибір файлу, до якого буде застосована матриця висот, і вибір шляху збереження.

У кінці тексту зазначається, що після візуалізації території ЦМР буде можливість змінити чорно-біле зображення на кольорове за допомогою встановлення типу візуалізації - Одноканальна псевдокольорова, градієнт – топографічний, вказівки точності, інтерполяції та кількості кольорових класів.

Також слід продублювати шар (використавши контекстне меню вихідного шару). Через контекстне меню утвореного шару у полі "Render type" (Тип візуалізації) зазначити тип – "Відмивання", що дасть можливість побачити зображення території як тіньову відмивку. Можна якщо потрібно виставити азимут та висоту Сонця, що дозволить візуально змінювати зображення з представленою тінню.

Проте, отримане зображення ЦМР є растровим. Для покращення візуалізації рельєфу та полегшення його векторизації необхідно створити горизонталі для території Недобоївської територіальної громади. Налаштування цих параметрів можна здійснити через меню Растр - Видалити - Горизонталі. Кількість метрів, які будуть прокреслені для ізоліній, може бути обрана відповідно до параметрів, запропонованих у функціональному меню.

Крім того, програмне забезпечення географічної інформаційної системи (ГІС) QGIS, яке використовується в дипломній роботі, дозволяє конфігурувати лінії кілометрової сітки з необхідними підписами.

Це дозволяє візуалізувати існуючі тематичні векторизовані шари для Недобоївської територіальної громади у поєднанні з підписаними лініями кілометрової сітки (Рис. 3.6).

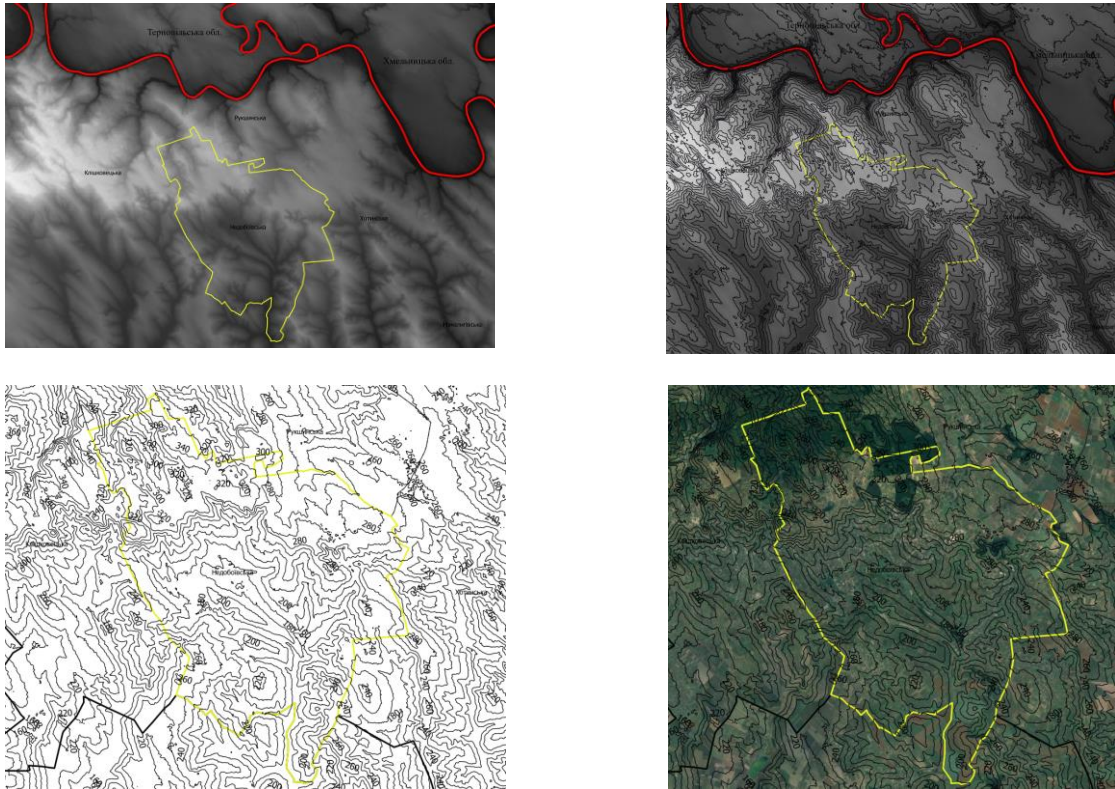


Рис.3.6 Утворений лінійний рельєф завдяки горизонталям для території Недобоївської територіальної громади в середовищі QGIS

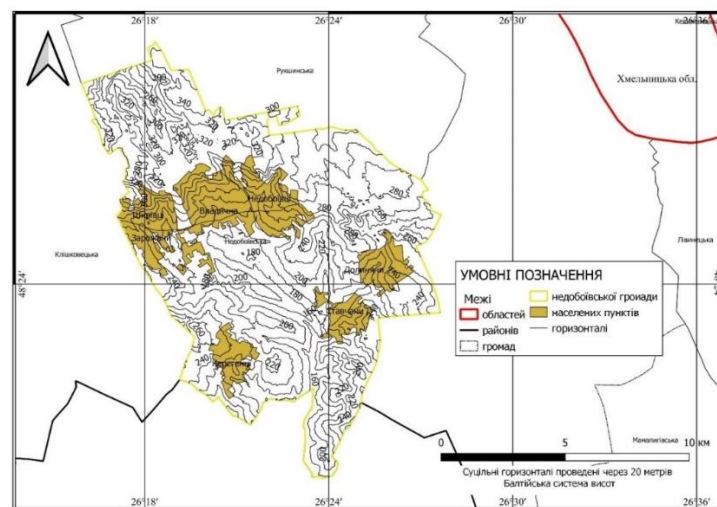


Рис. 3.7 Вигляд вікна ГІС «Недобовська територіальна громада»

Використовуючи дані геопорталу Державної геодезичної мережі проаналізовано та імпортовано дані розташування пунктів ДГМ (Рис.3.8).

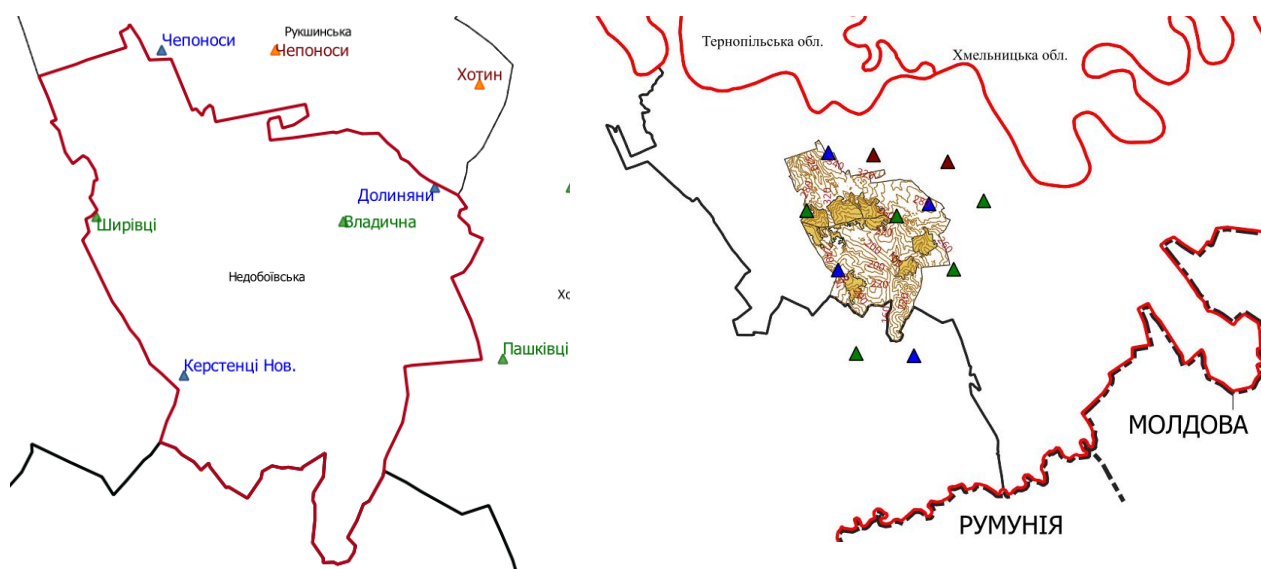


Рис. 3.8 Геодезичне забезпечення території Недобоївської територіальної громади

Загальна кількість пунктів ДГМ, що розташовані в межах території Недобоївської територіальної громади складає 4 одиниці. Це пункти: ДГМ 2 – го класу – Долиняни – північний схід території досліджень, Керстенці – південний захід Недобоївської територіальної громади біля межі однойменного села, 3-го класу – Владична, що розміщений в центральній частині території поблизу східної межі населеного пункту с. Недобоївці та Ширівці, що знаходиться в західній частині громади. Також, поряд межі громади (на півночі та на заході) розташовані ще три пункти: 2-го класу Чепоноси, 3-го класу Пашківці, розрядна геодезична мережа – Чепоноси.

Враховуючи що площа громади становить – 79,5 кв. км, то щільність пунктів дорівнює 1 пункт на 11,36 км². Згідно «Основних положень створення пунктів ДГМ» середня щільність пунктів ДГМ повинна бути не менше одного пункту на 30 км² [33,39]. Тому середня щільність пунктів ДГМ для території Недобоївської територіальної громади є задовільною.

Створивши ЦММ для території Недобоївської територіальної громади

та знаючи просторове положення пунктів ДГМ можна створити картосхему їх просторового поширення (Рис.3.9).

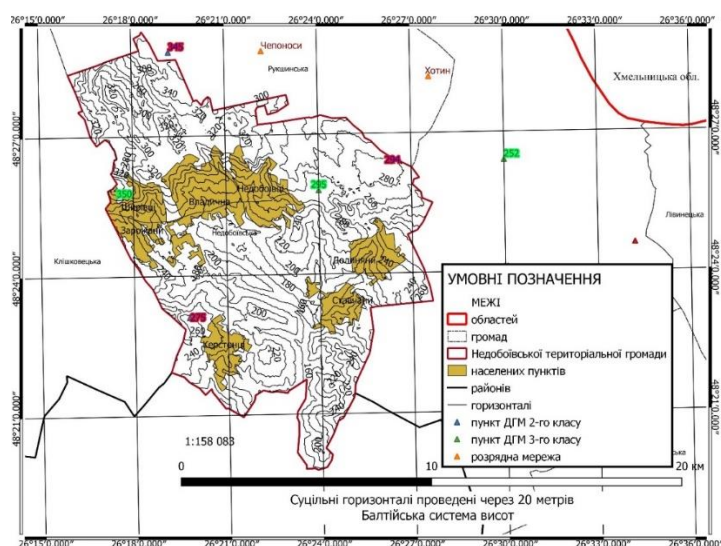


Рис. 3.9 Картосхема просторового поширення пунктів ДГМ території Недобовітської громади.

3.3 Створення буферів у вигляді кола для пунктів ДГМ

Перед створенням буферів необхідно:

- Імпортувати векторний шар з пунктами ДГМ — це може бути файл у форматі .shp, .csv (з координатами X, Y), GeoJSON або таблиця, отримана з геопорталу ДГМ.
- Переконались, що координати пунктів зчитуються правильно: кожен пункт повинен мати геометрію “точка” (Point).
- Встановити систему координат проекту — EPSG:32635 (WGS 84 / UTM zone 35N) або EPSG:5561 (УСК-2000 зона 6) для метричних розрахунків.

(Якщо залишити географічну — наприклад, EPSG:4326 — то буфери обчислюватимуться у градусах, а не в метрах!)

2. Відкриття інструмента створення буферів

1. У верхньому меню QGIS необхідно вибрати:
2. Вектор → Геообробка → Буфер (Buffer)

або натиснути Ctrl + Alt + T, щоб відкрити Панель інструментів обробки (Processing Toolbox) і знайти інструмент Buffer (у розділі *Vector geometry* → *Buffer*).

3. У вікні налаштувань потрібно вибрати:

-Вхідний шар (Input layer): шар пунктів ДГМ.

-Поле для буфера (Distance):

Якщо всі буфери мають однаковий радіус — ввести значення вручну (наприклад, 2000 для 2 км). Якщо для кожного пункту радіус різний (наприклад, залежно від класу пункту) — указати поле атрибутивної таблиці, де зберігається цей параметр.

4. Налаштування параметрів буфера

У цьому ж вікні задаються додаткові параметри (Табл.3.2):

Таблиця 3.2

Налаштування буферів у ГІС

Параметр	Пояснення	Рекомендації
Segments	кількість сегментів для апроксимації кола	20–50 (для плавного контуру)
End cap style	форма кінців буфера (для ліній)	для точок не впливає
Join style	спосіб з'єднання кутів	Round (округлий)
Miter limit	обмеження кута для вершин	залишити за замовчуванням
Dissolve result	об'єднання буферів, що перекриваються	увімкнути, якщо потрібно отримати суцільну зону
Distance units	одиниці виміру	метри (для UTM або УСК-2000)

5. Вибір шляху збереження результатів

- У полі Output shapefile натиснути «...» і вказати шлях збереження результату, наприклад:
- D:\QGIS_projects\buffers_DGM_2081m.shp
- Формат файлу — ESRI Shapefile (.shp) або GeoPackage (.gpkg).
- Натиснути - Run.

6. Візуалізація та перевірка результату

Після обчислення QGIS автоматично додасть шар буферів до карти.
Для перевірки:

- Увімкнути обидва шари — *пункти ДГМ та буфери*.
- Зменшити прозорість шару буферів (властивості → прозорість → 40–50 %) для візуальної оцінки.
- За допомогою інструмента Виміряти відстань (Measure Line) перевіряємо відстань від центру пункту до межі буфера — вона повинна дорівнювати введеному значенню (наприклад, $2081 \text{ м} \pm 1 \text{ м}$).

7. Автоматичне формування буферів із різними радіусами. Якщо потрібно задати різні радіуси для пунктів різних класів (наприклад):

- 1 клас — 3000 м
- 2 клас — 2000 м
- 3 клас — 1000 м

можна скористатися калькулятором полів. Відкрити атрибутивну таблицю пунктів. Додати нове поле radius_m (тип — “Дійсне число”). У калькуляторі ввести вираз:

```
CASE
  WHEN "class" = '1' THEN 3000
  WHEN "class" = '2' THEN 2000
  ELSE 1000
END
```

Потім у параметрах інструмента Buffer у полі *Distance field* вибрати radius_m. QGIS автоматично створить буфери з різними радіусами для кожного пункту. Після побудови буферів можна виконати просторовий аналіз:

- Перекриття буферів (Intersect) — визначити зони, де вплив пунктів перетинається;
- Віднімання (Difference) — виявити ділянки без покриття геодезичною мережею;
- Count points in polygon — підрахувати кількість пунктів у межах буфера чи полігона;
- Rasterize / Heatmap — побудувати карту щільності.

3.4 Створення буферів гексагонів для пунктів ДГМ території досліджень.

На відміну від звичайних буферів у вигляді кіл, гексагональні (шестикутні) буфери (Рис.3.10) дозволяють створювати регулярну та безперервну сітку без перекриттів або прогалин між зонами. Такий підхід забезпечує рівномірне покриття території й є ефективним для:

- аналізу щільності розміщення геодезичних пунктів;
- моделювання зон геодезичного забезпечення;
- побудови карт покриття території пунктами ДГМ;
- виявлення ділянок із недостатнім геодезичним контролем.

R – радіус;

a – сторона;

r – радіус уписаного кола;

O - центр

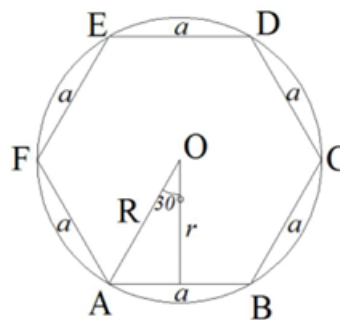


Рис. 3.10 Елементи гексагона

У геодезичних дослідженнях гексагональна сітка часто застосовується як альтернатива буферному аналізу, оскільки дозволяє точно оцінити просторовий розподіл об'єктів у межах однакових площинних елементів.

Створення гексагонів для всієї території дослідження.

Крок 1. Підготовка даних. Імпортуйте векторний шар межі території досліджень (наприклад, громади) — формат *.shp* або *.gpkg*. Перевірте, щоб шар мав метричну систему координат, наприклад: EPSG:32635 (WGS 84 / UTM Zone 35N) або EPSG:5561 (УСК-2000 зона 6).

Крок 2. Відкриття інструмента створення гексагонів. Відкрийте панель: Вектор → Дослідження → Створити сітку (Vector → Research Tools → Create Grid) або через Processing Toolbox — знайдіть інструмент: “Create grid” (Створити сітку)

Крок 3. Налаштування параметрів. У вікні інструмента виберіть (Табл.3.3)

Таблиця 3.3

Налаштування створення буферів

Параметр	Пояснення	Приклад значення
Тип сітки (Grid type)	тип геометрії сітки	<i>Hexagon (гексагон)</i>
Extent (межі створення)	область покриття	«Вибрати з шару» → межа громади
Horizontal spacing (горизонтальний інтервал)	відстань між центрами гексагонів по осі X	залежить від бажаного радіуса
Vertical spacing (вертикальний інтервал)	відстань між рядами гексагонів по осі Y	автоматично пов'язана з горизонтальним
Grid CRS	система координат	EPSG:32635
Output layer	шлях збереження файлу	наприклад, hex_grid_2943m.gpkg

Для радіуса 2.943 км рекомендується:

- Horizontal spacing: 5 093.2 м
- Vertical spacing: 4 412.6 м

(значення підібрані для точного радіуса ≈ 2.943 км між центром і вершиною гексагона).

Крок 4. Виконання та обрізання. Натисніть Run — QGIS створить гексагональну сітку для всієї області карти. Далі виконайте обрізання меж сітки по межах громади: Вектор → Геообробка → Обрізати (Clip)

У параметрах: Вхідний шар — гексагональна сітка, Маска обрізання — межа громади, Результат → hex_clip.gpkg

У підсумку отримується регулярна сітка гексагонів, що повністю покриває територію дослідження.

Створення гексагонів навколо точкових об'єктів (пунктів ДГМ).

Крок 1. Підготовка шару. Відкрийте або імпортуйте векторний шар пунктів ДГМ (тип геометрії — *точка*). Встановіть проєкцію (EPSG:32635 або УСК-2000) для метричних обчислень.

Крок 2. Використання атрибутивного калькулятора. Для створення однакових гексагонів навколо кожного пункту можна скористатися виразом у калькуляторі полів (Field Calculator). Відкрийте атрибутивну таблицю шару пунктів. Натисніть «Калькулятор полів». Створіть нове поле, наприклад geom_hex. Виберіть тип поля — Геометрія (Geometry) (у деяких версіях QGIS — змінна *\$geometry*). У полі виразу введіть: `buffer($geometry, 2943, 6)` — де 2943 — радіус (у метрах), 6 — кількість кутів (гексагон).

Пояснення: функція *buffer()* з параметром *segments* = 6 створює шестикутну фігуру навколо кожної точки.

Таким чином, кожен пункт ДГМ отримає індивідуальний буфер у вигляді гексагона. Натисніть ОК, і QGIS створить нове поле з геометрією гексагонів.

Також варто здійснити перевірку та аналіз. Виміряйте відстань від центроїда гексагона до вершини — повинна дорівнювати $2.943 \text{ км} \pm 0.01 \text{ км}$. За допомогою інструмента Count points in polygon визначте кількість пунктів, які потрапляють у кожен гексагон (якщо гексагональна сітка створена для всієї громади). У властивостях шару змініть тип відображення → Одноканальний псевдоколір (Singleband pseudocolor) або тематичну шкалу, щоб виділити зони з різною щільністю пунктів.

Таблиця 3.4

Переваги використання гексагонів для оцінки геодезичного забезпечення

Критерій	Пояснення
Безперервність покриття	Гексагональна сітка не має перекриттів чи розривів — на відміну від кругових буферів
Регулярність площі	Кожен елемент має однакову площу → забезпечується об'єктивність аналізу
Математична стабільність	Відстань між центрами однакова у всіх напрямках, що зручно для обчислення густоти
Наочність	Візуалізація у вигляді сот (hex grid) дозволяє швидко ідентифікувати “прогалини” геодезичної мережі
Можливість класифікації	За допомогою статистики можна визначити гексагональні зони з низьким або високим рівнем забезпечення

3.5 Порівняння геодезичного забезпечення території громади за допомогою створення різних буферів.

В роботі побудовано буфери у вигляді кіл для пунктів ДГМ території громади для різного масштабного ряду згідно нормативних документів.

Природньо, що територія непокрита буферами збільшується зі збільшенням масштабного ряду (Рис.3.11).



Рис.3.11 Оцінювання геодезичного забезпечення Недобоївської громади методом буферних зон у вигляді кола для масштабу 1:10 000, 1:5 000, 1:2000.

Відповідно до наведених вимог щодо забезпечення пунктами ДГМ різних масштабів визначено відповідні радіуси кіл. Завдяки функціональним можливостям QGIS визначено території, що непокриті буферами. Для цього через Вектор-Інструменти геообробки-Обрізка здійснено спочатку виокремлення територій, які покриваються буферами (Рис.3.12).

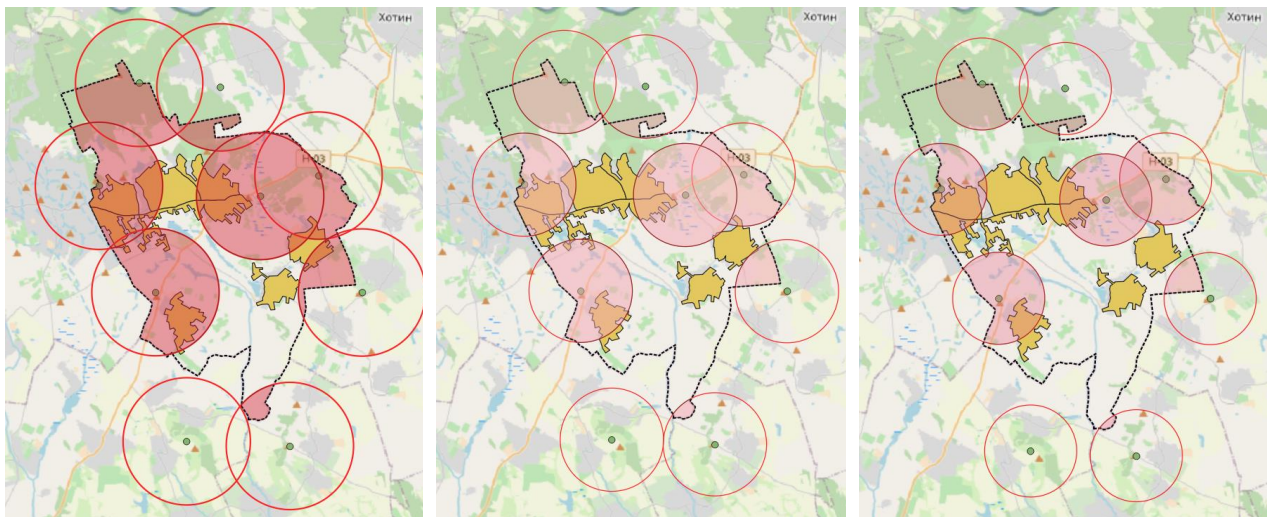


Рис.3.12 Виокремлення територій, що покриваються буферами кіл для масштабу 1:10 000, 1:5 000, 1:2000 території Недобоївської громади.

Надалі необхідно виокремити території громади, що не мають геодезичного забезпечення. Це можна зробити як різницю між попередньовиділеними ділянками, що потрапили під вплив буферів та рештою території Недобоївської громади. Останнє можна здійснити в напівавтоматичному режимі через Вектор-Обробка даних-Різниця ГІС QGIS (Рис.3.13).

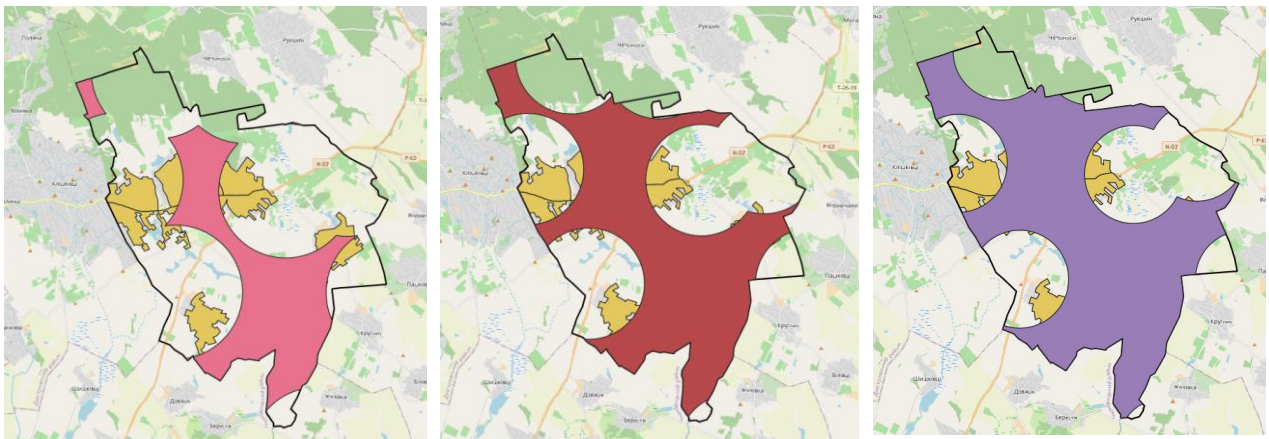


Рис.3.13 Виокремлення територій, що не покриваються буферами кіл для масштабу 1:10 000, 1:5 000, 1:2000 території Недобоївської громади.

Для майбутнього порівняння геодезичного забезпечення території визначено за допомогою побудови буферів різної форми необхідним є з'ясування кількісних характеристик, зокрема площі виділених ділянок. Це можна здійснити за допомогою створення в атрибутивній таблиці додаткового атрибута – Площа. Тому для кожної виділеної території що не покриваються буферами кіл різного масштабного ряду це було виконано і визначено їх площу (Табл.). При збільшенні масштабу зростає і показник площі територій невідповідності геодезичного забезпечення з 29% (при масштабі 1:10 000 – 1:25 000) до 61% (масштаб 1: 2 000).

Табл.3.4

Площі ділянок невідповідності геодезичного забезпечення для топографічних карт і планів відповідного масштабного ряду території Недобоївської громади (площа 129,5 км²)

Масштаб	1:10 000 – 1:25 000	1:5 000	1: 2 000
Радіус буфера R, км	3,090	2,523	2,185
Площа S, км ² , (% від загальної площі)	38,03 (29,4%)	64,12 (49,5%)	78,49 (60,61%)

На рисунку можна побачити ділянки, що не покриті буферами кіл, так звані білі плями, тобто місця, для яких геодезичне забезпечення не відповідає вимогам. Це означає, що топографічні карти (плани) на задану територію неможливо створити без порушень нормативних вимог.

У дослідженні для об'єктивної оцінки використано побудову гексагональних полігонів – у вигляді шестикутників.

Використовуючи нормативні документи і їх вимоги, щодо геодезичного забезпечення території здійснено обчислення величини відповідних гексагонів.

Площа кола розраховується за формулою $S_c = \pi R^2$, площа правильного гексагона (через відстань від центру до вершини R_h

$$S_h = \frac{3\sqrt{3}}{2} R_h^2 \quad . \text{ Потрібно прирівняти} \quad S_c = S_h \Rightarrow \pi R^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} R_h^2 \quad . \text{ Звідси}$$

$$R_h = R \sqrt{\frac{2\pi}{3\sqrt{3}}} \approx 1.0996R \quad .$$

Таким чином, зв'язок прослідковується в таблиці:

Таблиця 3.5

Відповідність характеристик гексагона розмірам кола відповідного радіуса згідно масштабного ряду карт і планів

Масштаб	Радіус кола R (км)	Радіус гексагона R_h (км)	Горизонтальний інтервал (м) = $1.5 \cdot R_h$	Вертикальний інтервал (м) = $\sqrt{3} \cdot R_h$
1:10 000 – 1:25 000	3.090	3.400	5100	5890
1:5 000	2.523	2.775	4163	4804
1:2 000	2.185	2.405	3608	4167

Спочатку створено для кожного пункту ДГМ буфери-гексагони через Калькулятор полів — створення нового шару. Відкривши атрибутивну таблицю свого точкового шару увімкнув Редагування , відкрив Калькулятор полів , увімкнув «Створити нове поле» і вибрав тип: Тип поля: *Геометрія (Geometry)* (у QGIS 3.28 — «Polygon / Multipolygon»), ім'я поля: `geom_poly`. У поле виразів вставив код :

```
make_polygon(
  make_line(
    array_foreach(
      generate_series(0, 5, 1),
      point_on_surface(
        translate(
          rotate(
            make_point(2405, 0),
            radians(@element * 60),
            make_point(0,0)
          ),
          x($geometry),
          y($geometry)
        )
      )
    )
  )
)
```

Натиснув ОК, зберіг зміни.

Пояснення до введеного коду:

- 2405 — це радіус у метрах від центру до вершини.
- `generate_series(0,5,1)` створює 6 вершин.
- `rotate(..., radians(@element * 60))` обертає кожну вершину на 60° .
- `translate(..., x($geometry), y($geometry))` зміщує фігуру до координат твоєї точки.
- `make_polygon(make_line(...))` перетворює з'єднані вершини у полігон.

Таким чином, кожен точковий об'єкт перетвориться на ідеальний шестикутник (гексагон) з радіусом 2405 м. Недоліком створення гексагонів таким способом є те, що шар залишиться точковим і подальші дії, щодо виокремлення територій, що вони покривають є проблематичним (Рис.3.15).

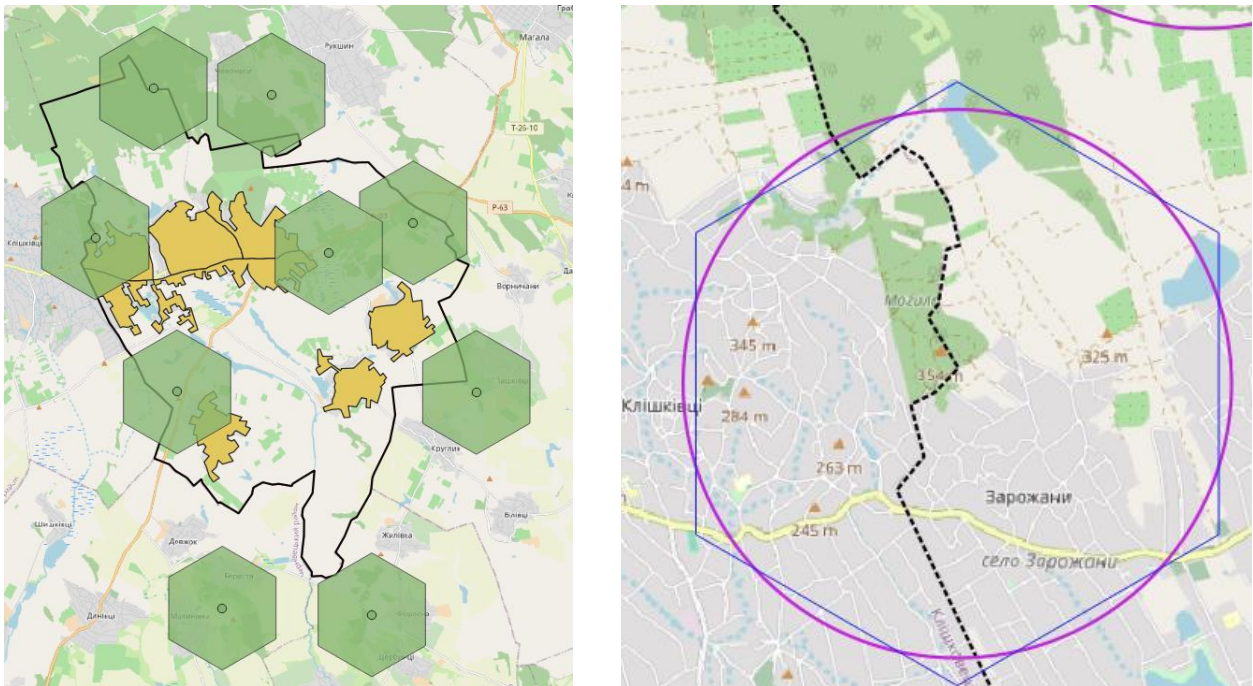


Рис.3.15 Створення буферів навколо пунктів ДГМ у вигляді Гексагонів

В роботі створено сітку з гексагонів відповідних розмірів для всієї території досліджень в QGIS у вигляді полігональних об'єктів. Відкривши панель: Вектор → Дослідження → Створити сітку (Vector → Research Tools → Create Grid) або через Processing Toolbox — знайдено інструмент: “Create grid” (Створити сітку) і здійснено налаштування параметрів. Важливим в полях «Горизонтальний інтервал» та «Вертикальний інтервал» — це кроки

між центрами гексагонів, ввести вірні відповідні дані. Для стандартної «загостреної» орієнтації (pointy-top), яку використовує QGIS:

$$X = \sqrt{3} \cdot s$$

$$Y = 1.5 \cdot s$$

де s — довжина сторони, і R — радіус від центру до вершини гексагона.

Якщо потрібно $R = 2405$ м (відстань від центру до вершини)

$$X = \sqrt{3} \cdot 2405 \approx 1.732 \cdot 2405 \approx 4168 \text{ м}$$

$$Y = 1.5 \cdot 2405 = 3607.5 \approx 3608 \text{ м}$$

Таким чином здійснено розрахунки для інших масштабних рядів (Таблиця 3.6)

Таблиця 3.6

Показники для створення буферів – гексагонів у QGIS

Масштаб	Радіус до середини сторони (r, км)	Радіус гексагона (до вершини) R _h , км	Горизонтальний інтервал (м)	Вертикальний інтервал (м)
1:10 000 – 1:25 000	2.943	3.400	5100	5890
1:5 000	2.402	2.775	4163	4804
1:2 000	2.081	2.405	3608	4167

Для підвищення точності в QGIS здійснено вимірювання радіуса у створених буферах створивши центроїди (Vector geometry → Centroids) і вимірявши до однієї з вершин відстань (Рис.3.16).

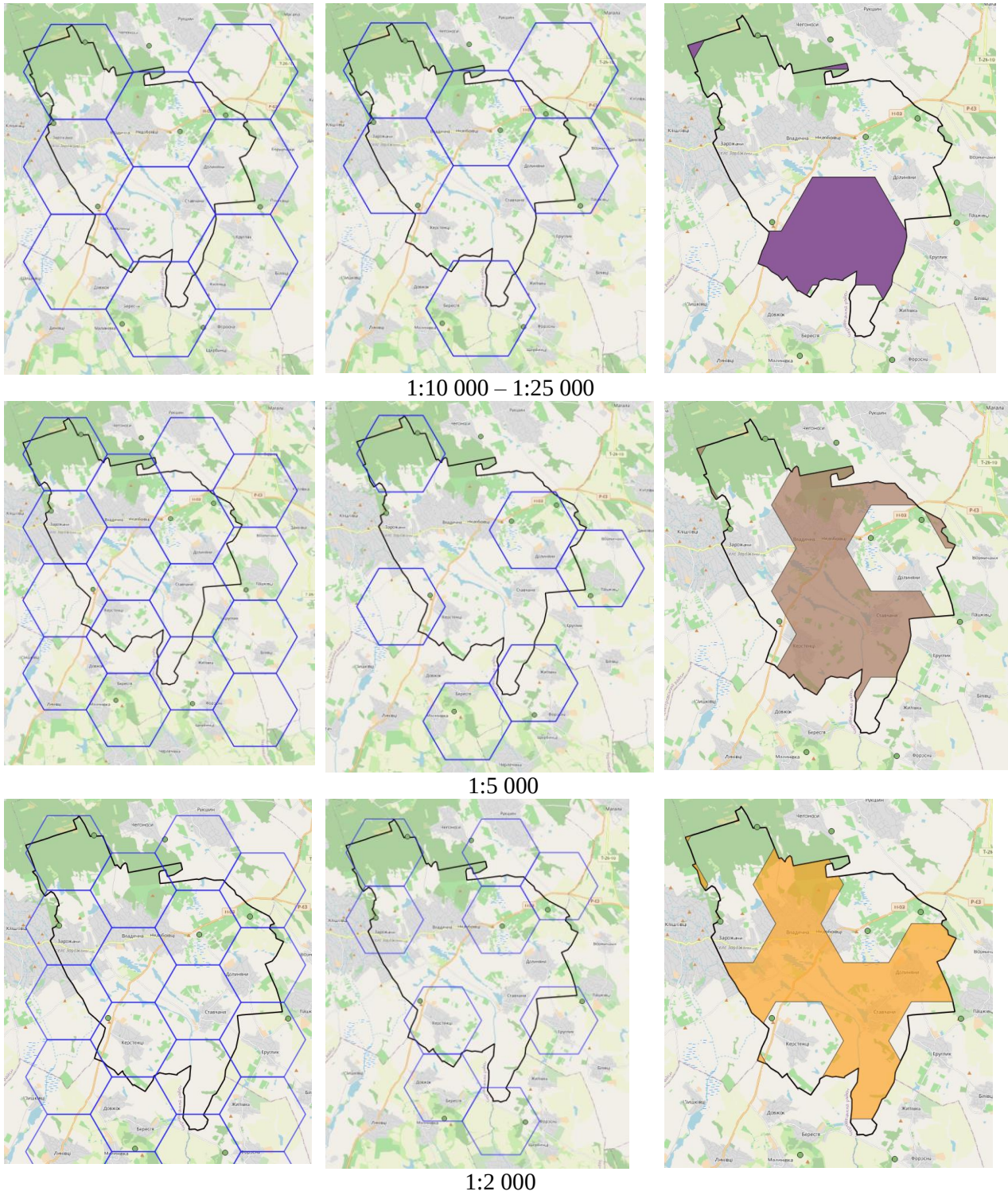


Рис.3.16 Оцінювання геодезичного забезпечення Недобівської громади методом буферних зон у вигляді гексагонів для масштабу 1:10 000, 1:5 000, 1:2000.

Таким чином, створені гексагони як буфери з відповідним радіусом дозволили оцінити геодезичне забезпечення території Недобоївської громади (Табл. 3.7). Встановлено, що площа невідповідності геодезичного забезпечення менша при побудові гексагонів ніж у вигляді кола для двох з трьох масштабів - 1:10 000 та 1: 2 000. Показники при першому масштабі зменшуються з 29,4% до 28,3%, а при масштабі 1:2000 з 60,6% до 52,3%. При масштабі 1:5000 показники навпаки зростають з 49,5% до 52,1%. Проте аналіз картосхеми показує, що саме розміщення гексагонів по території досліджень може частково змінювати ситуацію, тобто для пункту ДГМ, що знаходиться біля населеного пункту Чепониси побудова і розміщення гексагону може перекрити на півночі громади частину території. Тому територія невідповідності геодезичного забезпечення за даним способом зменшиться.

Табл.3.7

Статистичні дані оцінки геодезичного забезпечення території Недобоївської громади використовуючи буфери у вигляді кола та гексагонів.

Масштаб	1:10 000 – 1:25 000	1:5 000	1: 2 000
Радіус кола (R, км)	3,090	2,523	2,185
Площа невідповідності геодезичного забезпечення (S, км²), (% від загальної площі громади)	38,03 (29,4%)	64,12 (49,5%)	78,49 (60,61%)
Радіус гексагона до середини сторони (r, км)	2.943	2.402	2.081
Радіус гексагона (до вершини) (R _h , км)	3.400	2.775	2.405
Горизонтальний інтервал (м)	5100	4163	3608
Вертикальний інтервал (м)	5890	4804	4167
Площа невідповідності геодезичного забезпечення (S, км²), (% від загальної площі громади)	36,6 (28,3%)	67,4 (52,1%)	67,7 (52,3)

Важливим під час оцінки геодезичного забезпечення території є його оцінка, щодо території населених пунктів. Картосхеми показали, що при використанні масштабу 1:10 000 для території населених пунктів сіл Керстенці та Ставчани геодезичне забезпечення не відповідає вимогам. При збільшенні масштабу (1:5000) до зазначених територій приєднуються частина сіл Недобоївці, Владична. При використанні ще крупнішого масштабу (1:2000) додаються ділянки сіл Долиняни, Зарожани.

Висновки до розділу 3. У розділі розроблено й апробовано повний ГІС-процес оцінювання геодезичного забезпечення: від підготовки даних (векторні межі, пункти ДГМ, побудова ЦММ за SRTM та похідні шари) до просторового аналізу покриття буферами. Застосовано дві узгоджені моделі — кругові нормативні буфери та площі-еквівалентні гексагональні сітки. Порівняння показало, що гексагональна модель у двох масштабах зменшує «білі плями»: для 1:10 000–1:25 000 — з 29,4% до 28,3%, для 1:2 000 — з 60,6% до 52,3%; водночас для 1:5 000 спостерігається зростання з 49,5% до 52,1%, що зумовлено позиціюванням сітки й конфігурацією меж.

ВИСНОВКИ

1. Використано площинно-еквівалентну відповідність між круговими та гексагональними буферами, що забезпечує коректне порівняння результатів при різних масштабах. Для масштабів 1:10 000–1:25 000 та 1:2 000 гексагональна модель зменшила площі невідповідності геодезичного забезпечення (з 29,4% до 28,3% і з 60,6% до 52,3% відповідно), що свідчить про її ефективність для скринінгу «білих плям».

2. Для масштабу 1:5 000 зафіксовано збільшення невідповідності геодезичного забезпечення території (49,5% → 52,1%). Аналіз карт показав, що це пов'язано з положенням сітки відносно пунктів ДГМ і конфігурацією меж; зміщення сітки дозволяє частково нівелювати ефект.

3. Виділено населені пункти та їх ділянки, де геодезичне забезпечення не відповідає вимогам при переході до крупніших масштабів; саме ці зони є пріоритетними для згущення мережі.

4. Для стратегічного планування робіт доцільно поєднувати швидку hex-оцінку (для загального огляду) з нормативними круговими буферами (для формального підтвердження), враховуючи сценарне позиціювання сітки та бюджетне згущення пунктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білокриницький С. М. Оцінка можливості створення топографічних карт і планів на територію Вінницької області. Матеріали міжнародної наукової конференції "Від географії до географічного українознавства: еволюція освітньо-наукових ідей та пошуків". 2016. С. 188–189.
2. 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.
3. Децентралізація та ефективне місцеве самоврядування : [навчальний посібник для посадовців органів влади та фахівців з розвитку місцевого самоврядування]. К. : ПРООН/МПВСР, 2016. 269 с.
4. 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>.
5. 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>
6. Зубков В. П. Топогеодезичне забезпечення як складова інформаційного забезпечення сил оборони України. URL: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2020-0/116> 121.
7. Карпінський Ю. Лященко. К. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні: НДІГК, 2006. 107 с.
8. 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.
9. Козаченко Т. І., Курач Т. М. Геоінформаційне картографування

науки та інноваційної діяльності в Україні Вісн. геодезії та картографії. 2004. №3. С. 32-43.

10. Колишко Р.А. Децентралізація публічної влади: історія та сучасні тенденції розвитку. Вісник КНУ. Серія «Міжн. відн.». 2015. Вип. 27. С. 198.

11. Линьов К.О. Децентралізація та лінійність у державному управлінні : автореф. дис. канд. наук з держ. упр. К., 2015. 210 с.

12. Мінченко Р.М. Проблеми децентралізації державної влади і їх взаємодія з місцевим самоврядуванням в Україні. Держава і право. № 39. с.452

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

14. 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.

15. 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.

16. 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>

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

18. Романко Р., Соколова Д. (2018). Застосування гекса гональних полігонів для оцінки геодезичного забезпечення територій Первомайського району. Міжнародна наукова конференція молодих вчених “Geoterrace-2018”, Львів, 144–147.

19. Самойленко В.М. Основи геоінформаційних систем. Методологія: Навчальний посібник. К.: Ніка-Центр, 2003. 276 с.
20. Скрипник Я.П. Основи геоінформаційних технологій. Методичні вказівки та завдання до практичних і лабораторних робіт Чернівці: Рута, 2004. 44с.
21. Скрипник Я.П. Практикум з основ ГІС та геоінформаційного картографування: Навчально-методичний посібник. Чернівці: ЧНУ, 2014. 171 с.
22. Статистичний щорічник Чернівецької області за 2016 рік. Головне управління статистики у Чернівецькій області; за ред. А. В. Ротаря. Чернівці, 2017. 534 с.
23. Тревого І.С., Кухтар Д., Ільків Є., Галярник М. Аналіз забезпечення територій пунктами державної геодезичної мережі. Геодезія та геодинаміка. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск II (42), 2021. С.35-43
24. Тревого І., Ільків Є., Галярник М. (2019). Аналіз сучасного стану ДГМ України. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Львів: Видавництво Львівської політехніки, № 2(38), С. 54–60.
25. Тревого І. С., Ільків Є. Ю., Галярник М. В. (2017). Моніторинг геодезичних пунктів: монографія. Івано Франківськ: ІФНТУНГ, 214 с.
26. Тревого І. С., Ільків Є. Ю., Галярник М. В. (2012). Про необхідність визначення висотного елемента місцезнаходження геодезичних пунктів. Вісник геодезії та картографії, No. 3(78), С. 4–6.
27. Третьяк А.М. Землепорядне проектування: Теоретичні основи і територіальний землеустрій: Навч. Посібник. К.: Вища освіта, 2006. 528 с.