

ЛАНДШАФТНО-МОРФОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ВОДОЗБІРНИХ БАСЕЙНІВ ПРИТОК Р. ТЕТЕРІВ НА ОСНОВІ SRTM DEM

Курило С.М., Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Кірейцева Г.В., Назаренко О.В.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

ke_miyu@ztu.edu.ua

Дослідження спрямоване на комплексний ландшафтно-морфометричний аналіз водозбірних басейнів приток річки Тетерів з використанням цифрових моделей рельєфу SRTM DEM для виявлення закономірностей ландшафтно-територіальної диференціації території Житомирського Полісся. Актуальність роботи обумовлена необхідністю розробки науково обґрунтованих підходів до оцінки морфоструктурних особливостей річкових систем у контексті ландшафтного планування та раціонального природокористування. Дослідження базується на комплексному морфометричному аналізі водозбірних басейнів річок Тетерів, Кам'янка та Гнилоп'ять із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій та квантитативних методів аналізу цифрових моделей рельєфу. Запропоновано методологічний підхід, що включає п'ять ключових етапів: отримання та попередню обробку SRTM DEM даних, обробку цифрових моделей рельєфу для морфометричного аналізу, автоматизоване розмежування водозбірних басейнів, обчислення морфометричних параметрів та інтерпретацію результатів у контексті ландшафтно-територіальної диференціації. Виявлено значну морфометричну диференціацію досліджуваних басейнів, що відображає різні стадії геоморфологічного розвитку та ландшафтно-екологічні умови. Встановлено, що коефіцієнт компактності варіює від $1,84 \pm 0,03$ для басейну Кам'янки до $2,15 \pm 0,05$ для басейну Тетеріва, асиметрія басейнів змінюється від $0,48 \pm 0,02$ до $0,71 \pm 0,04$, а гіпсометричний інтеграл коливається в межах $0,35 \pm 0,02 - 0,42 \pm 0,01$. Результати дослідження мають важливе практичне значення для ландшафтного планування, оптимізації водогосподарської діяльності, екологічного моніторингу та розробки заходів з охорони водних ресурсів у басейновій системі річки Тетерів, а також створення системи екологічно збалансованого природокористування в межах Житомирського Полісся. **Ключові слова:** морфометричний аналіз, водозбірні басейни, SRTM DEM, ландшафтна диференціація, коефіцієнт компактності, гіпсометричний інтеграл, річка Тетерів, Житомирське Полісся.

Landscape-morphometric analysis of catchment basins of the Teteriv River tributaries based on SRTM DEM. Kurylo S., Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Nazarenko O.

The research aims to conduct a comprehensive landscape-morphometric analysis of catchment basins of the Teteriv River tributaries using SRTM DEM digital elevation models to identify patterns of landscape differentiation in the Zhytomyr Polissia territory. The relevance of this work is determined by the necessity to develop scientifically grounded approaches for assessing morphostructural features of river systems in the context of landscape planning and rational nature management. The study is based on comprehensive morphometric analysis of the Teteriv, Kamianka, and Hnylopiat river catchment basins using modern geoinformation technologies and quantitative methods for digital elevation model analysis. A methodological approach including five key stages is proposed: acquisition and preprocessing of SRTM DEM data, processing of digital elevation models for morphometric analysis, automated delineation of catchment basins, calculation of morphometric parameters, and interpretation of results in the context of landscape differentiation. Significant morphometric differentiation of the studied basins was revealed, reflecting different stages of geomorphological development and landscape-ecological conditions. It was established that the compactness coefficient varies from 1.84 ± 0.03 for the Kamianka basin to 2.15 ± 0.05 for the Teteriv basin, basin asymmetry changes from 0.48 ± 0.02 to 0.71 ± 0.04 , and the hypsometric integral fluctuates within $0.35 \pm 0.02 - 0.42 \pm 0.01$. The research results have important practical significance for landscape planning, optimization of water management activities, ecological monitoring, and development of water resource protection measures in the Teteriv River basin system, as well as creating a system of ecologically balanced nature management within the Zhytomyr Polissia region. **Key words:** morphometric analysis, catchment basins, SRTM DEM, landscape differentiation, compactness coefficient, hypsometric integral, Teteriv River, Zhytomyr Polissia.

Вступ. Сучасні методи геопросторового аналізу та цифрового моделювання рельєфу відкривають нові можливості для комплексного дослідження морфометричних характеристик водозбірних басейнів як індикаторів ландшафтно-територіальної організації території. Розвиток геоінформаційних технологій та доступність високоякісних цифрових моделей рельєфу SRTM створили передумови для детального вивчення морфоструктурних особливостей річкових систем на різних просторових рівнях.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю розробки науково обґрунтованих підходів до оцінки морфоструктурних особливостей річ-

кових систем Житомирського Полісся в контексті ландшафтного планування та раціонального природокористування. Особливого значення набуває комплексне вивчення морфометричних характеристик водозбірних басейнів як основи для розуміння закономірностей функціонування геосистем та прогнозування їх розвитку в умовах зростаючого антропогенного навантаження. Водночас, недостатнє вивчення кількісних морфометричних параметрів річкових систем регіону створює прогалини у розумінні механізмів ландшафтно-територіальної диференціації та обмежує можливості ефективного управління водними ресурсами.

У цьому контексті особливої уваги заслуговує басейнова система річки Тетерів з її притоками Кам'янка та Гнилоп'ять, що представляють різні типи ландшафтно-гідрологічних умов Житомирського Полісся. Застосування сучасних методів морфометричного аналізу для характеристики цих водозбірних басейнів дозволяє виявити закономірності просторової організації території та встановити кількісні критерії ландшафтно-диференціації.

Мета дослідження полягає у виявленні закономірностей ландшафтно-диференціації водозбірних басейнів приток річки Тетерів на основі ландшафтно-морфометричного аналізу з використанням SRTM DEM.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання дослідження:

1. провести морфометричний аналіз водозбірних басейнів річок Тетерів, Кам'янка та Гнилоп'ять на основі SRTM DEM;
2. розрахувати коефіцієнт компактності, показники асиметрії басейнів та гіпсометричний інтеграл як індикатори ландшафтно-диференціації;
3. встановити морфометричні закономірності формування дренажних систем досліджуваних водозбірних басейнів;
4. визначити стадії геоморфологічного розвитку басейнів та їх ландшафтно-екологічні особливості.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному застосуванні ландшафтно-морфометричного підходу для характеристики водозбірних басейнів Житомирського Полісся з використанням сучасних геоінформаційних технологій та квантитативних методів аналізу цифрових моделей рельєфу. Вперше для досліджуваної території здійснено систематичний розрахунок морфометричних індикаторів ландшафтно-диференціації та встановлено їх взаємозв'язки з геоморфологічними особливостями регіону.

Практичне значення результатів дослідження визначається можливістю їх використання для ландшафтного планування, оптимізації водогосподарської діяльності, екологічного моніторингу та розробки заходів з охорони водних ресурсів у басейновій системі річки Тетерів. Отримані морфометричні характеристики можуть служити основою для розробки рекомендацій щодо раціонального використання території та створення системи екологічно збалансованого природокористування в межах Житомирського Полісся.

Аналіз попередніх досліджень. Дослідження морфометричних характеристик водозбірних басейнів з використанням SRTM даних представляє собою активно розвинений напрямок сучасної геоморфології та ландшафтознавства. Кількісний аналіз морфометричних параметрів басейнів з використанням цифрових моделей рельєфу SRTM та ГІС-технологій дозволяє ефективно визначати та інтерпретувати

просторові характеристики, що стосуються дренажних басейнів [1, с. 739]. Аналіз морфометричних параметрів відіграє вирішальну роль у розумінні та управлінні водозбірними басейнами, що робить його фундаментальним компонентом гідрологічних досліджень [7, с. 815]. Застосування SRTM DEM у морфометричному аналізі водозбірних басейнів стало широко визнаним підходом у світовій науковій практиці. Дослідження дренажної морфометрії та її впливу на гідрологію водозбірних басейнів з використанням даних Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) для підготовки цифрових моделей рельєфу (DEM), аспектичних сіток та карт схилів показує ефективність географічних інформаційних систем (ГІС) у оцінці лінійних, ареальних та рельєфних аспектів морфометричних параметрів [3, с. 543]. ГІС та дистанційне зондування є ефективним інструментом для визначення морфологічних характеристик басейну [2, с. 1]. Коефіцієнт компактності, як один із ключових морфометричних параметрів, широко використовується для характеристики форми водозбірних басейнів. Форма дренажного басейну зазвичай характеризується безрозмірним індексом, що виражається як відношення між двома вимірами розглянутого басейну, включаючи коефіцієнт компактності Гравеліуса (GC), який є одним із найбільш широко прийнятих індексів форми [5, с. 1]. Коефіцієнт компактності визначається як відношення периметра басейну до довжини кола, що має площу, рівну площі басейну [1, с. 745]. Асиметрія басейнів представляє важливий аспект морфометричного аналізу, що дозволяє оцінити ступінь відхилення від ідеальної симетричної форми водозбірного басейну. Ефективний морфометричний аналіз потребує кількісної оцінки лінійних, ареальних та рельєфних характеристик для характеристики річкових мереж та ідентифікації статистично значущих кореляцій між геоморфологічними властивостями та гідрологічною реакцією басейну [4, с. 1]. Гіпсометричний інтеграл як індикатор ландшафтно-диференціації набув особливого значення в сучасних дослідженнях. Гіпсометрична крива та гіпсометричний інтеграл є важливими індикаторами здоров'я водозбірного басейну, які можуть використовуватися під час оцінки стану ерозії водозбірного басейну [6, с. 158]. Гіпсометричний інтеграл може також визначати ерозійний цикл, а числа гіпсометричного інтегралу показують, що старий водозбір повністю стабілізований, знаходиться в рівновазі, або що він знаходиться під ризиком ерозії ґрунту [6, с. 160]. Гіпсометричний інтеграл (HI) є топографічним індексом із важливим геоморфологічним значенням для оцінки стадій геоморфологічного розвитку ландшафтів [7, с. 816]. Комплексне застосування морфометричних параметрів для характеристики ландшафтних комплексів демонструє високу ефективність у визначенні стадій геоморфологічного розвитку. Форма гіпсометричної кривої надає критичну геоморфологічну інформацію

щодо морфометрії водозбірних басейнів, а різниці в формі кривої та значенні гіпсометричного інтегралу для певного рельєфу вважаються пов'язаними зі ступенем дисбалансу в балансі ерозійних та тектонічних сил [7, с. 817]. Використання морфометричних параметрів дозволяє здійснювати пріоритизацію суб-водозборів, де території класифікуються за різними рівнями пріоритетності на основі комплексного аналізу геоморфологічних характеристик [6, с. 162]. Застосування SRTM даних у поєднанні з ГІС-технологіями створило нові можливості для автоматизації морфометричного аналізу. Точність та джерела цифрових моделей рельєфу (DEM) впливають на ефективність аналізу морфометричних параметрів, навіть коли використовуються DEM з однаковою роздільною здатністю [3, с. 551]. Сучасні дослідження підкреслюють важливість комплексного підходу до морфометричного аналізу, що інтегрує різні аспекти геоморфологічних характеристик для ландшафтно-типології та диференціації територій [4, с. 2]. Значний внесок у дослідження річкових систем Житомирщини зробили сучасні вітчизняні науковці Циганенко-Дзюбенко І.Ю. та Кірейцева Г.В., які протягом останніх років здійснюють комплексні гідроекологічні дослідження водних об'єктів регіону з використанням сучасних морфометричних підходів. Їхні наукові роботи охоплюють широкий спектр проблематики, пов'язаної з вивченням річок Тетерів та Кам'янка як ключових водних артерій Житомирської області. Зокрема, дослідники розробили математичні моделі для прогнозування просторово-часової динаміки гідроекологічних параметрів річкових екосистем з використанням інтегрально-модифікованої моделі Стрітера-Фелпса [8, с. 53]. Особливу увагу науковці приділяють вивченню процесів евтрофікації та гідрохімічного стану річок регіону, проводячи детальний аналіз розподілу важких металів у компонентах урбанізованих гідроекосистем та встановлюючи закономірності їх міграції [9, с. 135]. Важливим напрямком їхніх досліджень є оцінка антропогенного впливу на водні ресурси, включаючи вплив військових дій на гідромережу та розробку стратегій відновлення водних екосистем [10, с. 199]. Їхні роботи з біоіндикаційної оцінки екологічного стану річки Кам'янка в м. Житомирі за допомогою MIR-індексу та дослідження фіторе mediaційного потенціалу антропогенно трансформованих гідроекосистем становлять значний науковий та практичний інтерес для розуміння морфометричних особливостей та сучасного стану річкових систем Житомирщини [11, с. 58; 12, с. 81].

Матеріали та методи дослідження.

Методологічна основа дослідження базувалася на комплексному ландшафтно-морфометричному підході до аналізу водозбірних басейнів приток річки Тетерів з використанням цифрових моделей рельєфу SRTM DEM (рис. 1). Вихідними матеріалами для

проведення морфометричного аналізу слугували цифрові моделі рельєфу формату SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) з просторовою роздільною здатністю 30 метрів, отримані з відкритих геопросторових ресурсів. Дані SRTM DEM характеризуються високою точністю висотних відміток та забезпечують достатню деталізацію для проведення морфометричних розрахунків на рівні малих та середніх водозбірних басейнів.

Алгоритм дослідження включав послідовне виконання п'яти основних етапів обробки та аналізу геопросторових даних (рис. 1). Початковий етап передбачав отримання та попередню обробку вихідних SRTM DEM даних, що включало перевірку цілісності растрових даних, корекцію артефактів та приведення до єдиної системи координат. На другому етапі здійснювалася обробка цифрових моделей рельєфу з метою підготовки до морфометричного аналізу, включаючи заповнення депресій, розрахунок напрямків стоку та акумуляції поверхневого стоку.

Третій етап методики полягав у визначенні та автоматизованому розмежуванні водозбірних басейнів досліджуваних приток річки Тетерів з використанням гідрологічних інструментів ГІС-пакетів. Ідентифікація та розмежування водозбірних басейнів здійснювалося на основі аналізу топографічного водорозділу з урахуванням морфоструктурних особливостей території. Четвертий етап включав обчислення ключових морфометричних параметрів, що характеризують геометричні, гіпсометричні та морфодинамічні властивості водозбірних басейнів, зокрема коефіцієнт компактності, показники асиметрії басейнів та гіпсометричний інтеграл.

Завершальний етап методики передбачав інтерпретацію отриманих результатів морфометричного аналізу в контексті ландшафтно-диференціації території дослідження. Інтерпретаційний аналіз базувався на встановленні кореляційних зв'язків між морфометричними індексами та ландшафтно-екологічними характеристиками водозбірних басейнів, що дозволило визначити індикаторну роль морфометричних параметрів у процесах ландшафтно-диференціації та типологічного районування території басейнової системи річки Тетерів.

Основна частина. Аналіз цифрових моделей рельєфу досліджуваних водозбірних басейнів приток річки Тетерів виявив значну морфометричну диференціацію території, що відображає складну взаємодію геоморфологічних, гідрологічних та ландшафтно-екологічних процесів у межах Житомирського Полісся. Морфоструктурні особливості території дослідження зумовлені приуроченістю до перехідної зони між Поліською низовиною та Придніпровською височиною, що створює специфічні умови для формування дренажних систем з різними морфометричними характеристиками.



Рис. 1. Схема проведення ландшафтно-морфометричного аналізу водозбірних басейнів приток р. Тетерів на основі SRTM DEM

Джерело: розроблено автором

Загальна характеристика рельєфу басейну річки Кам'янка (рис. 2) демонструє типові риси поліського ландшафту з відносно невеликими абсолютними висотами, що варіюють у межах від 179 до 256 метрів над рівнем моря. Територіальне розташування басейну річки Кам'янка в межах Житомирської області характеризується помірно розчленованим рельєфом з переважанням слабкохвилястих форм земної поверхні, що типово для перехідної зони між Поліською низовиною та Придніпровською височиною. Гіпсометричний аналіз виявляє поступове зниження абсолютних висот у напрямку від водорозділу до гирлової частини, що забезпечує формування оптимальних умов для концентрації поверхневого стоку та розвитку меандрової морфології русла.

Морфометрична структура басейну Кам'янки характеризується відносно компактною конфігурацією водозбірного контуру з незначними відхиленнями від еліпсоподібної форми. Аналіз розподілу висот показує переважання середньовисотних ділянок (200-230 м н.р.м.), що становлять близько 60% загальної площі басейну, тоді як низинні ділянки (179-200 м н.р.м.) займають приблизно 25% території. Найвищі ділянки рельєфу (230-256 м н.р.м.)

локалізовані в південно-західній частині басейну та складають близько 15% водозбірної площі, формуючи вододільні простори між басейнами Кам'янки та суміжних водотоків.

Детальний аналіз топографічної структури басейну річки Гнилоп'яті (рис. 3) свідчить про більш контрастний характер рельєфу порівняно з басейном Кам'янки, про що свідчить більший діапазон абсолютних висот від 186 до 319 метрів. Морфоструктурні особливості басейну Гнилоп'яті характеризуються чітко вираженою асиметрією з поступовим зниженням абсолютних висот у північно-східному напрямку, що відповідає загальному регіональному нахилу поверхні у бік Поліської низовини.

Гіпсометрична диференціація території басейну Гнилоп'яті демонструє закономірне зменшення висотних показників від водорозділу до гирлової частини, що створює сприятливі умови для формування дендритної дренажної мережі. Розподіл висотних зон характеризується переважанням середньовисотних ділянок (220-280 м н.р.м.), які займають близько 55% території басейну. Високі ділянки рельєфу (280-319 м н.р.м.) сконцентровані в півден-

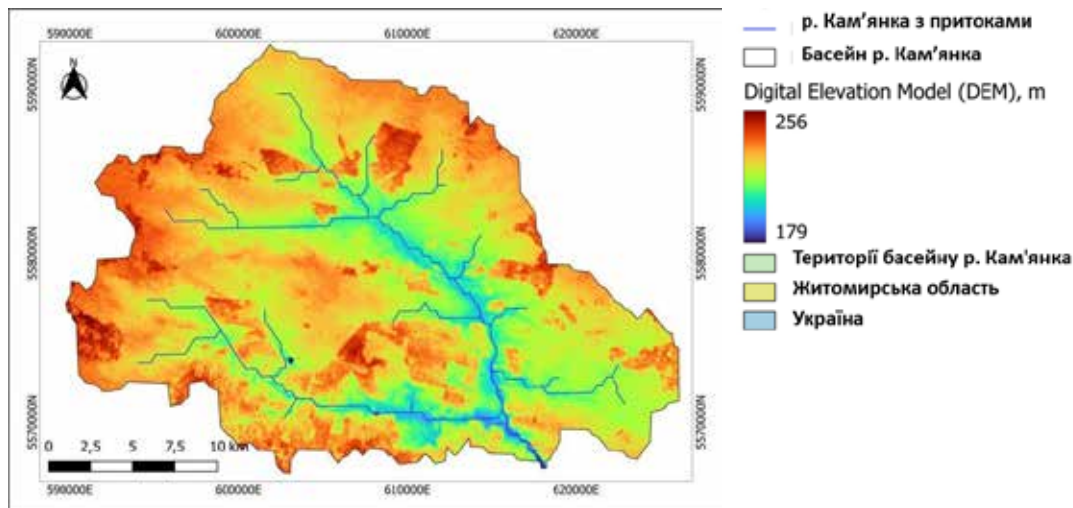


Рис. 2. Цифрова модель рельєфу басейну річки Кам'янка

Джерело: розроблено автором

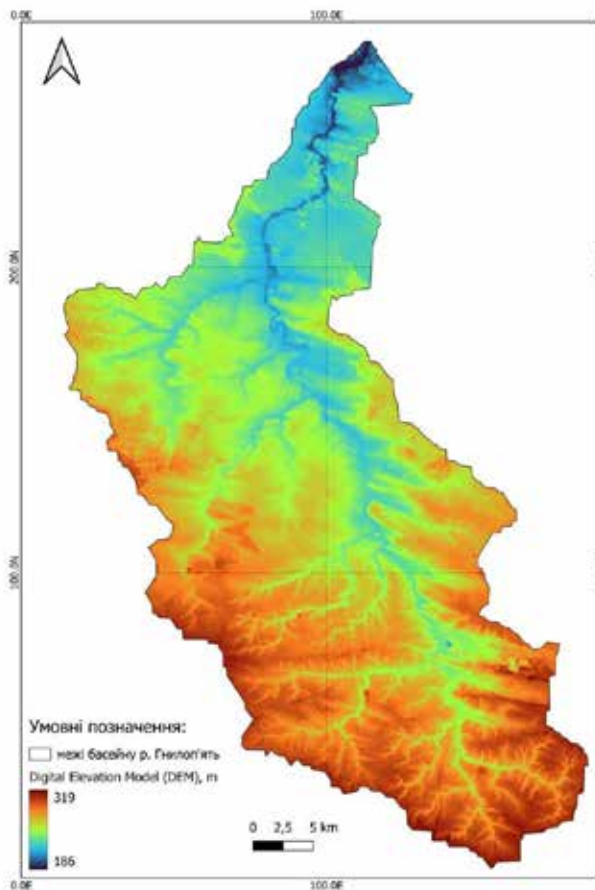


Рис. 3. Цифрова модель рельєфу басейну річки Гнилоп'ят

Джерело: розроблено автором

но-західній частині водозбору та становлять приблизно 20% загальної площі, формуючи основні вододільні лінії з суміжними басейнами. Низинні території (186-220 м н.р.м.) займають близько 25%

площі басейну та приурочені переважно до долино-заплавних комплексів головного водотоку та його основних приток.

Комплексний аналіз басейну річки Тетерів (рис. 4) розкриває найбільш складну морфометричну структуру серед досліджуваних водозбірних басейнів, що обумовлено значною площею водозбору та різноманітністю геоморфологічних умов. Абсолютні висоти в межах басейну коливаються від 0 до 319 метрів, що відображає значну вертикальну розчленованість території та створює передумови для інтенсивного розвитку ерозійно-аккумулятивних процесів.

Просторовий розподіл висотних відміток в басейні Тетеріва характеризується чітко вираженою південно-західною – північно-східною диференціацією з максимальними висотами в межах Придніпровської височини та мінімальними значеннями в долино-заплавних комплексах. Високігір'я та височинні ділянки (250-319 м н.р.м.) займають близько 30% території басейну та локалізовані переважно в південно-західній частині водозбору. Середньовисотні ділянки (150-250 м н.р.м.) становлять найбільшу частку території – приблизно 50% від загальної площі басейну. Низинні території (0-150 м н.р.м.) займають близько 20% площі водозбору та приурочені до долини головного водотоку, заплавних терас та пониззя основних приток.

Порівняльний морфометричний аналіз дренажних мереж досліджуваних басейнів виявляє суттєві відмінності в характері розгалуження водотоків та густоті гідрографічної мережі. Басейн річки Кам'янка характеризується відносно простою структурою дренажної мережі з переважанням водотоків першого-другого порядків, що відповідає слабкій ерозійній розчленованості території та свідчить про молодий вік гідрографічної системи. Густота дренажної мережі становить приблизно 0,6 км/км², що

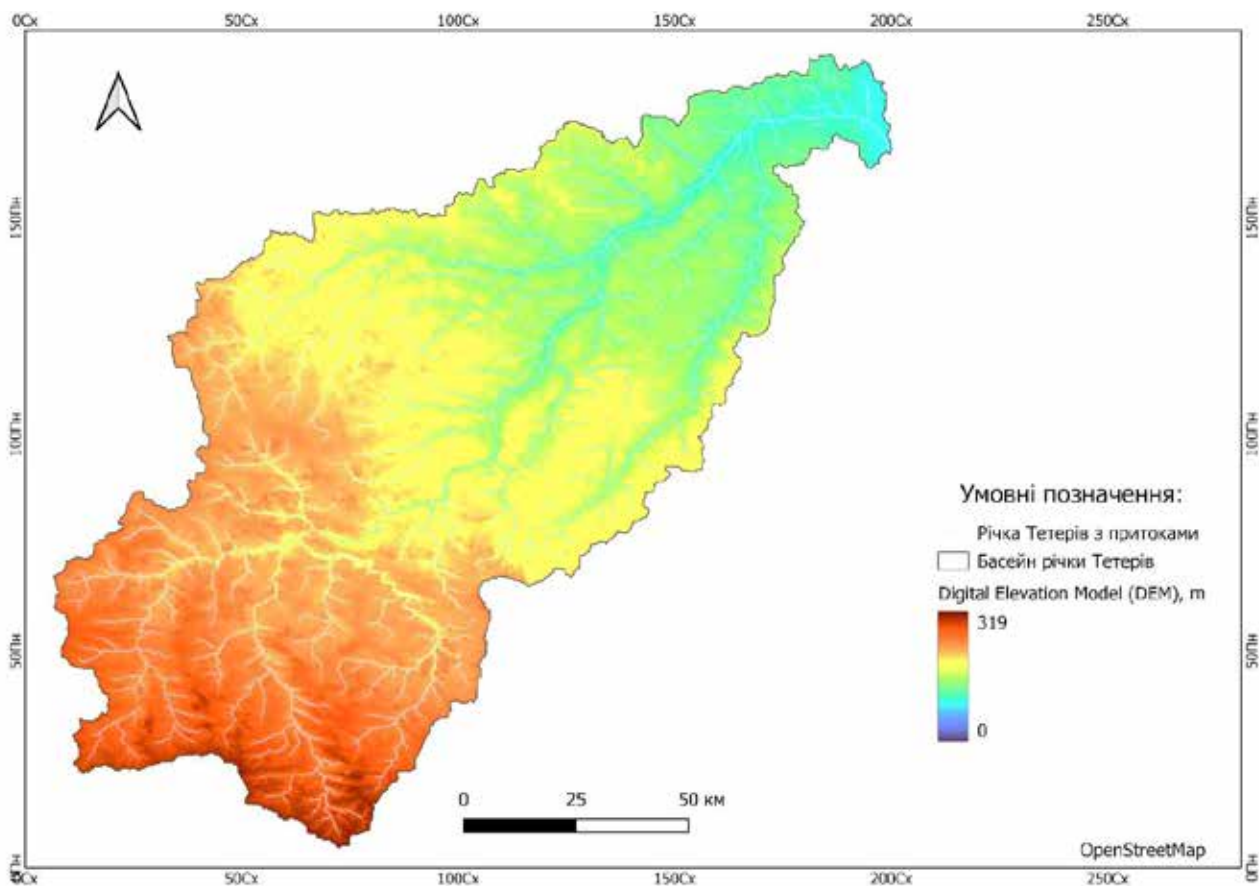


Рис. 4. Цифрова модель рельєфу басейну річки Тетерів з притоками

Джерело: розроблено автором

є типовим для територій з переважанням водопроникних ґрунтів та помірними кліматичними умовами.

Натомість, басейн Гнилоп'яті демонструє більш розвинену гідрографічну мережу з присутністю водотоків вищих порядків, що свідчить про інтенсивніші процеси флювіальної денудації та більшу зрілість дренажної системи. Густота гідрографічної мережі сягає $0,8 \text{ км/км}^2$, що пов'язано з більшою крутизною схилів та інтенсивнішими ерозійними процесами в межах басейну. Басейн Тетеріва характеризується найбільш складною ієрархічною структурою дренажної мережі з чітко вираженими водотоками п'ятого-шостого порядків та розгалуженою системою приток, при цьому густота дренажної мережі досягає $1,2 \text{ км/км}^2$.

Кількісний аналіз морфометричних індикаторів ландшафтної диференціації виявив суттєві відмінності між досліджуваними водозбірними басейнами (табл. 1). Коефіцієнт компактності басейну річки Кам'янка становить $1,84 \pm 0,03$, що свідчить про помірно витягнуту форму водозбору з відносно збалансованими лінійними параметрами та наближається до оптимальної гідрологічної конфігурації для ефективної концентрації стоку. Для басейну Гнилоп'яті характерний дещо вищий коефіцієнт

компактності $1,92 \pm 0,04$, що вказує на більшу витягнутість контуру басейну та потенційно більшу тривалість концентрації стоку, що може призводити до зменшення піків паводкових хвиль.

Басейн Тетеріва демонструє найвищий коефіцієнт компактності $2,15 \pm 0,05$, що відображає значну асиметрію та складність конфігурації водозбірного контуру, обумовлену геотектонічними особливостями території та довготривалими процесами флювіальної денудації. Висока компактність басейну Тетеріва корелює з розвинутою системою приток та складною морфологією долинно-річкової мережі.

Аналіз асиметрії басейнів показав найбільшу збалансованість для річки Кам'янка з коефіцієнтом асиметрії $0,48 \pm 0,02$, що наближається до ідеально симетричного басейну та свідчить про рівномірний розподіл притокової мережі відносно головного водотоку. Така симетрія забезпечує оптимальні умови для формування синхронних паводкових хвиль та ефективного водовідведення з території басейну. Басейн Гнилоп'яті характеризується помірною асиметрією з коефіцієнтом $0,62 \pm 0,03$, що свідчить про зміщення центру ваги басейну відносно головного водотоку та може призводити до формування асинхронних піків стоку від різних частин водозбору.

Таблиця 1

Морфометричні індикатори ландшафтної диференціації водозбірних басейнів приток річки Тетерів

Річка	Коефіцієнт компактності	Асиметрія басейну	Гіпсометричний інтеграл	Стадія розвитку
Кам'янка	1,84±0,03	0,48±0,02	0,42±0,01	Зріла
Гнилоп'ять	1,92±0,04	0,62±0,03	0,38±0,02	Зріла
Тетерів	2,15±0,05	0,71±0,04	0,35±0,02	Зрілий-старий

Найвища асиметрія властива басейну Тетеріва з коефіцієнтом $0,71 \pm 0,04$, що відображає значну нерівномірність розподілу притокової мережі та обумовлена особливостями геологічної будови та неотектонічних процесів у регіоні. Висока асиметрія басейну Тетеріва створює передумови для формування складних гідрологічних режимів з можливістю багатопікових паводків та нерівномірного водорозподілу в межах басейну.

Гіпсометричний інтеграл як індикатор стадії геоморфологічного розвитку показав різні значення для досліджуваних басейнів, що відображає різний ступінь морфологічної зрілості дренажних систем. Для річки Кам'янка гіпсометричний інтеграл становить $0,42 \pm 0,01$, що відповідає зрілій стадії геоморфологічного розвитку з рівноважним співвідношенням ерозійних та акумулятивних процесів. Таке значення свідчить про досягнення динамічної рівноваги між процесами врізання та розширення долини, що характерно для стабільних гідрологічних систем.

Басейн Гнилоп'яті характеризується гіпсометричним інтегралом $0,38 \pm 0,02$, що також відповідає зрілій стадії, але з тенденцією до старіння рельєфу та переважання денудаційних процесів над ерозійним врізанням. Басейн Тетеріва демонструє найнижче значення гіпсометричного інтегралу $0,35 \pm 0,02$, що свідчить про перехід до старої стадії геоморфологічного розвитку з переважанням денудаційних процесів над ерозійними та формуванням зрілих пенепленових поверхонь.

Отримані результати морфометричного аналізу дозволяють стверджувати про існування чіткої ландшафтно-морфометричної диференціації в межах досліджуваної території, що проявляється в різних типах морфометричних характеристик водозбірних басейнів. Виявлені закономірності відображають складну взаємодію регіональних геоморфологічних, кліматичних та гідрологічних факторів, що формують унікальні ландшафтно-екологічні умови кожного з досліджуваних басейнів та визначають специфіку їх гідрологічного режиму та екологічного потенціалу.

Висновки. Проведений ландшафтно-морфометричний аналіз водозбірних басейнів приток річки Тетерів з використанням SRTM DEM виявив значну морфометричну диференціацію території, що відображає різні стадії геоморфологічного розвитку та ландшафтно-екологічні умови. Розраховані морфометричні індикатори продемонстрували чіткі відмін-

ності між досліджуваними басейнами: коефіцієнт компактності варіює від $1,84 \pm 0,03$ для Кам'янки до $2,15 \pm 0,05$ для Тетеріва, асиметрія басейнів змінюється від $0,48 \pm 0,02$ до $0,71 \pm 0,04$, а гіпсометричний інтеграл коливається в межах $0,35 \pm 0,02$ – $0,42 \pm 0,01$, що свідчить про різні стадії геоморфологічного розвитку від зрілої до зрілої-старої. Виконання поставлених завдань дослідження дозволило встановити, що басейн річки Кам'янка характеризується найбільшою морфометричною збалансованістю та відповідає зрілій стадії розвитку, тоді як басейн Тетеріва демонструє найвищий ступінь складності конфігурації та перебуває на межі переходу до старої стадії геоморфологічного розвитку.

Встановлені морфометричні закономірності формування дренажних систем підтверджують існування чіткої ландшафтно-морфометричної диференціації в межах досліджуваної території, обумовленої взаємодією регіональних геоморфологічних, кліматичних та гідрологічних факторів. Аналіз просторового розподілу морфометричних характеристик виявив закономірне збільшення складності дренажних систем у напрямку від басейну Кам'янки до басейну Тетеріва, що корелює зі зростанням площі водозбору та різноманітністю геоморфологічних умов. Виявлені відмінності в густоті дренажної мережі (від $0,6 \text{ км/км}^2$ для Кам'янки до $1,2 \text{ км/км}^2$ для Тетеріва) та характері розгалуження водотоків свідчать про різну інтенсивність ерозійно-денудаційних процесів та ступінь зрілості гідрографічних систем.

Отримані результати створюють наукову основу для ландшафтного планування та раціонального використання водних ресурсів басейнової системи річки Тетерів, а також можуть бути використані для розробки стратегій екологічного моніторингу та охорони водних екосистем Житомирського Полісся. Практичне застосування розроблених морфометричних індикаторів дозволить оптимізувати територіальну організацію природокористування та підвищити ефективність управління водними ресурсами в умовах зростаючого антропогенного навантаження на ландшафтні комплекси регіону. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням переліку морфометричних параметрів, залученням додаткових методів геопросторового аналізу та детальним вивченням взаємозв'язків між морфометричними характеристиками та гідроекологічним станом водних об'єктів.

Література

1. Hasan M.M., Islam M.A., Miah M.G. Application of GIS and remote sensing in morphometric analysis of river basin at the south-western part of great Ganges delta, Bangladesh. *Hydrology Research*. 2023. Vol. 54. No. 6. P. 739-759. doi:10.2166/nh.2023.095
2. Jothamani M., Abebe A. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system in Gilgel Abay watershed, Lake Tana Basin, upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Applied Water Science*. 2021. Vol. 11. No. 107. doi:10.1007/s13201-021-01447-9
3. Sreedevi P.D., Owais S., Khan H.H., Ahmed S. Morphometric analysis of a watershed of South India using SRTM data and GIS. *Journal of Geological Society of India*. 2009. Vol. 73. No. 4. P. 543-552. doi:10.1007/s12665-014-3914-1
4. Rodriguez-Prado A., García-López S., Velázquez-Velázquez E. Comprehensive geospatial assessment: morphometric parameters and hydrological implications in five Mexican basins. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. No. 1463. doi:10.1038/s41598-025-05194-8
5. Sassolas-Serrayet T., Cattin R., Ferry M. The shape of watersheds. *Nature Communications*. 2018. Vol. 9. No. 3791. doi:10.1038/s41467-018-06210-4
6. Shekar P.R., Mathew A. Prioritizing sub-watersheds for soil erosion using geospatial techniques based on morphometric and hypsometric analysis: a case study of the Indian Wyrā River basin. *Applied Water Science*. 2023. Vol. 13. No. 158. doi:10.1007/s13201-023-01963-w
7. Luo W. Hypsometric analysis with a geographic information system. *Computers & Geosciences*. 1999. Vol. 25. No. 1. P. 815-821. doi:10.1016/S0098-3004(98)00076-4
8. Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Кірейцева Г.В., Скиба Г.В. Прогнозування гідроекологічного стану річки Тетерів з використанням модифікованої моделі Стрітера-Фелпса. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2025. № 1(75). С. 53-64. DOI: 10.17721/2306-5680.2024.1.6
9. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Shomko O., Gandziura V., Khamdosh I. Analytical assessment of heavy metals polyelement distribution in urbanized hydroecosystem components: spatial differentiation and migration patterns. *Journal Environmental Problems*. 2025. Vol. 10. No. 2. P. 135-144.
10. Кірейцева Г.В., Циганенко-Дзюбенко І.Ю. Екологічна оцінка впливу військових дій на гідромережу Київської області та стратегії відновлення водних екосистем. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2025. № 1 (499). С. 199-207.
11. Кірейцева Г.В., Герасимчук О.Л., Скиба Г.В., Хоменко С.В., Циганенко-Дзюбенко І.Ю. Біоіндикаційна оцінка екологічного стану р. Кам'янка в м. Житомирі за допомогою MIR-індексу. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2024. Вип. 3 (146). С. 58-65.
12. Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Кірейцева Г.В., Демчук Л.І., Скиба Г.В., Вовк В.М. Оцінка стану та фіторе mediaційного потенціалу антропогенно трансформованих гідроеко систем Малинщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 5 (50). С. 81-87.
13. Kapelista I., Kireitseva H., Tsyhanenko-Dziubenko I., Khomenko S., Vovk V. Review of Innovative Approaches for Sustainable Use of Ukraine's Natural Resources. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2024. Vol. 7, No. 3. P. 378-395.
14. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Sheliah K., Levytska T., Kalenska V. Mathematical forecasting of spatio-temporal dynamics of hydroecological parameters of river ecosystems using integrally-modified Streeter-Phelps model. *Journal Environmental Problems*. 2025. Vol. 10, № 3. P. 309-316.
15. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Sheliah K., Levytska T., Kalenska V. Mathematical forecasting of spatio-temporal dynamics of hydroecological parameters of river ecosystems using integrally-modified Streeter-Phelps model. *Journal Environmental Problems*. 2025. Vol. 10, № 3. P. 309-316. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2025.03.309> SCOPUS
16. Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Кірейцева Г.В., Хамдош І.Н., Вовк В.М. Бібліометричний аналіз світових досліджень донних відкладів: тенденції публікацій та напрями розвитку седиментології. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2025. № 2(76). С. 6-20. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2025.2.1>
17. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Fonseca Araújo J. Physiological and biochemical biomarkers of macrophyte resilience to military-related toxic stressors. *Journal Environmental Problems*. 2024. Vol. 9, No. 4. P. 227-234.

Дата першого надходження рукопису до видання: 06.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025