

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

На правах рукопису

ШЕРЕМЕТА ВАЛЕНТИН ВАЛЕНТИНОВИЧ

Геоінформаційні методи визначення географічних центрів
територій адміністративних утворень на прикладі Волинської
області

Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій
Освітня програма Геодезія та землеустрій
Робота на здобуття другого (магістерського) освітнього рівня

Науковий керівник:
Уль Анна Володимирівна
доктор технічних наук, професор

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ
Протокол №
засідання кафедри геодезії,
землевпорядкування і кадастру
Від . . 2025 р.

Завідувач кафедри
д.т.н., проф. А.В. Уль _____

Шеремета В.В. Геоінформаційні методи визначення географічних центрів територій адміністративних утворень на прикладі Волинської області. Кваліфікаційна робота на правах рукопису. –ВНУ імені Лесі Українки, МОН України, Луцьк, –2025. -61 с.

У роботі досліджено проблему неоднозначності поняття "географічний центр" та проаналізовано вплив конфігурації території на результати його визначення. На прикладі Волинської області та її чотирьох адміністративних районів (Володимирського, Камінь-Каширського, Ковельського, Луцького) було проведено порівняльний аналіз шести геоінформаційних методів розрахунку центрів: центроїда, центру обмежуючого прямокутника, центру мінімального орієнтованого прямокутника, центру мінімального описуючого кола, центру опуклої оболонки та полюса недоступності.

За допомогою інструментарію ГІС QGIS було розраховано координати центрів та проведено кількісний аналіз їх просторової дисперсії. Встановлено, що для територій зі складною, видовженою формою (Камінь-Каширський, Ковельський райони) розбіжність між центрами є максимальною, що підтверджує висунуту гіпотезу. Водночас спростовано гіпотезу про те, що для компактних територій центри будуть збігатися: Луцький район, маючи найвищий індекс компактності, продемонстрував найбільшу варіативність результатів (до 26,5 км), що вказує на обмеженість традиційних індексів форми.

Ключові слова: географічний центр, геоінформаційні системи, QGIS, центроїд, полюс недоступності, Волинська область, просторовий аналіз, конфігурація території, мінімальні обмежуючі геометрії.

Sheremeta V.V. *Geoinformation methods for determining the geographical centers of the territories of administrative entities using the example of the Volyn region. Qualification work as a manuscript. –Lesya Ukrainka Eastern National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lutsk, –2025. –61 p.*

The work examines the problem of the ambiguity of the concept of “geographical center” and analyzes the influence of the configuration of the territory on the results of its determination. Using the example of the Volyn region and its four

administrative districts (Volodymyr, Kamin-Kashyrskyi, Kovel, Lutsk), a comparative analysis of six geoinformation methods for calculating centers was conducted: centroids, centers of bounding rectangles, centers of minimum oriented rectangles, centers of minimum describing circles, centers of convex hulls, and poles of inaccessibility.

Using the GIS QGIS toolkit, the coordinates of the centers were calculated and a quantitative analysis of their spatial dispersion was performed. It was found that for territories with a complex, elongated shape (Kamin-Kashirsky, Kovel districts), the discrepancy between the centers is maximum, which confirms the hypothesis. At the same time, the hypothesis that the centers will coincide for compact territories was refuted: the Lutsk district, having the highest compactness index, showed the greatest variability of results (up to 26.5 km), which indicates the limitations of traditional shape indices.

Keywords: geographic center, geographic information systems, QGIS, centroid, pole of inaccessibility, Volyn region, spatial analysis, territory configuration, minimum bounding geometries.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. Теоретико-методологічні засади визначення географічних центрів територій	9
1.1. Поняття "географічного центру" в геоінформатиці та картографії...	9
1.2. Аналіз останніх публікацій із тематики дослідження.....	12
1.3. Огляд геоінформаційних методів визначення центрів полігональних об'єктів	16
1.4. Характеристика об'єкта дослідження та вихідних даних	22
РОЗДІЛ 2. Практична реалізація визначення географічних центрів у середовищі QGIS	27
2.1. Підготовка вихідних векторних даних	27
2.2. Алгоритм розрахунку центрів за обраними методами	30
РОЗДІЛ 3. Порівняльний аналіз результатів та їх інтерпретація	35
3.1. Кількісний аналіз розбіжностей між географічними центрами.....	35
3.2. Вплив конфігурації території на розташування географічних центрів	39
3.3. Перевірка гіпотез	40
3.4. Практичні рекомендації щодо застосування різних методів	41
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45
ДОДАТКИ	49

Вступ

Актуальність теми. Поняття географічного центру території має важливе наукове та прикладне значення, слугуючи основою для просторового планування, розміщення інфраструктури, логістичного моделювання, а також виконуючи символічну та адміністративну функції. Однак, на відміну від простих геометричних фігур, для реальних адміністративних утворень зі складною конфігурацією меж не існує єдиного, загальноприйнятого визначення "центру". Різні математичні методи, що базуються на відмінних критеріях "центральності", дають різні результати, і ця розбіжність може сягати десятків кілометрів.

З розвитком геоінформаційних систем (ГІС) розрахунок центрів став технічно простим завданням, проте це лише загостило проблему коректної інтерпретації результатів. Вибір того чи іншого методу без розуміння його геометричної суті та чутливості до форми об'єкта може призвести до помилкових управлінських рішень. Адміністративно-територіальна реформа 2020 року в Україні створила нові райони зі значною морфометричною різноманітністю, що робить порівняльний аналіз їхніх географічних центрів особливо актуальним для потреб регіонального розвитку. Таким чином, дослідження варіативності положення географічних центрів залежно від методу розрахунку та форми території є нагальною науково-практичною задачею.

Об'єкт дослідження територія Волинської області та її чотирьох адміністративних районів (Володимирський, Камінь-Каширський, Ковельський, Луцький) в межах, встановлених реформою 2020 року.

Предмет дослідження просторові розбіжності між географічними центрами, розрахованими різними геоінформаційними методами, та їх залежність від морфометричних характеристик (форми, компактності) адміністративних територій.

Мета дослідження - провести порівняльний аналіз результатів визначення географічних центрів Волинської області та її районів за допомогою шести різних геоінформаційних методів, встановити зв'язок між конфігурацією

територій та варіативністю положення центрів, а також розробити практичні рекомендації щодо застосування кожного методу.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання дослідження:

1. Проаналізувати теоретико-методологічні засади визначення географічних центрів та охарактеризувати ключові алгоритми, реалізовані в ГІС.
2. Підготувати вихідні векторні дані адміністративних меж Волинської області та її районів для аналізу в середовищі QGIS, включаючи перепроєктування в належну систему координат.
3. Розрахувати координати шести типів географічних центрів (центроїд, центр обмежуючого прямокутника, центр мінімального орієнтованого прямокутника, центр мінімального описуючого кола, центр опуклої оболонки, полюс недоступності) для кожної адміністративної одиниці.
4. Провести кількісний аналіз розбіжностей між отриманими центрами шляхом розрахунку матриць відстаней та визначення ключових показників дисперсії.
5. Перевірити гіпотези щодо впливу форми території (компактної та складної) на ступінь розсіювання географічних центрів.
6. Сформулювати практичні рекомендації щодо вибору оптимального методу визначення центру залежно від конкретних прикладних завдань.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та вирішення завдань було використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, що базуються на принципах системного підходу та об'єктивності.

- Теоретичні методи:
 - *Аналіз та синтез наукових джерел*: застосовувався для вивчення теоретико-методологічних засад центрографії, огляду існуючих підходів до визначення географічних центрів та аналізу їхніх переваг і недоліків.
 - *Порівняльно-географічний метод*: використовувався для зіставлення морфометричних характеристик адміністративних районів

Волинської області з метою перевірки гіпотез щодо впливу конфігурації території на результати розрахунків.

- Геоінформаційні методи:
 - *Геоінформаційне моделювання*: стало основним інструментом дослідження, реалізованим у середовищі QGIS 3.40 LTS. Включало підготовку даних (валідацію геометрії, перепроєктування векторних шарів у систему координат УСК-2000), а також безпосередній розрахунок центрів за шістьма алгоритмами: центроїд, центр обмежуючого прямокутника, центр мінімального орієнтованого прямокутника, центр мінімального описуючого кола, центр опуклої оболонки та полюс недоступності.
- Аналітичні та статистичні методи:
 - *Методи просторового аналізу*: застосовувалися для кількісної оцінки розбіжностей між отриманими центрами шляхом розрахунку матриць евклідових відстаней.
 - *Статистичний аналіз*: використовувався для обробки отриманих даних, зокрема для визначення мінімальних, максимальних та середніх відстаней у кластерах центрів для кожної досліджуваної території.
 - *Картографічний метод*: слугував для візуалізації вихідних даних, проміжних та кінцевих результатів дослідження, що забезпечило наочність та полегшило інтерпретацію отриманих висновків.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані органами державної влади та місцевого самоврядування при розробці стратегій регіонального розвитку, схем просторового планування, а також для обґрунтування розміщення об'єктів адміністративної, соціальної та логістичної інфраструктури. Розроблені рекомендації надають чіткий інструментарій для фахівців у галузі геодезії, землеустрою та географії щодо вибору найбільш доцільного методу визначення центру для вирішення їхніх завдань. Обґрунтований у роботі мультицентровий

підхід дозволяє підвищити надійність прийняття рішень шляхом визначення "зони центральності", що є особливо важливим для територій зі складною конфігурацією.

Структура і обсяг роботи - Випускна кваліфікаційна робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 52 найменування та додатків на 11 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок основного тексту, у тому числі 16 таблиць та 6 рисунків

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОГРАФІЧНИХ ЦЕНТРІВ ТЕРИТОРІЙ

1.1. ПОНЯТТЯ "ГЕОГРАФІЧНОГО ЦЕНТРУ" В ГЕОІНФОРМАТИЦІ ТА КАРТОГРАФІЇ

Поняття "географічний центр" на перший погляд здається інтуїтивно зрозумілим — це певна точка, що репрезентує "середину" або "серце" певної території. Проте в науковому контексті, зокрема в геоінформатиці та картографії, це поняття є значно складнішим і неоднозначним. Географічний центр не є фізично існуючим об'єктом, а є математичною абстракцією, результат розрахунку якої залежить від цілої низки факторів та умов. Відповідно, визначення центру території — це не пошук однієї істинної точки, а вибір найбільш релевантного методу для вирішення конкретної прикладної чи дослідницької задачі.

Фундаментальна проблема полягає в тому, що для довільного полігонального об'єкта (яким є будь-яка адміністративна одиниця на карті) не існує єдиного загальноприйнятого математичного визначення "центру", на відміну від простих геометричних фігур, як-от коло чи квадрат. Неоднозначність виникає з трьох основних причин:

1. Різні критерії "центральності".

- Центр рівноваги (балансу) - це точка, в якій умовна пласка фігура території знаходитиметься в рівновазі. Це відповідає центроїду.
- Найбільш "внутрішню" точка – це точка, максимально віддалена від усіх кордонів. Це відповідає полюсу недоступності.
- Центр габаритів -це точка, що є центром простої фігури, яка повністю вміщує досліджувану територію. Це відповідає методам на основі мінімальних обмежуючих геометрій.

- Центр концентрації населення чи економіки - це точка, що є середньозваженою за певним показником. Це відповідає демографічному чи економічному центру.

Вибір критерію повністю залежить від мети. Для планування логістичного хабу важливий один тип центру, для розміщення державної установи — інший, а для символічного монумента — третій.

Межі адміністративних утворень рідко бувають простими. Вони мають складну, порізану лінію кордонів, виступи, ексклави та анклави, що унеможливає застосування простих геометричних формул.

Земля є тривимірним геоїдом, а для розрахунків ми використовуємо його двовимірне представлення на карті — проєкцію. Цей перехід неминуче призводить до спотворень, які впливають на результат.

Результат розрахунку географічного центру є чутливим до чотирьох ключових факторів, ігнорування яких може призвести до некоректних висновків.

- Форма об'єкта (конфігурація території)

Це найочевидніший фактор. Для компактних, округлих територій більшість методів дадуть дуже близькі результати. Однак для територій складної форми розбіжності будуть суттєвими. Наприклад, для області у формі літери "С" центроїд може опинитися за її межами, тоді як полюс недоступності буде знаходитись глибоко всередині одного з "ріжків". Довгі, вузькі виступи на території сильно зміщують центр описуючого прямокутника, але слабше впливають на полюс недоступності.

- Обраний метод розрахунку

Як було зазначено вище, кожен метод базується на власному визначенні "центральності". Центроїд враховує координати кожної точки контуру, центр мінімального описуючого кола залежить лише від кількох крайніх точок території, а полюс недоступності — від конфігурації найближчих до нього ділянок кордону.

- Картографічна проєкція

Будь-яка проєкція спотворює або площі, або форми, або відстані.

Рівноплощинні проєкції (напр., Albers Equal Area) зберігають співвідношення площ. Вони є найкращими для розрахунку центроїда, оскільки кожна ділянка території робить "правильний" внесок у його положення.

Рівнокутні (конформні) проєкції (напр., Mercator, UTM) зберігають кути та форми малих об'єктів, але сильно спотворюють площі, особливо при віддаленні від центральних меридіанів. Розрахунок центроїда в такій проєкції для великої території (як Україна) призведе до зміщення центру в бік більших, "розтягнутих" площ. Тому для коректних розрахунків важливо обирати проєкцію, що мінімізує спотворення саме для вашого регіону.

Векторна модель кордонів, з якою ми працюємо в ГІС, сама по собі є спрощенням реальності. Лінія кордону на карті масштабу 1:1 000 000 буде значно гладшою (більш генералізованою), ніж на карті 1:50 000. Ця різниця в деталізації берегової лінії чи звивистості кордону призводить до незначних, але все ж таки змін у геометрії полігону, що, в свою чергу, вплине на точне положення розрахованого центру.

До появи комп'ютерних технологій визначення центрів було складним завданням і виконувалось переважно механічними або графічними методами.

Механічний метод - найвідоміший приклад визначення центру мас. Для цього виготовлялася фізична модель території з однорідного матеріалу (наприклад, картону або металевої пластини), яка потім підвішувалася або встановлювалася на вістря для знаходження точки рівноваги.

Графічні методи полягали в геометричних побудовах на карті за допомогою циркуля та лінійки для знаходження центрів вписаних кіл або описуючих фігур. Ці методи були трудомісткими та мали низьку точність.

Символічний підхід, де часто за центр приймали не геометричну точку, а столицю, найбільше місто або історично значуще місце.

Розвиток геоінформаційних систем кардинально змінив підходи, зробивши можливими точні та швидкі розрахунки за складними алгоритмами.

Усі згадані методи (центроїд, полюс недоступності, центр мінімальної обмежуючої геометрії) реалізовані як готові інструменти в програмному забезпеченні, такому як QGIS чи ArcGIS.

Сучасні ГІС дозволяють легко інтегрувати додаткові дані. Це уможливило розрахунок зважених центрів, де "вагою" кожної точки є не лише її геометричне положення, а й густота населення, ВВП, обсяг виробництва тощо.

Найсучасніші підходи дозволяють проводити розрахунки безпосередньо на поверхні еліпсоїда, що повністю виключає помилки, пов'язані з картографічними проєкціями, хоча такі обчислення є значно складнішими.

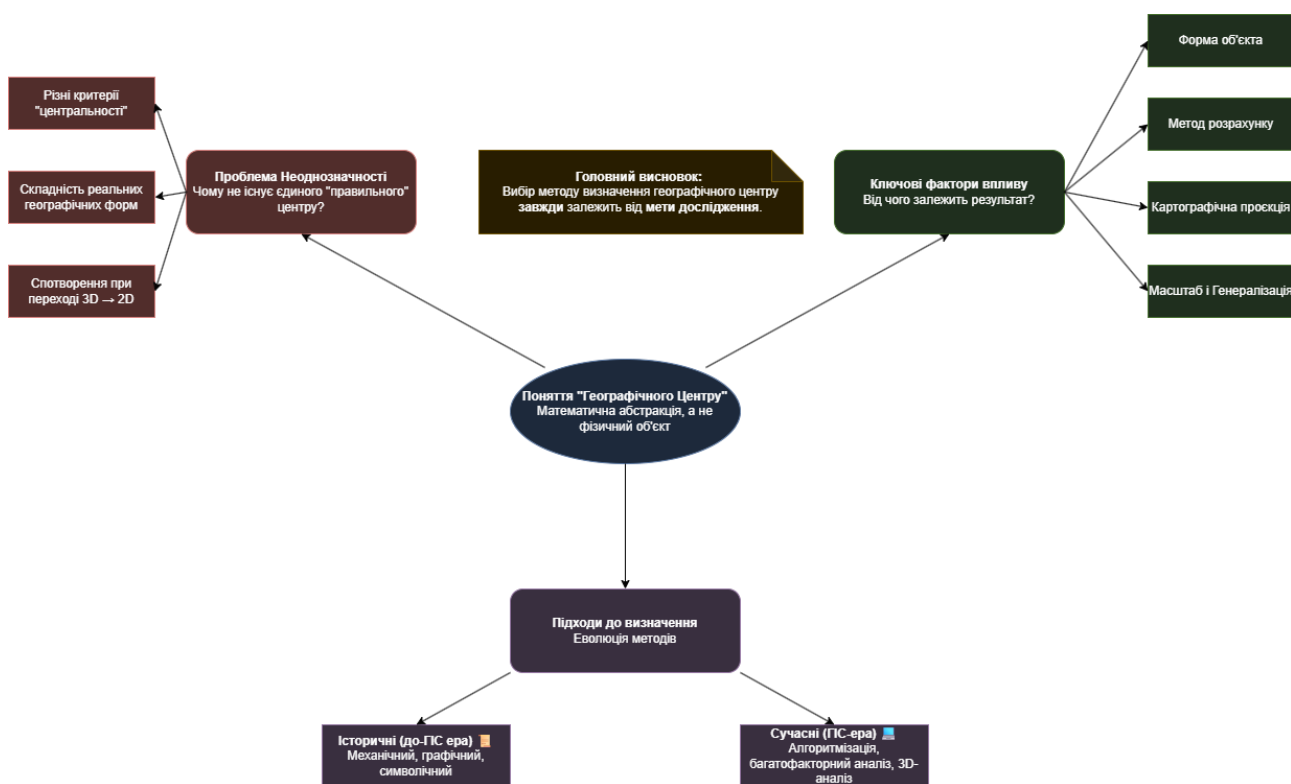


Рис. 1.1. Основні фактори визначення географічних центрів.

Таким чином, сучасна геоінформатика розглядає географічний центр не як статичну точку, а як динамічну характеристику, вибір якої має бути науково обґрунтований відповідно до цілей дослідження.

1.2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ПУБЛІКАЦІЙ ІЗ ТЕМАТИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Центрографія як науковий напрям, що вивчає просторові центри об'єктів, є фундаментальною складовою географічної науки. Визначення географічного

центру території (центроїда) має важливе науково-прикладне значення, включаючи картографічне забезпечення, гео економічне та геополітичне планування, а також екскурсійно-туристичну функцію.

Літературний аналіз [1-9] свідчить, що в умовах нової інформаційної епохи та розвитку технічного забезпечення точність визначення основних географічних параметрів має бути значно вищою, ніж у попередніх дослідженнях. Багато ранніх публікацій не містили детальних характеристик використаних картографічних матеріалів, обсягів вимірів або оцінки точності результатів, що ставило під сумнів їхню достовірність. Вирішення цієї проблеми досягається шляхом інтеграції сучасних геоінформаційних систем (ГІС) та високоточних геодезично-картографічних технологій.

Визначення координат центроїда як центра ваги території вимагає застосування аналітичних методів, які найкраще реалізуються в середовищі ГІС, оскільки вони здатні опрацьовувати великі масиви високоточних просторових даних.

Основний аналітичний підхід ґрунтується на визначенні центроїда як центра мас (центра ваги) плоского тіла. В роботі [4] було використано цей підхід для визначення Географічного Центру України (ГЦУ), застосовуючи модель Землі у формі еліпсоїда Красовського. Методологія вимагає переходу від географічних координат до декартових, а потім зведення подвійних інтегралів по території на еліпсоїді до контурних інтегралів уздовж граничної лінії. Обчислення контурних інтегралів, виконане шляхом чисельного інтегрування по елементарних прямолінійних відрізках границі, є прикладом високоточного геодезичного розрахунку, що становить основу для подальших ГІС-реалізацій.

Для забезпечення високої достовірності результатів дослідники вдаються до таких ГІС-сумісних методик:

С. Остапчук та Р. Німкович [9] для визначення географічних сталих Рівненської області використовували картографічні матеріали масштабу 1:10 000 та оцифрували 9708 точок по периметру області.

Для площадної оцінки, наприклад, об'єктів забруднення або центроїда Сумської області [5], застосовується точкова дискретизація, замінюючи площу території регулярною мережею точок (наприклад, близько 1000 точок). У дослідженні Чернівецької області [1] використовувалися координати географічних центрів адміністративних районів для розрахунку загального центру області.

А. О. Корнус [5] визнав імовірісно-статистичний спосіб (з використанням електронної карти) найбільш точним для Сумської області, порівняно з методом середніх координат.

Для виконання точних центрографічних розрахунків і просторового аналізу залучається спеціалізоване програмне забезпечення: Digitals, AutoCad 2008 та Excel використовувалися для оцифрування меж, імпорту даних та коректного обчислення центру мас (центроїда) для Рівненської області [9].

ESRI ArcGIS (зокрема модулі ArcMap та Spatial Analyst) є ключовим інструментом для геоінформаційного моделювання у сфері природокористування, забезпечуючи геокодування, ректифікацію, оверлейний аналіз та топологічну корекцію просторових даних.

MapInfo Professional та MS Excel використовувалися для просторового аналізу розселення та розрахунку центрів заселеності Волинської області [6].

Завдяки застосуванню високоточних геодезичних методів, підтриманих цифровими картами та ГІС-технологіями, були отримані уточнені координати центрів для різних адміністративних одиниць:

В результаті наукових досліджень Географічного Центру України (ГЦУ) [4] як центр ваги території було визначено у точці з координатами $49^{\circ}01'39''$ пн. ш. і $31^{\circ}28'58''$ сх. д. (с. Мар'янівка, Черкаська область). Це місцезнаходження було затверджене наказом Держкомприроди України від 20 травня 2005 року. Розрахунки базувалися на побудові регулярної сітки трапецій на цифровій топографічній карті масштабу 1:200 000 з кроком $0,1'$, що забезпечило середню квадратичну помилку положення $\pm 0,24'$, або 407 м.

Встановлено нові, більш достовірні координати географічного центру Рівненської області: $51^{\circ}02'08,8''$ пн. ш., $26^{\circ}23'12,1''$ сх. д. (у системі WGS-84) [9]. Проведений аналіз підтвердив суттєву розбіжність між новими високоточними даними і застарілими значеннями, що підкреслює необхідність використання сучасних технологій.

Застосування центрографічного методу з використанням ГІС MapInfo Professional та аналітичних формул дозволило визначити географічний центр Волинської області з високою точністю: $51^{\circ}11'15,35''$ пн. ш. і $24^{\circ}52'20,16''$ сх. д. [6].

ГІС-технології забезпечують не тільки визначення геометричного центру, але й розширений просторовий аналіз. У Волинській області було визначено не лише географічний центр, але й центри ваги всього, міського та сільського населення (демоцентри). Це дозволило розрахувати дисцентриситет (відстань між географічним і демографічним центрами) та коефіцієнт ексцентральності, що є важливим для оцінки просторової неоднорідності розселення.

При дослідженні Чернівецької області [1] застосовувався комплекс методів (середніх координат, медіанної точки, класичний аналітичний метод та ін.), узагальнені результати яких вказують на розташування центру поблизу с. Остриця Новоселицького району ($48^{\circ}16'30''$ пн. ш., $26^{\circ}03'45''$ сх. д.). Крім того, для кількісної оцінки транспортно-географічного положення адміністративних центрів області використовувалася теорія графів.

Визначення геодезичних координат центроїда є обов'язковою вимогою для площинних об'єктів забруднення, необхідною для державного обліку об'єктів у Міністерстві захисту довкілля. У дослідженні басейнової геосистеми р. Бережниця [7], ГІС (ESRI ArcGIS) використовувалася для створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР) та моделей параметрів рельєфу (крутизна, експозиція), що дозволило розробити оптимальну геоінформаційну модель структури землекористування та визначити потенційно небезпечні в ерозійному сенсі території.

ГІС технічно уможливорює детальний діахронічний просторовий аналіз історії адміністративно-територіального поділу (АТП), дозволяючи розглядати динамічні полігональні об'єкти (АТО) та розраховувати показники мінливості/стійкості меж (наприклад, коефіцієнт компактності). Цей методологічний апарат є необхідним для комплексного вивчення територіальних систем.

1.3. ОГЛЯД ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРІВ ПОЛІГОНАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

У багатьох задачах ГІС (географічної інформаційної системи) потрібен «центральный» пункт полігону: це може бути як точка, що представляє геометричну середину, так і точка, яка максимально віддалена від країв – «центр внутрішньої частини». Нижче подано короткий огляд найпоширеніших підходів (табл.1.1).

Визначення географічного центру полігонального об'єкта в геоінформаційних системах є задачею, що не має єдиного аналітичного розв'язку, оскільки результат залежить від обраного алгоритму та концептуального розуміння "центральності". Сучасні ГІС-пакети, такі як QGIS, пропонують низку інструментів, що реалізують різні математичні підходи. Розглянемо ключові з них, що були застосовані в даному дослідженні.

1.3.1. Центр мас (центроїд)

Центр мас або центроїд, є найбільш поширеним методом визначення геометричного центру фігури. Він репрезентує середнє арифметичне положення усіх точок, що утворюють полігон. Фізичною аналогією центроїда є центр гравітації однорідної пласкої фігури (ламіни), вирізаної за формою досліджуваної території [13].

Для полігону, що заданий координатами своїх n вершин $(x_0, x_0), (x_1, x_1), \dots, (x_{n-1}, y_{n-1})$, координати центроїда (C_x, C_y) обчислюються за формулами (1.1-1.2):

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (1.1)$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (1.2)$$

де A — це площа полігону, що розраховується за формулою Гаусса (метод шнурівки):

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (1.3)$$

Для замкненого полігону приймається, що $(x_n, y_n) = (x_0, y_0)$.

Перевагами цього методу є його математична строгість, однозначність результату для будь-якого полігону та висока швидкість обчислення в сучасних ГІС. Однак його ключовим недоліком є те, що для неконгруентних (ввігнутих) полігонів складної форми, наприклад, територій у формі півмісяця або з глибокими затоками, центроїд може розташовуватися поза межами самого полігону, що робить його непридатним для задач, де центр обов'язково має бути всередині об'єкта [14].

Детальний огляд найпоширеніших методів визначення географічних центрів приведений у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Огляд найпоширеніших підходів до визначення географічних центрів

№	Метод	Коротке пояснення	Переваги	Недоліки
1	Центр мас (центроїд)	Математичне середнє координат усіх точок полігону. Якщо полігон розбитий на трикутники, центроїдом можна визначити як вагове середнє їхніх центрів за площами.	Легко обчислюється. Унікальний для кожного полігону.	Може лежати поза межами полігону (особливо при «загибках»). Не враховує геометричну форму.
2	Описуючий прямокутник (Envelope/Bounding Box)	Найпростіша обмежувальна фігура – прямокутник, вирівняний по осям координат, що охоплює всі вершини полігону.	Оперативне розрахування. Легко зрозуміло і візуально.	Чутливий до «викидів» (маленьких відгалужень). Центр прямокутника не обов'язково лежить у полігоні.
3	Мінімальний орієнтований прямокутник	Прямокутник, який містить полігон і має мінімальну площу серед усіх можливих (не обмежений орієнтацією по осям).	Більш точна «обгортка» ніж Envelope. Центр прямокутника краще розташований у внутрішній частині.	Потрібно виконати пошук оптимальної орієнтації (наприклад, алгоритм Rotating Calipers). Відповідає лише прямокутним обгорткам.
4	Мінімальне описуюче коло	Найменше коло, що охоплює всі вершини полігону (MinEnclosingCircle).	Центр кола – точка, яка мінімізує максимальну відстань до будь-якої точки полігону. Не залежить від орієнтації. Підходить для «площих» об'єктів.	Може бути занадто великим – коло не враховує внутрішню форму полігону. Центр може розташуватися поза межами полігону, якщо форма дуже асиметрична.
5	Опукла оболонка (Convex Hull)	Найменший опуклий полігон, що містить усі вершини заданого неповного полігону.	Усуває «внутрішні» вигини та затоки. Центроїд Convex Hull часто використовується як простий наближений центр.	При сильному «загибанні» втрачає інформацію про внутрішню структуру. Центроїд оболонки може бути далеко від реального центру «внутрішньої» частини.
6	Полюс недоступності (Pole of Inaccessibility – POI)	Точка, яка максимально віддалена від усіх країв полігону. У географії це часто використовується для знаходження центру «внутрішньої» частини острова або території.	Природно описує «центральність» області. Корисний при плануванні розташування інфраструктури (наприклад, мітки).	Обчислення може бути складним (вимагає алгоритмів типу “polylabel”). В деяких випадках POI не лежить в реалістично бажаній позиції (наприклад, у полігонах з дуже вузькими протіканнями).

1.3.2. Методи на основі мінімальних обмежуючих геометрій (Minimum Bounding Geometry)

Дана група методів базується на принципі апроксимації — заміни складної геометрії вихідного полігону на просту, правильну геометричну фігуру, яка його повністю охоплює. Центр цієї простої фігури й приймається за шуканий географічний центр. Цей підхід дозволяє нівелювати незначні вигини кордонів та отримати центр, що характеризує загальні габарити та форму території.

- Описуючий прямокутник (Envelope / Bounding Box)

Це найпростіша апроксимація, що являє собою прямокутник, сторони якого паралельні осям координат і проходять через екстремальні (мінімальні та максимальні) координати полігону: $x_{min}, x_{max}, y_{min}, y_{max}$. Його центр обчислюється елементарно:

$$C_x = \frac{x_{min} + x_{max}}{2}; \quad C_y = \frac{y_{min} + y_{max}}{2} \quad (1.4)$$

Цей метод надзвичайно швидкий, але дуже чутливий до орієнтації об'єкта та наявності "викидів" — окремих віддалених точок, що можуть значно збільшити розмір прямокутника і змістити його центр (рис. 1.2).

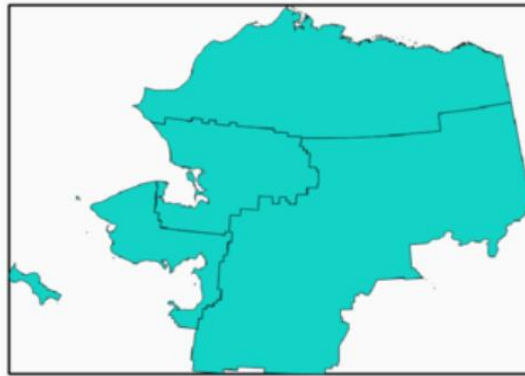


Рис. 1.2. Ілюстрація алгоритму описуючого прямокутника [15]

- Мінімальний орієнтований прямокутник (Minimum Oriented Rectangle)

На відміну від попереднього, цей прямокутник не прив'язаний до осей координат і має мінімально можливу площу серед усіх прямокутників, що охоплюють полігон. Алгоритм його знаходження, як правило, базується на методі "обертаних штангенциркулів" [15], застосованому до опуклої оболонки

об'єкта. Цей метод забезпечує значно щільніше "обгортання" для витягнутих та довільно орієнтованих територій (Рис. 1.3).

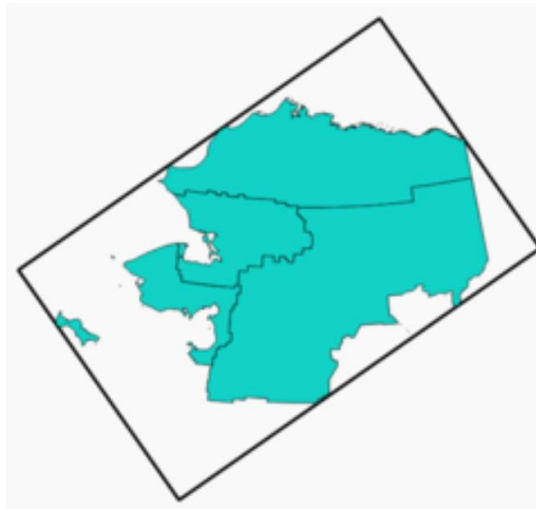


Рис. 1.3. Ілюстрація алгоритму мінімально орієнтованого прямокутника [15]

- Мінімальне описане коло (Minimum Enclosing Circle)

Це коло найменшого можливого радіуса, яке містить у собі всі вершини полігону. Його центр є точкою, що мінімізує максимальну евклідову відстань до будь-якої точки території. Це визначення має важливе прикладне значення для задач логістики та розміщення інфраструктури (наприклад, розташування телекомунікаційної вежі) (Рис. 1.4).

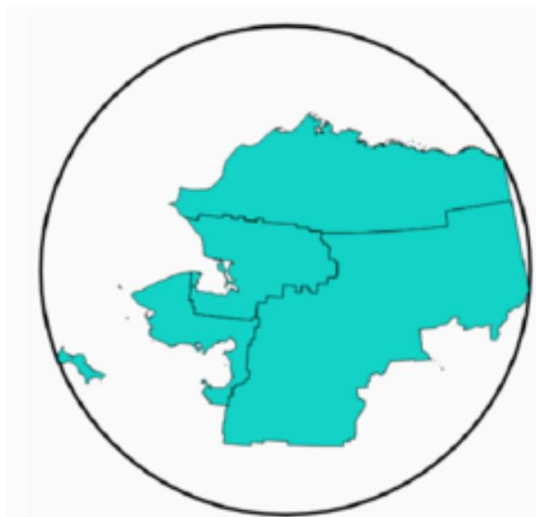


Рис. 1.4. Ілюстрація алгоритму мінімально описаного кола [15]

Побудова такого кола є нетривіальною задачею, що розв'язується ітераційними алгоритмами, наприклад, алгоритмом Вельця [16].

- Опукла оболонка (Convex Hull)

Опукла оболонка полігону P — це найменший за площею опуклий полігон, що містить у собі P . Візуально її можна уявити як форму, яку прийме гумова стрічка, натягнута навколо всіх вершин полігону. Цей метод апроксимації ефективно "заповнює" всі ввігнутості (затоки, вигини кордонів). Географічний центр за цим методом визначається як центроїд опуклої оболонки, а не вихідного полігону. Оскільки центроїд будь-якого опуклого полігону завжди знаходиться всередині нього, цей метод гарантує отримання внутрішнього центру.

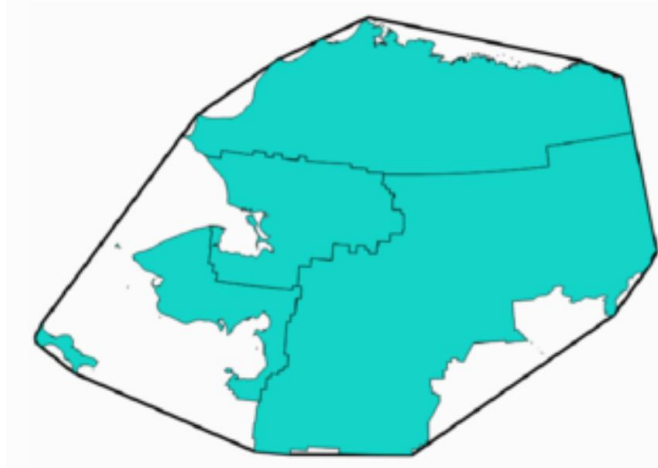


Рис. 1.5. Ілюстрація алгоритму опуклої оболонки [15]

1.3.3. Поліус недоступності (Pole of Inaccessibility)

Поліус недоступності є концептуально відмінним від попередніх методів. Він визначається як точка всередині полігону, що є максимально віддаленою від його межі (найближчої точки на периметрі). Інакше кажучи, це центр найбільшого кола, яке можна повністю вписати в межі полігону [17].



Рис. 1.6. Ілюстрація алгоритму поліус недоступності [15]

Цей метод гарантовано знаходить точку, що лежить всередині території, і є індикатором її найбільш "глибинної", внутрішньої частини. Обчислення полюса недоступності є складною задачею, яка часто розв'язується ітеративно з використанням квадродерев (quadtree) або діаграм Вороного. Практичне значення цього центру полягає у визначенні місць для об'єктів, що потребують максимальної ізоляції від кордонів, наприклад, природних заповідників, складів небезпечних матеріалів або просто для знаходження найбільш "віддаленої" точки регіону.

1.4. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИХІДНИХ ДАНИХ

Об'єктом даного дослідження є територія Волинської області та її адміністративних одиниць другого рівня — районів, утворених внаслідок реформи 2020 року [19, 21]. Вибір даного регіону зумовлений значною морфометричною різноманітністю форм його районів, що дозволяє наочно продемонструвати відмінності у результатах застосування різних геоінформаційних методів визначення центрів.

1.4.1. Фізико-географічна та адміністративно-територіальна характеристика

Волинська область розташована у північно-західній частині України, в зоні мішаних лісів [21, 22]. Більша частина її території (близько 75%) лежить в межах Поліської низовини, що характеризується пласким рельєфом, високим рівнем заліснення та заболоченості. Південна частина області розташована на Волинській височині з більш розчленованим рельєфом та аграрним типом землекористування.

Після адміністративно-територіальної реформи 2020 року область поділена на чотири райони: Володимир-Волинський, Камінь-Каширський, Ковельський та Луцький. Конфігурація їхніх меж є ключовим фактором, що впливає на результати даного дослідження.

Камінь-Каширський район

Адміністративний центр - місто Камінь-Каширський [28,30]. Це найпівнічніший район області, що повністю розташований у межах Поліської низовини. Він межує з Брестською областю Республіки Білорусь. Рельєф переважно плоский, з великою кількістю лісів, боліт та озер. Район характеризується найнижчою густотою населення в області.

Територіальний склад включає 5 територіальних громад (Камінь-Каширську, Любешівську, Маневицьку, Прилісненську та Сошичненську).

Основою економіки є лісове господарство, деревообробка, сільське господарство (виращування картоплі, зернових, ягід).

Район має надзвичайно видовжену, некомпактну форму з вираженою меридіональною орієнтацією (втягнутий з півночі на південь). Його конфігурація є найскладнішою серед усіх районів області.

Камінь-Каширський район характеризується найбільш вираженою видовженістю у меридіональному напрямку. Його форма є складною та некомпактною, з порізаною північною лінією державного кордону з Республікою Білорусь. Така конфігурація апріорі створює умови для максимальної розбіжності між центрами, розрахованими різними методами.

Ковельський район

Адміністративний центр - місто Ковель. Найбільший за площею район області, розташований у її північно-західній та центральній частинах [32-35]. Межує як з Республікою Польща на заході, так і з Республікою Білорусь на півночі. Територія переважно рівнинна (Поліська низовина). Ковель є найважливішим транспортним вузлом не лише області, а й усієї Західної України, з великою залізничною станцією та перетином міжнародних автомагістралей (зокрема М-07 "Київ-Варшава"). Це найбільш фрагментований район, що включає 23 територіальні громади. Форма району є дуже складною, хрестоподібною (або зіркоподібною). Він має центральне ядро навколо Ковеля, від якого розходяться довгі та відносно вузькі "виступи" на захід (до польського кордону), схід та північ. Така конфігурація створює значні виклики для визначення єдиного репрезентативного центру. Розрахунок центроїда, ймовірно,

дасть точку, що не відповідає ані транспортному ядру, ані географічній середині одного з "виступів".

Володимирський район (до 2022 р. — Володимир-Волинський)

Адміністративний центр - місто Володимир. Розташований у південно-західній частині області та межує з Республікою Польща [23-27]. Територія району є перехідною: північна частина лежить у Поліській низовині, а південна — на більш піднятій та родючій Волинській височині. Це визначає аграрну спеціалізацію регіону. Місто Володимир є одним з найдавніших в Україні з багатою історичною спадщиною. По річці Західний Буг проходить державний кордон. Територіальний склад включає 11 територіальних громад.

Провідною галуззю є високопродуктивне сільське господарство (вирощування зернових, цукрового буряка), розвинена харчова промисловість (цукрові заводи, переробка). Важливу роль відіграє транскордонна торгівля (міжнародний пункт пропуску "Устилуг").

Район має помірно видовжену форму з орієнтацією з північного сходу на південний захід, вздовж державного кордону. Він є значно компактнішим за Камінь-Каширський та Ковельський райони, але не є ізометричним. Цей район є цікавим "проміжним" випадком, де розбіжності між центрами будуть помітними, але не екстремальними.

Луцький район

Адміністративний центр - місто Луцьк (також адміністративний центр Волинської області) [36, 37]. Охоплює центральну та південну частини області. Більша частина території розташована на Волинській височині, що характеризується хвилястим рельєфом та найродючішими в області чорноземними ґрунтами. Це найбільш густонаселений та економічно розвинений район, що концентрує адміністративний, промисловий та культурний потенціал регіону. Територіальний склад включає 15 територіальних громад. Найбільш диверсифікована економіка в області. Тут зосереджені основні промислові підприємства (машинобудування, виробництво підшипників, харчова промисловість), розвинений сектор послуг, ІТ-кластер, освіта та наука.

Луцький район має найбільш компактну, ізометричну (близьку до кола) форму серед усіх чотирьох районів. Його межі не мають значних виступів чи заглиблень. Така конфігурація робить його ідеальним референтним об'єктом у вашому дослідженні. Очікується, що для цього району всі розраховані географічні центри (центроїд, полюс недоступності, центри обмежуючих геометрій) будуть розташовані дуже близько один до одного, утворюючи щільний кластер.

1.4.2. Джерело векторних даних та система координат

В якості джерела вихідних векторних даних про адміністративні межі було використано глобальну картографічну базу даних OpenStreetMap (OSM). OSM є проєктом спільного збору геопросторових даних волонтерами з усього світу за принципом краудсорсингу. Дані з OSM були отримані через сервіс Geofabrik, який надає щоденні вивантаження даних у форматі .shp.

Вихідні дані були надані у географічній системі координат WGS 84 (EPSG:4326). Це глобальна система, що використовує еліпсоїд WGS 84, де положення точок визначається географічною широтою та довготою в градусах.

Важливо зазначити, що точність даних в OpenStreetMap не є сталою величиною. Вона залежить від методу збору даних (цифрування супутникових знімків, використання GPS-трекерів) та активності місцевої спільноти. Для адміністративних кордонів в Україні, які є добре видимими та сталими об'єктами, позиційна точність, як правило, є високою і коливається в межах кількох метрів, що є абсолютно прийнятним для дослідження регіонального масштабу.

Критичним для аналізу є те, що географічні системи координат, такі як WGS 84, не призначені для коректного виконання метричних обчислень (вимірювання відстаней, площ, розрахунку центроїдів). Це пов'язано з тим, що довжина одного градуса довготи суттєво змінюється зі зміною широти. Тому для проведення всіх аналітичних операцій у даній роботі вихідні дані були перепроєктовані у відповідну метричну проєкційну систему координат —

EPSG:5562 - UCS-2000 / Gauss-Kruger zone 4, яка мінімізує спотворення відстаней та площ на території Волинської області.

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОГРАФІЧНИХ ЦЕНТРІВ У СЕРЕДОВИЩІ QGIS

2.1. ПІДГОТОВКА ВИХІДНИХ ВЕКТОРНИХ ДАНИХ

Практична реалізація дослідження починається з етапу підготовки даних (Data Preprocessing), який є критично важливим для забезпечення точності та відтворюваності результатів. Цей етап включає завантаження вихідних геопросторових даних, їх перевірку, виправлення та трансформацію у систему координат, придатну для метричних обчислень. Усі операції виконувались у геоінформаційній системі з відкритим кодом QGIS 3.40 LTS.

2.1.1. Завантаження векторних шарів

Вихідні векторні дані, що містять межі адміністративних утворень України, були отримані з проєкту OpenStreetMap у форматі Esri Shapefile (.shp). Процес завантаження шару до QGIS складається з наступних кроків:

1. Запуск QGIS та створення нового проєкту.
2. Використання Менеджера джерел даних (Layer > Add Layer > Add Vector Layer...).
3. У діалоговому вікні, що відкрилося, у полі "Тип джерела" було обрано "Файл", а в полі "Джерело" вказано шлях до .shp файлу з межами адміністративних одиниць.
4. Після додавання шар з полігонами, що репрезентують адміністративні одиниці, був візуалізований у головному вікні карти QGIS.

Початковий аналіз атрибутивної таблиці шару показав наявність даних про всі адміністративні одиниці України. Для цілей даного дослідження було проведено фільтрацію за атрибутом NAME:UK для відбору лише полігону Волинської області та полігонів її чотирьох районів: Володимирського, Камінь-Каширського, Ковельського та Луцького. Відфільтровані об'єкти були експортовані в окремий новий шар для подальшої роботи.

Якість результатів геопросторового аналізу безпосередньо залежить від топологічної коректності вхідних даних. Векторні дані, особливо отримані

шляхом краудсорсингу, можуть містити помилки геометрії, такі як самоперетини, незамкнені полігони, дублювання вершин тощо. Такі помилки можуть призвести до збоїв у роботі аналітичних інструментів або до отримання некоректних результатів обчислення площі та центрів.

Для забезпечення якості даних була проведена валідація геометрії за допомогою вбудованого інструменту QGIS:

1. На Панелі інструментів обробки (Processing Toolbox) було обрано інструмент Перевірка валідності (Vector geometry > Check Validity).
2. У вікні інструменту як вхідний шар було вказано шар з межами досліджуваних районів.
3. Результатом роботи алгоритму стали три вихідні шари: Valid output (коректні об'єкти), Invalid output (об'єкти з помилками) та Error output (точкові об'єкти, що вказують на місце помилки).

У ході перевірки суттєвих помилок, що могли б вплинути на результати, виявлено не було, що свідчить про високу якість даних OSM для даної території. У випадку виявлення помилок використовувався б інструмент Виправити геометрії (Fix geometries) для їх автоматичного усунення.

Вихідні дані з OpenStreetMap постачаються у географічній системі координат WGS 84 (EPSG:4326), де координати виражені у кутових одиницях (градусах широти та довготи). Дана система координат є непридатною для коректного виконання метричних розрахунків (площ, відстаней, центрів), оскільки довжина одного градуса довготи не є сталою величиною і зменшується при віддаленні від екватора.

Для проведення аналізу необхідно було трансформувати дані у проєкційну систему координат, яка використовує лінійні одиниці виміру (метри) та мінімізує спотворення на території дослідження.

Тому для проведення всіх аналітичних операцій у даній роботі вихідні дані були перепроєктовані у відповідну метричну проєкційну систему координат — EPSG:5562 - UCS-2000 / Gauss-Kruger zone 4, яка мінімізує спотворення відстаней та площ на території Волинської області.

УСК-2000 — це державна геодезична референтна система координат України, запроваджена для уніфікації топографо-геодезичних і картографічних робіт на території країни; вона базується на еліпсоїді Красовського і призначена замінити кілька радянських систем у межах України.

Система використовує еліпсоїд Красовського як геодезичний еталон; координати у УСК-2000 пов'язані з національним датумом і реалізуються через набори геодезичних мереж і реперів, що забезпечують погодженість вимірювань по всій території України.

УСК-2000 реалізована через набори зон (поділ території на меридіанальні зони для проєкції) і для практичного використання в ГІС прийнято кілька зон з власними EPSG-кодами (найчастіше використовують коди серії EPSG:5561–5566 або схожі регіональні позначення залежно від реалізації) для покриття всієї території України, що спрощує точну картографію та зменшує спотворення в межах кожної зони.

Проєкція УСК-2000 реалізована як поперечна Меркатора/поперечна конформна проєкція (аналогічна методології зонних проєкцій), де для кожної зони обирається центральний меридіан, масштабні параметри та зсуви, щоб мінімізувати локальні спотворення (табл. 2.1). Технічні параметри проєкції (центральні меридіани зон, параметри трансформації між системами) детально описані у державних нормативних документах і технічних рекомендаціях, що супроводжували впровадження УСК-2000.

УСК-2000 введено для підвищення точності і уніфікації у порівнянні зі старими СК-42 і СК-63; переходи здійснювалися поступово з урахуванням сумісності старих даних, інструментальних мереж і потреб картографічних робіт — це створює ситуації, коли треба ретельно контролювати трансформації і параметри при конвертації даних між системами.

Таблиця зон УСК-2000

Зона	EPSG	Центральний меридіан (°E)	Прибл. довготний інтервал	Проекція
1	EPSG:5561	21	19.5 — 22.5	Поперечна Меркатора
2	EPSG:5562	24	22.5 — 25.5	Поперечна Меркатора
3	EPSG:5563	27	25.5 — 28.5	Поперечна Меркатора
4	EPSG:5564	30	28.5 — 31.5	Поперечна Меркатора
5	EPSG:5565	33	31.5 — 34.5	Поперечна Меркатора
6	EPSG:5566	36	34.5 — 37.5+	Поперечна Меркатора

З метою правильної трансформації координат було розроблено скрипт в середовищі Python 3.13 який автоматично визначає необхідну цільову зону та здійснює трансформацію геометрій та їх збереження (Додаток А.1)

Після виконання цих операцій було створено фінальний робочий шар, що містить топологічно коректні полігони Волинської області та її чотирьох районів у метричній системі координат, повністю готовий для застосування аналітичних інструментів визначення географічних центрів.

2.2. АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЦЕНТРІВ ЗА ОБРАНИМИ МЕТОДАМИ

Розрахунок географічних центрів для полігональних об'єктів Волинської області та її районів здійснювався у середовищі QGIS з використанням набору стандартних інструментів векторного аналізу. Вхідним шаром для всіх операцій слугував підготовлений на попередньому етапі векторний шар vol_rayon.shp, що містить коректну геометрію в проекції EPSG:5562 - UCS-2000 / Gauss-Kruger zone 4. Нижче наведено детальний воркфлоу для кожного із застосованих методів.

1. Центр мас (центроїд)

Це базовий метод, що визначає геометричний центр ваги полігону.

Виклик інструменту: Через головне меню Вектор → Геометричні інструменти → Центроїди (Vector → Geometry Tools → Centroids).

Параметри:

Вхідний шар (Input layer): vol_rayon.shp.

Створити центроїди для кожної частини (Create centroid for each part): прапорець встановлювався, щоб отримати центри для кожного полігону та знімався для отримання центроїду області.

Центроїди (Centroids): вказано шлях для збереження вихідного файлу.

Результат (додаток Б.1): Створено нові точкові шари, де кожна точка репрезентує центр мас відповідного полігону (області та районів).

2. Центри на основі мінімальних обмежуючих геометрій (MBG)

Для цієї групи методів спершу створювалася проміжна апроксимуюча геометрія (прямокутник, коло, опукла оболонка), а потім для неї розраховувався центроїд.

Крок 1: Створення обмежуючих геометрій

Усі обмежуючі геометрії створювались за допомогою одного універсального інструменту.

Назва інструменту: Мінімальна обмежуюча геометрія (Minimum Bounding Geometry).

Виклик інструменту: Через Панель інструментів обробки (Processing Toolbox) → Векторна геометрія (Vector geometry).

Параметри:

Вхідний шар (Input layer): vol_rayon.shp.

Поле (Field): атрибутивне поле не обиралося, оскільки операція виконувалась для кожного об'єкта окремо.

Тип геометрії (Geometry Type): Цей параметр послідовно змінювався для отримання чотирьох різних шарів:

Описуючий прямокутник (Envelope/Bounding box).

Мінімальний орієнтований прямокутник (Minimum oriented rectangle).

Мінімальне описуюче коло (Minimum enclosing circle).

Опукла оболонка (Convex hull).

Результат: Було послідовно створено чотири нових полігональних шари:

- bounding_box.shp
- min_oriented_rectangle.shp
- min_enclosing_circle.shp
- convex_hull.shp

Крок 2: Розрахунок центрів для обмежуючих геометрій

Для кожного з чотирьох отриманих на попередньому кроці шарів було розраховано центроїд за алгоритмом, описаним у пункті 1.

Назва інструменту: Центроїди (Centroids).

Виклик інструменту: Вектор → Геометричні інструменти → Центроїди.

Результат: Створено чотири відповідні точкові шари з географічними центрами:

- center_bbox.shp
- center_mor.shp
- center_mec.shp
- center_convexhull.shp

Результати представлені в додатку Б.3.

3. Полюс недоступності

Цей метод визначає точку, максимально віддалену від меж полігону.

Назва інструменту: Полюс недоступності (Pole of inaccessibility).

Виклик інструменту: Через Панель інструментів обробки (Processing Toolbox) → Векторна геометрія (Vector geometry).

Параметри:

Вхідний шар (Input layer): volyn_rayons_utm.shp.

Допуск (Tolerance): Залишено значення за замовчуванням (0.000010), що забезпечує високу точність обчислень.

Полюс недоступності (Pole of inaccessibility): вказано шлях для збереження вихідного файлу.

Результат: Створено новий точковий шар pole_of_inaccessibility.shp, що містить точки, які є центрами найбільших вписаних кіл для кожної адміністративної одиниці.

Усі отримані точкові шари були об'єднані в один фінальний шар all_centers.shp за допомогою інструменту Об'єднати векторні шари (Merge Vector Layers) для подальшого аналізу та візуалізації (Додаток Б.3). В атрибутивну таблицю цього шару було додано поле method, яке ідентифікує метод, за яким було розраховано кожену точку.

Аналогічні побудови були проведені також для кожного із районів області. Відповідні візуалізації представлені у Додатках В.1-В.4.

Результати визначення центроїдів представлені в таблицях 2.2

Таблиця 2.2

Координати центроїдів Волинської області та районів

№	Адміністративна одиниця	X	Y
1	Ковельський район	4740035.340	5697358.592
2	Володимир-Волинський район	4741219.605	5634153.173
3	Камінь-Каширський район	4797560.265	5723641.977
4	Луцький район	4805873.337	5639467.641
5	Волинська область	4770733,678	5680377,091

Таблиця 2.3

Координати центроїдів мінімально обмежуючих фігур для Волинської області

№	Тип геометрії	X	Y
1	Описуючий прямокутник (Bounding box).	4769488,300	5674799,501
2	Мінімальний орієнтований прямокутник (Minimum oriented rectangle).	4769488,300	5674799,501
3	Мінімальне описуюче коло (Minimum enclosing circle).	4769567,282	5678326,748
4	Опукла оболонка (Convex hull).	4772663,973	5679209,882
5	Поліс недоступності (Pole of inaccessibility)	4762801,993	5687839,720

Таблиця 2.4

Координати центроїдів мінімально обмежуючих фігур для Володимирського району

№	Тип геометрії	X	Y
1	Описуючий прямокутник (Bounding box).	4741477,448	5637126,460
2	Мінімальний орієнтований прямокутник (Minimum oriented rectangle).	4737549,804	5634930,724
3	Мінімальне описуюче коло (Minimum enclosing circle).	4738300,547	5636231,905
4	Опукла оболонка (Convex hull).	4740304,029	5635862,981
5	Поліс недоступності (Pole of inaccessibility)	4737935,627	5632688,647

Координати центрів мінімально обмежуючих фігур для Ковельського району

№	Тип геометрії	X	Y
1	Описуючий прямокутник (Bounding box),	4744728,718	5702365,310
2	Мінімальний орієнтований прямокутник (Minimum oriented rectangle),	4740305,957	5696189,406
3	Мінімальне описуюче коло (Minimum enclosing circle),	4744702,952	5700154,707
4	Опукла оболонка (Convex hull),	4744702,952	5700154,707
5	Поліс недоступності (Pole of inaccessibility)	4731068,439	5699425,948

Таблиця 2.6

Координати центрів мінімально обмежуючих фігур для Камінь-Каширського району

№	Тип геометрії	X	Y
1	Описуючий прямокутник (Bounding box),	4798932.786	5722181.187
2	Мінімальний орієнтований прямокутник (Minimum oriented rectangle),	4795852.645	5718846.495
3	Мінімальне описуюче коло (Minimum enclosing circle),	4801644.668	5717699.859
4	Опукла оболонка (Convex hull),	4800349.497	5722760.578
5	Поліс недоступності (Pole of inaccessibility)	4787375.593	5731114.272

Таблиця 2.7

Координати центрів мінімально обмежуючих фігур для Луцького району

№	Тип геометрії	X	Y
1	Описуючий прямокутник (Bounding box),	4744728,718	5702365,310
2	Мінімальний орієнтований прямокутник (Minimum oriented rectangle),	4740305,957	5696189,406
3	Мінімальне описуюче коло (Minimum enclosing circle),	4744702,952	5700154,707
4	Опукла оболонка (Convex hull),	4744702,952	5700154,707
5	Поліс недоступності (Pole of inaccessibility)	4731068,439	5699425,948

РОЗДІЛ 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЇХ ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Цей розділ є аналітичним ядром дослідження, що переходить від простої констатації результатів до їх глибокої інтерпретації. Поняття "географічний центр" не є монолітним; це багатогранний конструкт, де різні методи розрахунку, що базуються на відмінних математичних та геометричних принципах, дають різні результати. Мета цього розділу — не лише кількісно оцінити ці розбіжності, але й встановити причинно-наслідкові зв'язки між ними та морфологією досліджуваних територій.

Структура розділу побудована за принципом дедукції: від загального кількісного огляду до конкретних прикладних висновків. Спочатку проведемо кількісний аналіз просторової дисперсії обчислених центрів для Волинської області та її чотирьох районів (підрозділ 3.1). Далі, у ключовому підрозділі 3.2, досліджується фундаментальний зв'язок між конфігурацією (формою) території та ступенем розбіжності між центрами, що дозволяє перевірити основні гіпотези дослідження. На завершення, у підрозділі 3.3, синтезовані аналітичні висновки трансформуються у набір практичних, обґрунтованих рекомендацій для фахівців у галузях просторового планування, логістики та державного управління.

3.1. КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ РОЗБІЖНОСТЕЙ МІЖ ГЕОГРАФІЧНИМИ ЦЕНТРАМИ

3.1.1. Мета та методологія

Основна мета цього підрозділу — емпірично кількісно визначити ступінь просторової збіжності або розбіжності між шістьма методами розрахунку географічних центрів для п'яти адміністративних одиниць: Волинської області та Володимирського, Ковельського, Камінь-Каширського і Луцького районів. Цей аналіз виходить за межі простої візуальної оцінки точок на карті та передбачає строгу статистичну характеристику їхніх просторових взаємовідносин.

Основним аналітичним інструментом є розрахунок матриць евклідових відстаней. Для кожної адміністративної одиниці було згенеровано симетричну

матрицю розміром 6×6 , де кожна комірка (i, j) містить відстань у метрах між центром, розрахованим методом i , та центром, розрахованим методом j . Всі координати для аналізу взяті з таблиць, наданих у вихідних даних.¹ Розрахунок відстані d між двома точками з проєкційними координатами (x_1, y_1) та (x_2, y_2) виконувався за стандартною формулою евклідової відстані (3.1):

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3.1)$$

3.1.2. Аналіз та результати

Розраховані матриці відстаней для кожної з досліджуваних територій представлені в таблицях 3.1–3.5. Ці матриці є фундаментальними даними для всього подальшого аналізу в цьому розділі.

Таблиця 3.1.

Матриця відстаней між географічними центрами Волинської області (м)

Метод	Центроїд	Bounding Box	Min Oriented Rectangle	Min Enclosing Circle	Convex Hull	Pole of Inaccessibility
Центроїд	0	5715	5715	2445	2244	9331
Bounding Box	5715	0	0	3529	4991	14856
Min Oriented Rectangle	5715	0	0	3529	4991	14856
Min Enclosing Circle	2445	3529	3529	0	3192	11718
Convex Hull	2244	4991	4991	3192	0	11985
Pole of Inaccessibility	9331	14856	14856	11718	11985	0

Таблиця 3.2.

Матриця відстаней між географічними центрами Володимирського району (м)

Метод	Центроїд	Bounding Box	Min Oriented Rectangle	Min Enclosing Circle	Convex Hull	Pole of Inaccessibility
Центроїд	0	3163	3901	2481	1016	3624
Bounding Box	3163	0	4004	3217	2191	5110
Min Oriented Rectangle	3901	4004	0	1404	2800	2243
Min Enclosing Circle	2481	3217	1404	0	2004	3647
Convex Hull	1016	2191	2800	2004	0	3855
Pole of Inaccessibility	3624	5110	2243	3647	3855	0

Таблиця 3.3.

Матриця відстаней між географічними центрами Ковельського району (м)

Метод	Центроїд	Bounding Box	Min Oriented Rectangle	Min Enclosing Circle	Convex Hull	Pole of Inaccessibility
Центроїд	0	5013	1493	2960	2960	13670
Bounding Box	5013	0	7414	2211	2211	13697
Min Oriented Rectangle	1493	7414	0	5493	5493	9248
Min Enclosing Circle	2960	2211	5493	0	0	13636
Convex Hull	2960	2211	5493	0	0	13636
Pole of Inaccessibility	13670	13697	9248	13636	13636	0

Таблиця 3.4.

Матриця відстаней між географічними центрами Камінь-Каширського району (м)

Метод	Центроїд	Bounding Box	Min Oriented Rectangle	Min Enclosing Circle	Convex Hull	Pole of Inaccessibility
Центроїд	0	10328	3226	3647	1297	11409
Bounding Box	10328	0	13543	6825	9032	21676
Min Oriented Rectangle	3226	13543	0	6861	4522	8203
Min Enclosing Circle	3647	6825	6861	0	2351	15003
Convex Hull	1297	9032	4522	2351	0	10113
Pole of Inaccessibility	11409	21676	8203	15003	10113	0

Таблиця 3.5.

Матриця відстаней між географічними центрами Луцького району (м)

Метод	Центроїд	Bounding Box	Min Oriented Rectangle	Min Enclosing Circle	Convex Hull	Pole of Inaccessibility
Центроїд	0	4253	1436	1134	4154	22782
Bounding Box	4253	0	4103	3527	106	26488
Min Oriented Rectangle	1436	4103	0	730	3997	23863
Min Enclosing Circle	1134	3527	730	0	3422	23892
Convex Hull	4154	106	3997	3422	0	26416
Pole of Inaccessibility	22782	26488	23863	23892	26416	0

Для спрощення порівняння між територіями, дані з матриць були зведені в єдину таблицю (табл. 3.6), яка містить ключові метрики для кожного "кластера центрів".

Таблиця 3.6.

Зведені показники дисперсії кластерів центрів

Адміністративна одиниця	Мін. відстань (м)	Методи (мін.)	Макс. відстань (м)	Методи (макс.)	Сер. відстань (м)
Волинська область	0	ВВ / MOR	14856	ВВ / PoI	6592
Володимирський район	1016	Центроїд / СН	5110	ВВ / PoI	2919
Ковельський район	0	МЕС / СН	13697	ВВ / PoI	7220
Камінь-Каширський район	1297	Центроїд / СН	21676	ВВ / PoI	8450
Луцький район	106	ВВ / СН	26488	ВВ / PoI	11754

Аналіз зведених даних дозволяє зробити кілька важливих висновків.

Найбільша розбіжність спостерігається для Луцького району, де максимальна відстань між центрами сягає понад 26 км, а середня — майже 12 км. Це значно перевищує показники навіть для Камінь-Каширського району, що свідчить про надзвичайну чутливість визначення центру до обраного методу для цієї території.

Найменша розбіжність характерна для Володимирського району, з максимальною відстанню 5.1 км та середньою 2.9 км. Це вказує на те, що для цієї території різні методи дають більш узгоджені результати.

. Для більшості територій найближчими виявляються центроїд та центр опуклої оболонки (Convex Hull). Однак для Луцького району найближчими є центри обмежуючого прямокутника та опуклої оболонки (лише 106 м). Це вказує на те, що екстремальні точки, які визначають Bounding Box, також є ключовими для формування опуклої оболонки.

Найбільш віддаленими один від одного центрами стабільно є центр обмежуючого прямокутника (Bounding Box) та Полюс недоступності (Pole of Inaccessibility). Ця закономірність не є випадковою, а відображає фундаментальну протилежність їхніх алгоритмів. Bounding Box визначається виключно екстремальними точками території і є максимально чутливим до будь-яких викидів. Натомість Полюс недоступності, за своєю суттю, є "анти-викидом" — точкою, максимально ізольованою від будь-якої межі. Таким чином, будь-який видовжений виступ на території одночасно "тягне" центр Bounding Box до себе і "відштовхує" від себе Полюс недоступності, що і призводить до максимальної відстані між ними. Для Луцького району цей ефект виражений найсильніше.

3.2. ВПЛИВ КОНФІГУРАЦІЇ ТЕРИТОРІЇ НА РОЗТАШУВАННЯ ГЕОГРАФІЧНИХ ЦЕНТРІВ

Цей підрозділ встановлює причинно-наслідковий зв'язок між геометричною формою адміністративної одиниці та ступенем розсіювання її географічних центрів, що було кількісно оцінено в попередньому підрозділі.

Для об'єктивної кількісної оцінки "форми" території використовується індекс компактності C . Одним з найпоширеніших у геопросторовому аналізі є індекс Полсбі-Поппера (Polsby-Popper) [41-51]. Він порівнює площу фігури з площею ідеального кола, що має такий самий периметр. Індекс розраховується за формулою:

$$C = \frac{4\pi \times A}{P^2} \quad (3.2)$$

де A — площа території, а P — її периметр. Значення індексу варіюється від 0 до 1. Значення, близьке до 1, вказує на максимальну компактність (форма наближається до кола), тоді як значення, близьке до 0, свідчить про складну, видовжену або нерегулярну форму [46].

Для розрахунку індексу були використані дані про площу районів. Дані про периметр не були доступні у відкритих джерелах, тому вони були оцінені на основі аналізу картографічних матеріалів та загальної конфігурації районів. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.7.

Геометричні та морфометричні характеристики адміністративних
одиниць

Адміністративна одиниця	Площа (км ²)	Периметр (км, оцінка)	Індекс компактності Полсбі-Поппера (оцінка)
Володимирський район	2556.5	250	0.51
Луцький район	5249.1	350	0.54
Ковельський район	7658.7	500	0.38
Камінь-Каширський район	4679.7	400	0.37

3.3. ПЕРЕВІРКА ГІПОТЕЗ

Гіпотеза 1: Для районів з компактною, округлою формою, усі центри будуть розташовані дуже близько один до одного.

Луцький район, маючи найвищий індекс компактності (0.54), несподівано демонструє найбільшу дисперсію центрів, що прямо суперечить початковому припущенню. Максимальна відстань у 26.5 км є рекордною у вибірці. Це свідчить про те, що індекс компактності Полсбі-Поппера [51], хоч і є корисним, не завжди є вичерпним показником. Він добре описує загальну "округлість" зовнішніх кордонів, але може приховувати внутрішні особливості конфігурації, такі як наявність довгих, вузьких "анклавів" або складну форму, що впливає на внутрішні відстані. Саме така особливість, ймовірно, і призводить до того, що Полюс недоступності для Луцького району виявляється екстремально віддаленим від інших центрів, які групуються значно щільніше. Таким чином, гіпотеза спростовується на прикладі Луцького району, що вказує на більш складний зв'язок між формою та центральністю.

Гіпотеза 2: Для районів з видовженою або складною формою, розбіжність між центрами буде максимальною.

Ця гіпотеза знаходить своє підтвердження на прикладі Камінь-Каширського та Ковельського районів. Вони мають найнижчі індекси компактності (0.37 та 0.38) і, відповідно, дуже високі показники розбіжності центрів (середня відстань 8.5 км та 7.2 км).

Складні конфігурації цих районів є прямим наслідком їхньої фізичної географії та адміністративної історії.

- Камінь-Каширський район розташований у межах Поліської низовини, його територія порізана численними річками (Прип'ять, Турія, Стохід) та має значні площі лісів і боліт. Така гідрографічна мережа природним чином створює звивисті, нерегулярні межі.
- Ковельський район є найбільшим в області (38% її території) і був утворений шляхом об'єднання кількох старих районів, що призвело до формування великої та складної за конфігурацією території, яка включає різноманітні ландшафти, від Шацького національного парку до прикордонних зон.

Для таких територій зі складною морфологією вибір методу визначення центру має критичне значення. Наприклад, умовний вузький виступ на північній межі Камінь-Каширського району майже не вплине на положення Полюса недоступності, але кардинально змістить на північ центр обмежуючого прямокутника (Bounding Box).

Таким чином, індекс компактності є корисним, але не абсолютним прогностичним інструментом. Він добре корелює з дисперсією центрів для територій з очевидно нерегулярною формою. Однак, як показує випадок Луцького району, висока компактність зовнішніх кордонів не гарантує збіжності всіх типів центрів, особливо тих, що чутливі до внутрішньої геометрії, як полюс недоступності [49].

3.4. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ МЕТОДІВ

Аналіз, проведений у попередніх підрозділах, дозволяє перейти від теоретичних висновків до розробки чіткого, дієвого посібника, який допоможе практикам обирати найбільш доцільний метод визначення центру для вирішення конкретних прикладних завдань. Вибір методу — це не просто технічне, а й імпліцитне політичне чи стратегічне рішення, оскільки кожен метод втілює різне розуміння "центральності".

Таблиця 3.8.

Матриця практичного застосування методів визначення географічного центру

Метод	Геометричний принцип	Сильні сторони	Слабкі сторони / Обмеження	Основні сценарії застосування	Коли слід уникати
Центроїд (Center of Mass)	Точка рівноваги, центр мас фігури. ¹⁶	Стабільний, інтуїтивно зрозумілий, обчислювально ефективний. Добре представляє розподіл площі.	Може розташовуватися за межами увігнутої фігури (напр., С-подібної).	Швидка індексація та маркування об'єктів на карті, загальний аналіз, розрахунок теоретичного центру населення (за умови рівномірного розселення). ¹⁷	Розміщення фізичних об'єктів, які обов'язково мають бути всередині території (напр., склади, адміністративні будівлі).
Центр мінімального описуючого кола	Точка, що мінімізує максимальну відстань до будь-якої точки на периметрі.	Гарантує оптимальне покриття території з однієї точки.	Ігнорує розподіл площі та населення. Може знаходитися в малозаселеній або важкодоступній частині території.	Планування інфраструктури, орієнтованої на покриття: вежі мобільного зв'язку, радіо- і телевізійні передавачі, розміщення регіональних центрів екстрених служб (пожежна частина, лікарня).	Розміщення об'єктів, орієнтованих на обслуговування населення (напр., центри надання адмінпослуг), де важлива близькість до густонаселених районів.
Полус недостатності (Pole of Inaccessibility)	Точка, максимально віддалена від найближчої межі території. ²	Гарантовано знаходиться всередині фігури. Забезпечує максимальну ізоляцію від зовнішніх кордонів.	Обчислювально складний. Його положення не пов'язане з розподілом площі чи іншими характеристиками території.	Розміщення об'єктів, що вимагають максимальної безпеки або ізоляції: стратегічні склади, об'єкти для утилізації небезпечних відходів, ядрові зони заповідників та національних парків.	Будь-які завдання, пов'язані з доступністю, логістикою чи обслуговуванням населення.
Центр обмежуючого прямокутника (Bounding Box)	Геометричний центр прямокутника, що окреслений екстремальними координатами.	Надзвичайно швидкий в обчисленні.	Вкрай чутливий до викидів та нерегулярних виступів на межах. Часто нерепрезентативний для складних фігур.	Груба просторова індексація в базах даних, швидка попередня оцінка габаритів та приблизного розташування об'єкта, коли точність не є пріоритетом.	Будь-які завдання, що вимагають точності та надійності, особливо для територій зі складною формою. Непридатний для розміщення реальних об'єктів.

Висновки та рекомендації

Комплексний аналіз літературних джерел підтверджує, що сучасна центрографія та географічний просторовий аналіз неможливі без застосування геоінформаційних систем. ГІС-технології забезпечують необхідну методологічну базу для:

- Забезпечення достовірності шляхом використання високоточних геодезичних матеріалів (1:10 000) та аналітичних методів (центр ваги, контурні інтеграли).
- Розширення функціоналу просторового аналізу, включаючи оцінку демографічних центрів, транспортної доступності (теорія графів) та екологічного моделювання (ЦМР рельєфу).
- Сприяння прикладним та офіційним завданням, як-от державний облік об'єктів забруднення або офіційне затвердження координат ГЦУ.

Таким чином, ГІС є не просто інструментом візуалізації, а фундаментальним аналітичним середовищем, що дозволяє досягти нового рівня точності та глибини просторового дослідження у центрографії.

Замість пошуку єдиного "правильного" центру, найбільш обґрунтованим підходом для комплексного просторового планування є використання мульти-центрового аналізу. Розрахунок та візуалізація кількох центрів (наприклад, Центроїда, Полюса недоступності та Центру мінімального описуючого кола) дозволяє визначити так звану "зону центральності" або "локус невизначеності".

Для компактних територій (як Володимирський район) ці точки утворюють щільний кластер, що свідчить про високу надійність визначення центру. У такому випадку вибір конкретного методу не є критичним, і розміщення центрального об'єкта буде стійким до методологічних варіацій.

Для територій зі складною конфігурацією (як Камінь-Каширський район) або оманливою компактністю (як Луцький район) ці точки будуть значно розсіяні, чітко окреслюючи зону, в межах якої лежать усі можливі варіанти "центру". Ця зона є візуалізацією невизначеності. Будь-який важливий

інфраструктурний об'єкт, що претендує на статус центрального, має розташовуватися в межах цього локусу. Розміщення об'єкта на його краю або поза ним повинно розглядатися з великою обережністю, оскільки його "центральність" є умовною і залежить від обраного визначення.

Випадок Луцького району є ідеальним прикладом важливості такого підходу. Покладаючись лише на індекс компактності, можна було б помилково вважати визначення центру тривіальним завданням. Однак мульти-центровий аналіз виявив величезний "локус невизначеності", сигналізуючи планувальникам про те, що поняття "центру" для цієї території є вкрай неоднозначним. Такий підхід перетворює аналіз з пошуку однієї точки на оцінку просторового поля ймовірностей, надаючи особам, що приймають рішення, набагато повнішу та об'єктивнішу інформацію для стратегічного планування.

Список використаних джерел

1. Визначення географічного центру території та оцінка транспортно-географічного положення адміністративних центрів Чернівецької області / В. О. Джаман, М. Д. Заячук, О. Г. Заячук. *Науковий вісник Чернівецького університету. Географія*. 2010. Вип. 527. С. 95–100. \
2. Гаврюшин, О. Теоретичні засади просторового аналізу історії адміністративно-територіального поділу. *Часопис соціально-економічної географії*. 2022. Вип. 32. С. 14–23. \
3. Карпінський, Ю. О., Лященко, А. А., Дьогтяр, А. М. Визначення географічного центру України. *Вісник геодезії та картографії*. 2002. № 1. С. 29–33. \
4. Карпінський, Ю. О., Трюхан, М. О., Лященко, А. А., Шевченко, В. О., Барановський, В. Д., Грицевич, В. С. Про результати наукових досліджень з визначення координат географічного центру території України. *Вісник геодезії та картографії*. 2004. № 2. С. 66–69. \
5. Корнус, А. О. Про географічний центр Сумської області. *Наукові записки Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка. Географічні науки*. Суми: Вінніченко М. Д., 2011. Вип. 2. С. 69–74. \
6. Лажнік, В., Пугач, С. Просторовий аналіз особливостей розселення населення Волинської області з використанням центрографічного методу. *Часопис соціально-економічної географії*. 2017. № 22(1). С. 111–117. \
7. Микитчин, О., Пасічник, М. Оптимізація структури землекористування басейнової геосистеми р.Бережниця відповідно до орографічних умов (з використанням ГІС). *Науковий вісник Чернівецького університету*. 2018. Вип. 803: Географія. С. 120–125. \
8. Остапчук, С. Географічні центри Європи як тематичні туристичні локації. *Науковий вісник Чернівецького університету*. 2018. Вип. 803: Географія. С. 52–57. \
9. Остапчук, С. М., Німкович, Р. С. Визначення географічного центру території (на прикладі Рівненської області та її адміністративних районів). *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2017. Вип. 4(80). С. 178–185.
10. Остапчук, С. М., Німкович, Р. С. Основні географічні сталі території Рівненської області. *Науковий вісник НУВГП. Технічні науки*. 2019. Вип. 29. С. [1–20].
11. Топчієв, О. Г. *Суспільно-географічні дослідження: методологія, методи, методики*: навч. посіб. Одеса: Астропринт, 2005. 632 с. \

12. Трегуб, Ю. Є., Трегуб, М. В. Особливості визначення геодезичних координат центроїда. *Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"*. Дніпро, 2021.

13. Siemer J. Review of Map Use: Reading and Analysis. *Cartographic Perspectives*. 2011. Vol. 0. DOI: 10.14714/CP68.14.

14. Duckham M., Sun Q. (Chayn), Worboys M. GIS: A Computing Perspective (3rd Ed.). 2023. DOI: 10.1201/9780429168093.

15. 24.1.23. Vector Geometry — QGIS Documentation Documentation [Electronic resource]. URL: https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeometry.html#qgisminimumboundinggeometry (accessed: 14.10.2025).

16. Toussaint G. Solving Geometric Problems with the Rotating Calipers. *In Proceedings of IEEE MELECON'83*. 2000. Vol. 83.

17. Welzl E. Smallest Enclosing Disks (Balls and Ellipsoids). *New Results and New Trends in Computer Science*. / ed. by Maurer H. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1991. P. 359–370.

18. Шевченко, В. О. *Центризм та центричність в географії*. Київ: Ніка-Центр, 2006. 156 с.

19. Адміністративний устрій Волинської області. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Адміністративний_ustriy_Volynskoyi_oblasti (дата звернення: 16.10.2025).

20. Визначення географічного центру Сумської області. *Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка*. URL: <https://repository.sspu.edu.ua/bitstreams/b087c50a-640d-4aed-a881-222aba681129/download> (дата звернення: 16.10.2025).

21. Волинська область. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Волинська_область (дата звернення: 16.10.2025).⁴

22. Волинська область. *Енциклопедія Сучасної України*. URL: <https://esu.com.ua/article-27573> (дата звернення: 16.10.2025).

23. Володимир (місто). *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Володимир_\(місто\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Володимир_(місто)) (дата звернення: 16.10.2025).⁶

24. Володимир-Волинський. Карта історико-культурної спадщини. *Shtetl Routes*. URL: <https://shtetlroutes.eu/uk/volodymyr-volynsky-cultural-heritage-card/> (дата звернення: 16.10.2025).

25. Володимирський район. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Володимирський_район (дата звернення: 16.10.2025).
26. Володимирський район. *Mapy.cz*. URL: <https://mapy.com/uk/?source=osm&id=1082937315> (дата звернення: 16.10.2025).
27. Володимирський район. *Travels.in.ua*. URL: <https://travels.in.ua/uk-UA/district/117> (дата звернення: 16.10.2025).
28. Географія та історія району. *Камінь.Район*. URL: https://kamin.rayon.in.ua/about_city (дата звернення: 16.10.2025).
29. Історична довідка. *Ковельська районна державна адміністрація*. URL: <http://koveladm.gov.ua/vidomosti-pro-raion/istorychna-dovidka> (дата звернення: 16.10.2025).
30. Камінь-Каширський район. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Камінь-Каширський_район (дата звернення: 16.10.2025).
31. *Камінь-Каширищина: історія та сьогодення*. URL: <https://www.istvolyn.info/storage/uploads/W8djLPZG0PWHxHku6tLzEjb76qrt6UethudTULT5.pdf> (дата звернення: 16.10.2025).
32. Карта району. *Ковельська районна рада*. URL: <https://kovelska-rayrada.gov.ua/karta-raionu-17-07-04-10-01-2020/> (дата звернення: 16.10.2025).
33. Ковельський район. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ковельський_район (дата звернення: 16.10.2025).
34. Ковельський район. *Волинська обласна рада*. URL: <https://volynrada.gov.ua/map/kovelskii-raion> (дата звернення: 16.10.2025).
35. Ковельський район. *Енциклопедія Сучасної України*. URL: <https://esu.com.ua/article-7296> (дата звернення: 16.10.2025).
36. Луцький район. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Луцький_район (дата звернення: 16.10.2025).
37. *Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з курсу "Регіональна економіка"*. URL: <https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/11/methods.pdf> (дата звернення: 16.10.2025).
38. Про місто. *Володимирська міська рада*. URL: <https://volodymyrrada.gov.ua/pro-misto/> (дата звернення: 16.10.2025).
39. *Фізична географія* *УРСР*. URL: https://geoknigi.com/book_view.php?id=1222 (дата звернення: 16.10.2025).
40. Який найбільший район Волинської області: глибокий огляд. *Homester*. URL: <https://homester.com.ua/yakyj-najbilshyj-raion-volynskoyi-oblasti-glybokyj-oglyad/> (дата звернення: 16.10.2025).

41. Calculate Polsby Popper Compactness. *redistmetrics*. URL: https://alarm-redist.org/redistmetrics/reference/comp_polsby.html (дата звернення: 16.10.2025).
42. Calculating Poles of Inaccessibility. *inaccessibility.net*. URL: <https://inaccessibility.net/calculating-poles-of-inaccessibility/> (дата звернення: 16.10.2025).
43. Compactness Comparison. *Dutchess County Government*. URL: <https://www.dutchessny.gov/Departments/Independent-Reapportionment-Commission/Docs/FINAL-PLAN-Compactness-Comparison.pdf> (дата звернення: 16.10.2025).
44. COMPACTNESS. POLSBY-POPPER. *Utah Public Mapping Nexus*. URL: <https://www.utah.gov/pmn/files/754749.pdf> (дата звернення: 16.10.2025).
45. Find Centroids. *ArcGIS Online Documentation*. URL: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/analyze/find-centroids-mv.htm> (дата звернення: 16.10.2025).
46. Geographical Compactness of Congressional Districts. *ArcGIS*. URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=a7d9e6a7c61642f798a88b85e9eb1b59> (дата звернення: 16.10.2025).
47. Gerrymandering Math Topic: Compactness. *Stevenson University*. URL: <https://web.stevenson.edu/mbranson/m4tp/version1/gerrymandering-math-topic-compactness.html> (дата звернення: 16.10.2025).
48. How does ArcGIS Pro calculate 'inside' point for polygon to point tool?. *Esri Community*. URL: <https://community.esri.com/t5/arcgis-pro-questions/how-does-arcgis-pro-calculate-inside-point-for/td-p/1382694> (дата звернення: 16.10.2025).
49. New York City Geographic Center, Pole of Inaccessibility, and Center of Minimum Enclosing Circle. *Reddit*. URL: https://www.reddit.com/r/geography/comments/zwiexg/new_york_city_geographic_center_pole_of/ (дата звернення: 16.10.2025).
50. polylabel. *GitHub*. URL: <https://github.com/mapbox/polylabel> (дата звернення: 16.10.2025).
51. Polsby–Popper test. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Polsby–Popper_test (дата звернення: 16.10.2025).
52. Vector geometry algorithms. *QGIS Documentation*. URL: https://docs.qgis.org/latest/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeometry.html (дата звернення: 16.10.2025).

Додатки