

DOI: 10.32347/2076-815x.2025.90.495-508

УДК 528.94:711.14

к.е.н., Прокопенко Н.І.,

bilanp79@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5046-6122,

Сумський національний аграрний університет,

к.с.-г.н., доцент Шемякін М.В.,

misha.uman@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3621-1446,

Уманський національний університет,

к.т.н., доцент Міхно П.Б.,

mikhno1982@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8045-6478,

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ В СИСТЕМІ ЗЕМЛЕУСТРОЮ: ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

Присвячено аналізу перспектив використання цифрових моделей рельєфу (ЦМР) у землевпорядкуванні для оптимізації процесів землекористування, з акцентом на інтеграцію сучасних геоінформаційних технологій. Мета дослідження – дослідити спектральні можливості ЦМР як інструменту для підвищення ефективності просторового планування та розробки інноваційних підходів до управління земельними ресурсами. Методологія дослідження базується на застосуванні геоінформаційних систем ArcGIS і QGIS для побудови та обробки ЦМР, використовуючи дані з відкритих джерел у форматі GeoTiff та оцифровані горизонталі з відомими висотними значеннями. Процес включав спрощення ізоліній, налаштування растрових моделей та інтеграцію шарів рельєфу земельних ділянок. Отримані наукові результати демонструють, що регулярна сітка висот і триангуляційна мережа забезпечують детальне відтворення морфологічних особливостей земель, і сприяють якості сталого землекористування. Використання модулів Spatial Analyst в ArcGIS і DEM у середовищі QGIS створює високоточні моделі з відмивкою та тривимірною візуалізацією, що підвищує наочність відображення рельєфів. Визначено, що ефективність налаштувань інтерполяції та кольорових схем для точного відображення мікроформ рельєфу, а також перспективність інтеграції ЦМР із кадастровими та гідрологічними даними. Дослідження підтвердило можливість прогнозування ерозійних процесів і планування природоохоронних заходів на основі отриманих моделей. Практична цінність дослідження полягає в наданні практичних рекомендацій для землевпорядних організацій щодо використання ЦМР у

розробці схем раціонального землекористування. Результати можуть бути застосовані для підвищення точності кадастрових робіт і планування землекористування. Наукова новизна дослідження полягає в розробці методичних підходів до інтеграції ЦМР із різноманітними просторовими даними для комплексного аналізу земель. Запропоновано інноваційні рішення для динамічного моделювання змін рельєфу, що розширюють можливості прогнозування в умовах складного ландшафту.

Ключові слова: цифрові моделі рельєфу; землекористування; геоінформаційні технології; оптимізація; ArcGIS; QGIS.

Постановка проблеми. Розвиток геоінформаційних технологій відкриває значні можливості для ефективного використання цифрових моделей рельєфу як інструмента підвищення якості аналізу просторових даних та оптимізації процесів землекористування, адже на основі їхньої інформаційної бази можливо оперативно виконувати цілу низку завдань, зокрема формування серій тематичних карт ключових морфометричних характеристик, таких як гіпсометричні схеми, карти крутизни й експозиції схилів, а також похідні картографічні матеріали, що відображають ступінь ерозійної небезпеки територій, напрями поверхневого стоку чи рівень ландшафтної стійкості. Цифрові моделі рельєфу, як особливий різновид тривимірних математичних моделей, містять точні відомості про висотні параметри земної поверхні, що робить їх ключовим елементом сучасного картографування та просторового планування у сфері управління земельними ресурсами.

Використання подібного виду моделей забезпечує підвищення точності визначення придатності територій для різних видів господарської діяльності, дає змогу моделювати сценарії розвитку ерозійних процесів і прогнозувати їхні наслідки, а також дозволяє більш ефективно планувати заходи з охорони ґрунтів і збереження природних ландшафтів. Актуальність дослідження саме полягає в тому, що цифрові моделі рельєфу слугують засадою для формування інноваційних систем управління земельними ресурсами, здатних не лише відтворювати поточний стан територій та стають основою для прогнозування їхніх змін у довгостроковій перспективі, що надає можливість підвищити ефективність землекористування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В роботах Дорошко Є. В., Штонда Є., Захарова Е., Саркісян Г. [1], Вінуеса-Мартінес Х. та ін. [2] цифрові моделі рельєфу досліджуються як інструментарій для підвищення ефективності просторового аналізу та раціонального планування землекористування. Вчені зазначили, що використання ЦМР, створених на основі даних дистанційного зондування Землі, GPS-вимірювань та оцифрованих топографічних карт,

дозволяє з високим ступенем точності визначати ключові морфометричні характеристики місцевості. У роботах від Рожі І., Рожі Т., Федій О. [3], Літман Д. [4] доведено високу ефективність сучасних геоінформаційних платформ, зокрема ArcGIS та QGIS, для побудови, обробки, візуалізації та аналізу ЦМР. Проте, незважаючи на досягнуті успіхи, у галузі застосування ЦМР залишається низка невирішених наукових та практичних завдань, які безпосередньо стосуються тематики дослідження.

Ряд робіт під авторством Батракова А., Дорожко Є., Ємець В. [5], Вагх Р., Ауті С. [6] переконливо демонструють значний потенціал ЦМР у підтримці процесів планування та управління земельними ресурсами, хоча ми бачимо чітку потребу у подальшому розвитку методів їх комплексного застосування. Зокрема, мають бути удосконалені методичні підходи до інтеграції різноманітних даних, підвищувати точність моделювання в умовах складного рельєфу та розробляти інструменти для динамічного прогнозування змін рельєфу.

Мета і задачі дослідження. Мета статті – обґрунтувати перспективи та методичні підходи до ефективного використання цифрових моделей рельєфу як інноваційного інструментарію для комплексної оптимізації землекористування.

Завдання дослідження:

- дослідити функціональні можливості сучасних геоінформаційних програмних середовищ ArcGIS та QGIS щодо побудови, візуалізації та аналітичної обробки цифрових моделей рельєфу, порівняти їх технічні характеристики та визначити переваги й недоліки кожної з платформ для вирішення специфічних завдань просторового аналізу;

- оцінити перспективи інтеграції цифрових моделей рельєфу з кадастровими, гідрологічними та економіко-географічними даними для формування комплексних геоінформаційних систем підтримки прийняття рішень у сфері оптимізації землекористування;

- розробити практичні рекомендації щодо використання цифрових моделей рельєфу у процесах просторового планування та визначити напрями їх подальшого вдосконалення для підвищення ефективності управління земельними ресурсами.

Матеріали та методи. Основними джерелами даних слугують відкриті інтернет-ресурси, де доступні готові моделі у форматі GeoTiff, а також оцифровані горизонталі з відомими висотними значеннями, отримані шляхом детального аналізу топографічних карт. Для створення та обробки ЦМР застосовувалися програмні середовища ArcGIS і QGIS, які забезпечують широкий спектр інструментів для моделювання та візуалізації рельєфу. У ArcGIS використовувався модуль Spatial Analyst з інструментом Topo to Raster

для побудови регулярної сітки висот, що дозволяє інтегрувати рельєфні дані з високою точністю. Процес включав спрощення ізоліній за допомогою Features to Line, налаштування інтервалів висот у Topo to Raster для плавних переходів, а також додавання відмивки через Hillshade для підвищення наочності. У QGIS застосовувалися вбудовані утиліти DEM (Hillshade) та модуль «qgis2threejs» для тривимірної візуалізації, що сформувало можливості досліджень ландшафтних особливостей. Методика передбачала налаштування розміру комірки растру (10–15 метрів) для оптимального балансу деталізації та обсягу даних, а також інтеграцію шарів горизонталей для комплексного моделювання.

Результати та їх обґрунтування. У практиці просторового землекористування ключове місце посідає обробка цифрових моделей рельєфу, оскільки саме вони детально відтворюють морфологічні особливості території та забезпечують можливість ефективної оптимізації землекористування на основі високоточних даних. Серед основних видів моделей найбільш поширеними визначаємо регулярну сітку висот (Grid), що є растровою структурою, у якій поверхня поділяється на елементарні пікселі з фіксованими значеннями висоти, та нерегулярна триангуляційна мережа (TIN), яка формує модель шляхом побудови взаємопов'язаних трикутників для відображення складних форм рельєфу [7, с. 113]. У межах завдань оптимізації землекористування особливе значення має створення регулярної сітки висот, оскільки вона дає змогу ефективно інтегрувати рельєфні дані у картографічні та аналітичні моделі. При побудові цифрових моделей рельєфу в середовищі ArcGIS широко застосовується модуль Spatial Analyst, який забезпечує виконання ключових операцій з висотними даними. Для формування карти висот з відмивкою необхідно мати вихідні дані, що можуть бути отримані з відкритих інтернет-ресурсів у вигляді готових моделей формату GeoTiff, або підготовлені шляхом оцифрування горизонталей з відомими значеннями висоти (параметр Z). Перед безпосереднім створенням моделі здійснюється спрощення ізоліній та видалення зайвих точок з метою зниження обчислювального навантаження, для чого використовується інструмент Features to Line. Далі формується растрова модель за допомогою утиліти Topo to Raster з набору Interpolation, де додатково налаштовуються інтервали висот для досягнення більш плавних переходів між ними (рис. 1.) [8].

Отриманий растр удосконалюється шляхом виконання відмивки з використанням інструмента Hillshade з набору Surface, після чого шар відмивки накладається на основну модель із заданим рівнем прозорості, що значно підвищує пластичність і наочність рельєфу [9, с. 20].

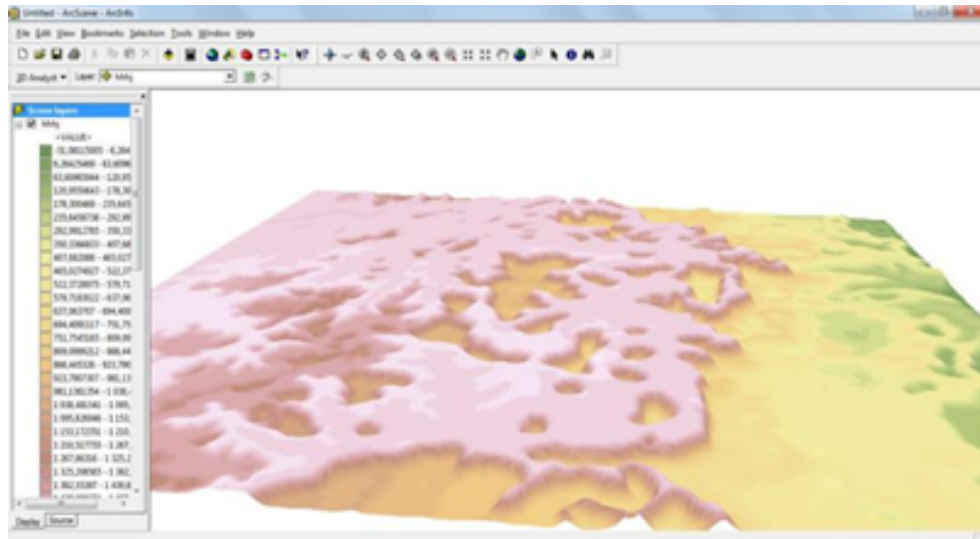


Рис. 1. Візуалізація цифрової моделі рельєфу в середовищі ArcScene (ArcGIS)
(побудовано авторами)

У середовищі QGIS обробка даних висот може бути проведена за допомогою вбудованих інструментів, що дозволяють генерувати растрові моделі рельєфу з відмивкою на основі шару ізоліній з атрибутом висоти. Для цього у модулі аналізу (Analyst) використовується утиліта DEM (Hillshade), яка автоматично формує картографічне відображення рельєфу з підсиленням його об'ємного ефекту. Крім того, QGIS має програмні можливості дати тривимірну візуалізацію на основі вбудованого додаткового модуля «qgis2threejs», що дає змогу демонструвати побудовані 3D-моделі рельєфу у веббраузері, полегшуючи інтерактивний аналіз території та оцінку рельєфних особливостей для подальшого використання у процесах просторового планування та оптимізації землекористування (рис. 2.) [10, с. 202].

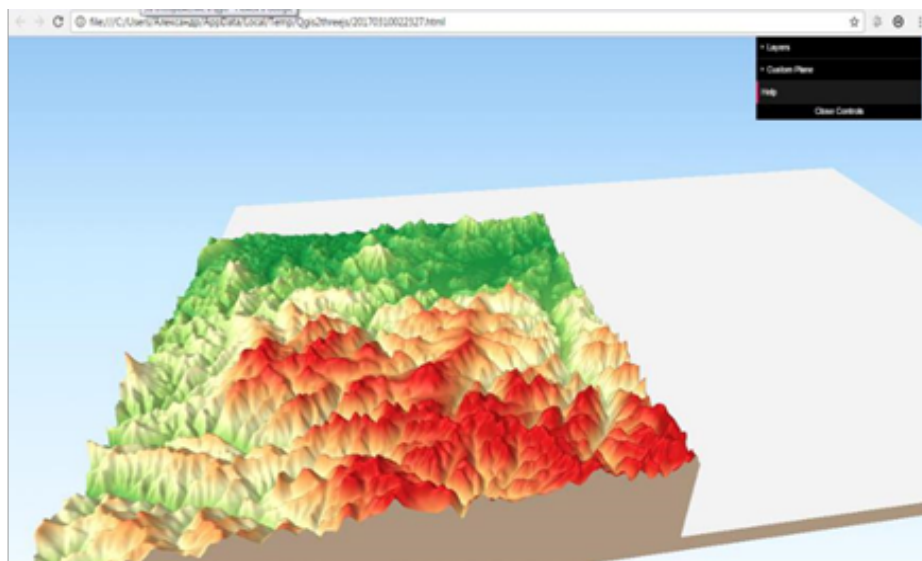


Рис. 2. Тривимірна візуалізація цифрової моделі рельєфу, створеної в QGIS
за допомогою модуля «qgis2threejs»
(побудовано авторами)

У середовищі QGIS реалізовано розширений набір інструментів для обробки висотних даних, що дозволяє ефективно створювати та візуалізувати цифрові моделі рельєфу з метою їх подальшого використання для аналізу просторових характеристик територій і прийняття рішень щодо оптимізації землекористування. Як і в інших сучасних геоінформаційних системах, для виконання аналізу земельних поверхонь у QGIS ми можемо використати додатково підключені модулі, а вихідною інформаційною основою зазвичай слугує шар ізоліній, що містить атрибути висоти (параметр Z). Створення моделі рельєфу з відмивкою здійснюється через меню Raster, де в розділі аналітичних інструментів (Analyst) використовується утиліта DEM (Hillshade), яка на основі вибраного шару ізоліній формує растрове зображення рельєфу з імітацією тіней, що підсилює його пластичність та наочність (рис. 3.).

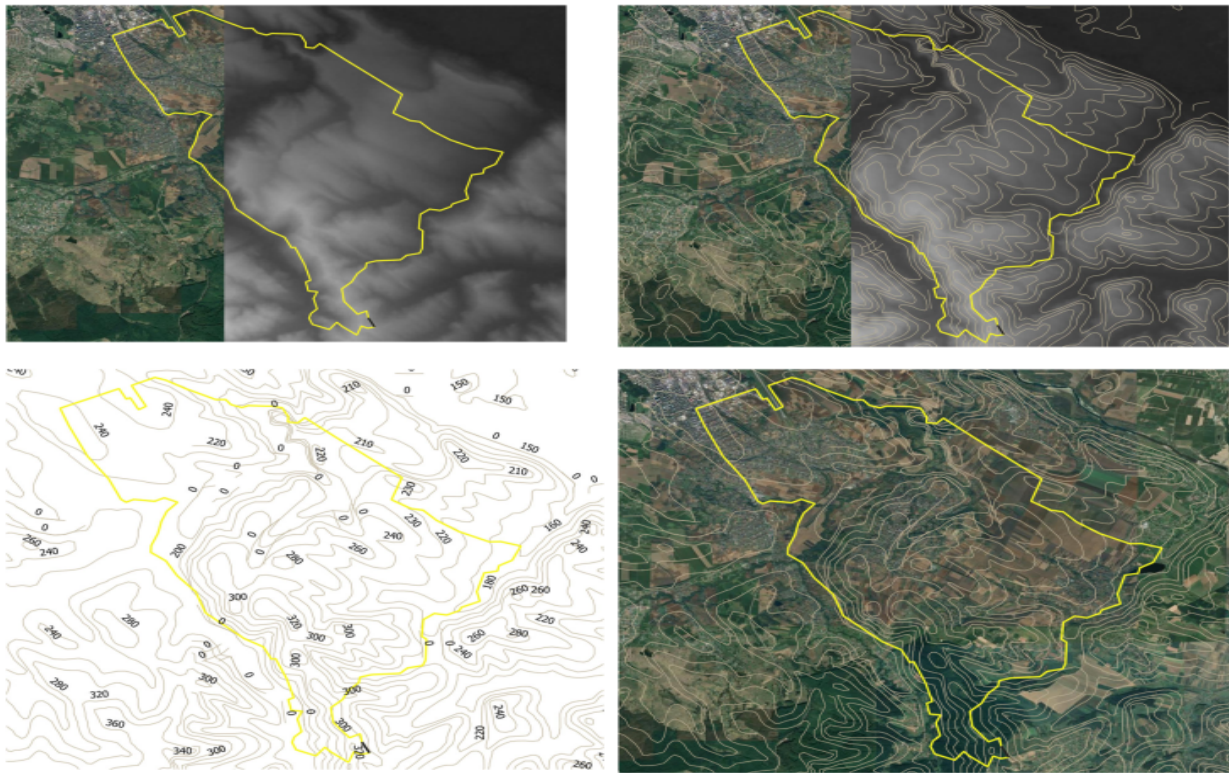


Рис. 3. Утворений лінійний рельєф земельного ареалу завдяки горизонталям у середовищі QGIS (побудовано за допомогою [11])

У середовищі ArcGIS передбачено кілька алгоритмів побудови растрової цифрової моделі рельєфу, серед яких найбільш поширеним і придатним для виконання високоточного моделювання є інструмент *Topo to Raster*, що забезпечує оптимальне поєднання просторової деталізації та коректності інтерполяції висотних даних. Для його використання ми відкриваємо ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Interpolation та обрати відповідний модуль, після чого виконуємо поетапне налаштування параметрів моделі. На

початковому етапі у полі Input Feature data послідовно додаються всі векторні шари, що містять інформацію, необхідну для формування цифрової моделі рельєфу: спочатку шар горизонталей із зазначенням у полі Field атрибута абсолютної висоти (Value) та визначенням типу даних як Contour, потім шар озер із вибором типу Lake, шар урізів води та вершин, для яких у полі Type встановлюється значення Point Elevation, а також шар річкової мережі з параметром Stream [12, с. 62]. Така структурована послідовність дозволяє врахувати різні джерела просторових даних і підвищити точність побудови майбутньої моделі (рис. 4.).

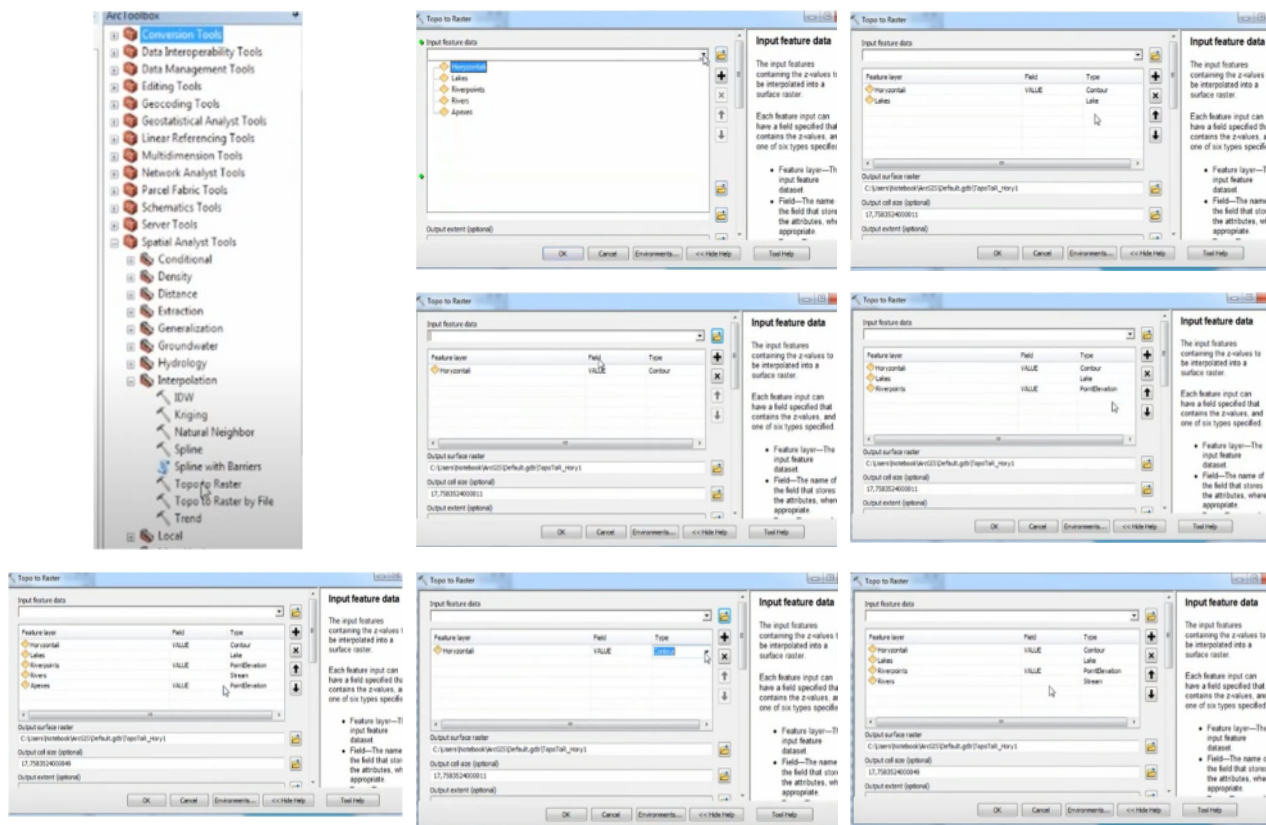


Рис. 4. Послідовність налаштування параметрів інструмента Топо to Raster в ArcGIS для створення цифрової моделі рельєфу (побудовано авторами)

Після завантаження необхідних шарів у полі Output surface raster задається назва та шлях збереження результату (DEM), а у полі Output cell size встановлюється розмір комірки растрових даних у метрах, що безпосередньо впливає на деталізацію рельєфу та розмір підсумкового файлу. Збільшення розміру комірки зменшує обсяг вихідного файлу, проте водночас знижує точність відображення мікроформ рельєфу, тоді як надмале значення призводить до надмірного обсягу даних і збільшення часу обробки. Оптимальним компромісним рішенням вважається встановлення розміру комірки у межах 10–15 метрів (0,2–0,3 мм у масштабі карти), що дає змогу зберегти баланс між якістю та обсягом цифрової моделі [12, с. 490-491].

Додатково у полі Output extent можна визначити просторові межі ділянки, для якої створюється ЦМР, що забезпечує можливість моделювання лише в межах необхідної території без зайвого охоплення прилеглих площ. Виконання запропонованих налаштувань та використання алгоритму Торо to Raster дозволяє отримати високоточну цифрову модель рельєфу, яка є ключовим аналітичним ресурсом для оцінювання придатності земель під різні види господарської діяльності, планування заходів із протидії ерозійним процесам, оптимізації сільськогосподарського землекористування та прогнозування змін стану території у довгостроковій перспективі (рис. 5.) [13].

Для коректного налаштування візуалізації цифрової моделі рельєфу у середовищі ArcGIS через контекстне меню відповідного шару необхідно перейти до його властивостей, де у вкладці Source міститься технічна інформація про модель, а у вкладці Symbology здійснюється вибір та зміна колірної гами відображення.

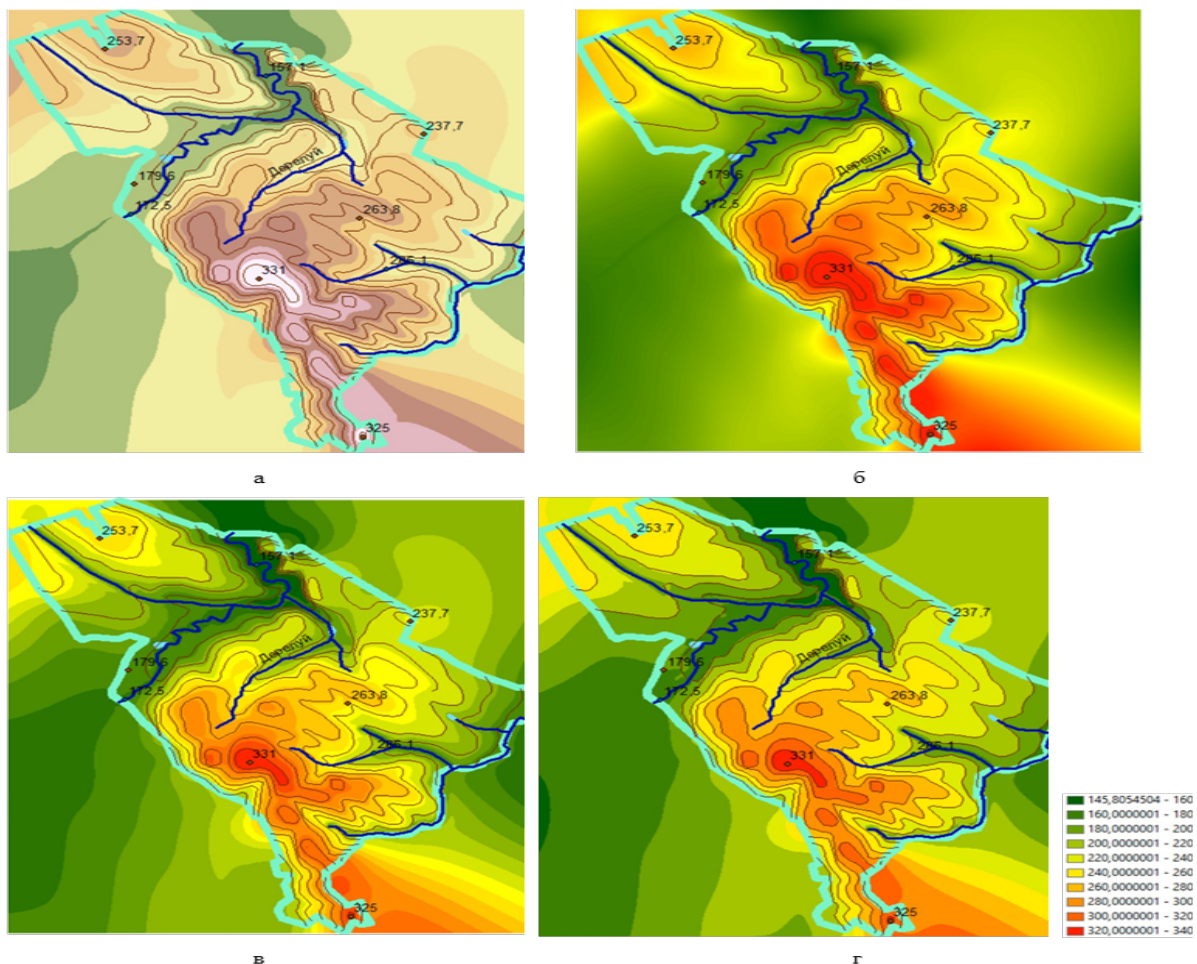


Рис. 5. Приклади візуалізації цифрової моделі рельєфу з використанням різних колірних схем та інтервалів класифікації в ArcGIS (побудовано за допомогою [15])

При використанні режиму Stretched у полі Color Ramp можна обрати колірну шкалу, що найчастіше для рельєфу задається у градації від темно-

зеленого для низин до темно-червоного для найвищих позначок [16]. У разі вибору режиму Classified стає доступним налаштування методу класифікації, зокрема Equal Interval (рівні інтервали з фіксованою кількістю кольорових груп) або Defined Interval (визначення інтервалу висот між горизонталями вручну), де, наприклад, для топографічних карт може бути заданий крок у 20 метрів відповідно до умов легенди (рис. 6).

Слід надалі також врахувати той факт, що всі налаштування у середовищі ArcMap стосуються лише візуалізації моделі в межах поточного проєкту і не змінюють безпосередньо самі дані ЦМР. Це означає, що після збереження проєкту та повторного його відкриття модель може відображатися у стандартній, зокрема чорно-білій гамі. Щоб зберегти обрану символіку та кольорову схему, слід використати команду Save As Layer File, вказавши нову назву шару та шлях для його збереження (оптимально саме поза межами бази геоданих). Коректно налаштована та збережена ЦМР стає в подальшому потужним інструментом для вирішення вагомого спектра завдань, які пов'язані з аналізом просторових характеристик територій, дослідженням рельєфу, визначенням структури гідрологічної мережі, обчисленням морфометричних показників, моделюванням ерозійних процесів та плануванням природоохоронних заходів. Вона активно використовується під час виконання кадастрових робіт, розробки схем оптимізації землекористування та підготовки аналітичних матеріалів для прогнозування змін у ландшафтних системах в межах сталого землекористування.

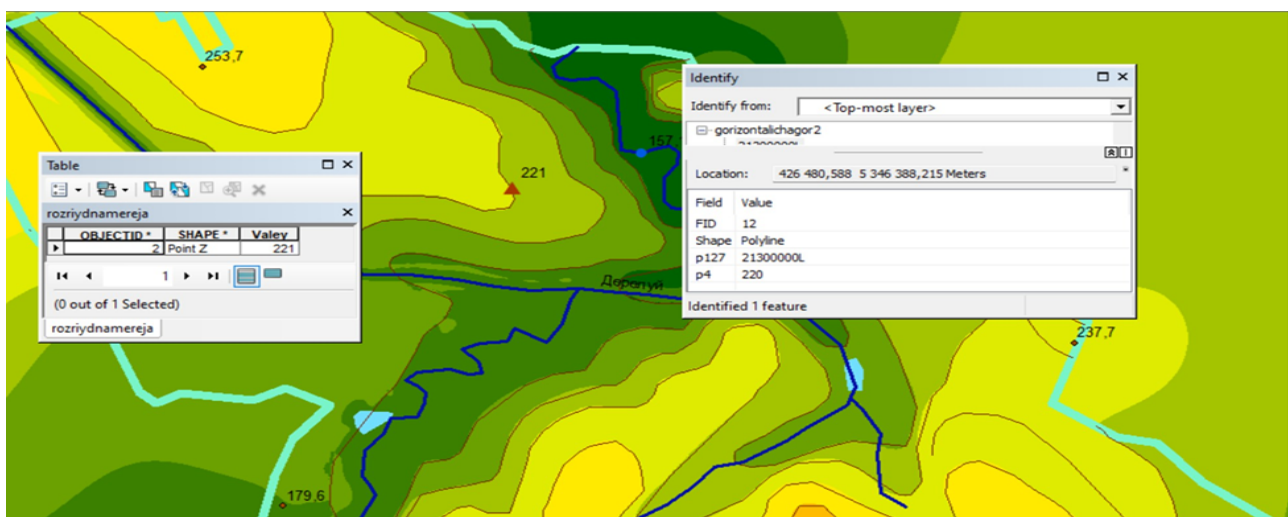


Рис. 6. Ідентифікація висотних значень та елементів рельєфу на основі цифрової моделі рельєфу в ArcGIS (побудовано за допомогою [15])

Як ArcGIS, так і QGIS забезпечують широкий спектр можливостей для аналізу та візуалізації моделей поверхні, включаючи їх тривимірне представлення, що дозволяє гнучко адаптувати процес обробки під специфіку

дослідницьких або практичних завдань. Для глибокого та комплексного аналізу частіше обирають ArcGIS завдяки значній кількості інструментів для роботи з поверхнями, проте QGIS вирізняється високим рівнем візуальної деталізації та зручними можливостями для створення наочних цифрових моделей рельєфу, що робить її ефективним інструментом у проєктах з покращення землекористування для реалій України.

Висновки та рекомендації. Внаслідок проведених наукових досліджень встановлено, що застосування цифрових моделей рельєфу, які створюються на підґрунті комплексного використання даних дистанційного зондування землі, оцифрованих топографічних матеріалів та високоточних GPS-вимірювань, забезпечує унікальну можливість для детального та точного відтворення широкого спектру морфометричних характеристик досліджуваної territory, включаючи абсолютні та відносні висоти, показники крутизни схилів поверхонь, їх експозиційні особливості та мікрорельєфні форми, що в кінцевому результаті створює міцне підґрунтя для значного підвищення наукової обґрунтованості та практичної ефективності управлінських рішень у стратегічно важливій сфері оптимізації сучасного землекористування.

Досліджено комплекс функціональних можливостей сучасних геоінформаційних програмних середовищ ArcGIS та QGIS щодо ефективної побудови, багатоваріантної візуалізації та глибокої аналітичної обробки цифрових моделей рельєфу земної поверхні, а також визначено оптимальні підходи до їх органічної інтеграції у комплексні геоінформаційні системи з метою всебічної підтримки складних процесів територіального планування та систематичного моніторингу поточного екологічного стану земельних ресурсів.

Обґрунтовано впровадження методів інтерполяції просторових даних та інноваційні підходи до професійного налаштування растрових моделей територій, включаючи комплексне дослідження багатofакторного впливу таких критично важливих параметрів, як оптимальний розмір растрової комірки, раціональні інтервали тематичної класифікації та обґрунтований вибір колірних схем візуалізації на загальну якість картографічного відображення рельєфу та прецизійність ідентифікації і визначення характеристик дрібних мікроформ земної поверхні. Оцінено перспективність та практичну доцільність комплексного поєднання цифрових моделей рельєфу з детальними кадастровими відомостями, гідрологічними базами даних та економіко-географічною інформацією для формування науково обґрунтованих комплексних схем раціонального використання земельних ресурсів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорошко Є.В., Штонда Є.О., Захарова Е.В., Саркісян Г.С. Створення цифрової моделі місцевості на основі растрового зображення в системі автоматизованого

проектування ТороCAD. Вісник ХНАДУ. 2024. № 104. С. 107. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.0.107.

2. Vinueza-Martinez J., Correa-Peralta M., Ramirez-Anormaliza R., Franco Arias O., Vera Paredes D. Geographic Information Systems (GISs) Based on WebGIS Architecture: Bibliometric Analysis of the Current Status and Research Trends. Sustainability. 2024. No 16(15). p. 6439. DOI: 10.3390/su16156439.

3. Рожі І., Рожі Т., Федій О. Геодезичні аспекти створення цифрових моделей рельєфу для потреб геоінформаційних систем. Просторовий розвиток. 2024. № 8. С. 477-491. DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.477-491.

4. Littman D.M. Geographic interviews: A qualitative geographic information systems (QGIS) method for understanding person-in-environment. Qualitative Social Work. 2024. No 24(4). p. 413-432. DOI: 10.1177/14733250241304865.

5. Батракова А.Г., Дорожко Є.В., Ємець В.А. Особливості побудови цифрової моделі рельєфу за результатами геодезичної зйомки місцевості. Комунальне господарство міст. 2021. Том 1, № 161. С. 104-108. DOI: 10.33042/2522-1809-2021-1-161-104-108.

6. Wagh R.V., Auti S.K. The Role of Geographic Information Systems (GIS) in Land Use Planning. International Journal of Innovations in Science Engineering And Management. 2025. no 4(1). p. 366-370. DOI: 10.69968/ijisem.2025v4i1366-370.

7. Ситник О., Безлатня Л. Аналіз сучасних методів і засобів для обстеження та виконання великомасштабного геодезичного знімання меліорованих земель. Природничі науки та природокористування. 2024. Вип. 1. С. 112-113.

8. Cubillas J.E., Torculas R., Mayol J., Bajao P.J. Land Classification Plugin for QGIS Using Pix2Pix. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2024. No X-5. p. 33-39. DOI: 10.5194/isprs-annals-X-5-2024-33-2024.

9. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». 2023. Випуск 47. С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3

10. Shevchuk S., Gapon S., Chuvpylo V., Nahorna S., Kuryshko R. The Use of GIS for Ecological and Landscape Land Management of Human Settlements. AD ALTA Journal of Interdisciplinary Research. 2024. No 14(1). p. 200-203. DOI: 10.33543/140139200203.

11. GIS for Land Administration - Esri. URL: www.esri.com/industries/cadastre/

12. Сизенко О.В. Порівняльний аналіз автоматичних патернових морфометричних класифікацій форм рельєфу на основі цифрових моделей висот. Науковий вісник Херсонського державного університету. 2023. № 18. С. 59-66. DOI: 10.32999/ksu2413-7391.2023.18.7.

13. Rogers S.R., Foust B.G., Nelson J.R. Standard use of Geographic Information System (GIS) techniques in honey bee research 2.0. Journal of Apicultural Research. 2024. No 64(2). p. 443-532. DOI: 10.1080/00218839.2024.2357977.

14. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. no 2(13(128)). p. 47-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>

15. Digital Outcrop Modelling and Geological Mapping: Shaping the Future of Geology. URL: <https://www.vrgeoscience.com/shaping-the-future-of-geology/>

16. Kryniecka K. Implementing Geographic Information System (GIS) tools: Algorithm and Quantum Geographic Information System (QGIS) plugin for automatic detection of riverbed forms. MethodsX. 2024. No 13(4). 103041. DOI: 10.1016/j.mex.2024.103041.

Candidate of Economic Sciences **Prokopenko Nataliia**,
Sumy National Agrarian University,
Ph.D. in Agricultural Sciences, Assistant Professor **Shemiakin Mykhailo**,
Uman National University
Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor **Mikhno Pavlo**,
Mykhailo Ostrohradskyi Kremenchuk National University

PROSPECTS FOR THE USE OF DIGITAL RELIEF MODELS IN LAND MANAGEMENT SYSTEMS: INNOVATIVE APPROACHES TO IMPROVING EFFICIENCY AND OPTIMIZING LAND USE

The article is dedicated to analyzing the prospects of using digital elevation models (DEM) in land management for optimizing land use processes, with an emphasis on integrating modern geoinformation technologies. The aim of the study is to explore the spectral capabilities of DEM as a tool for enhancing the efficiency of spatial planning and developing innovative approaches to land resource management. The research methodology is based on the application of geoinformation systems ArcGIS and QGIS for constructing and processing DEM, utilizing data from open sources in GeoTiff format and digitized contour lines with known elevation values. The process included simplifying contour lines, configuring raster models, and integrating layers of land parcel relief. The obtained scientific results demonstrate that regular elevation grids and triangulated irregular networks provide detailed reproduction of land morphological features, contributing to the quality of sustainable land use. The use of Spatial Analyst modules in ArcGIS and DEM tools in QGIS creates highly accurate models with shading and three-dimensional visualization, enhancing the clarity of relief representation. It has been determined that the effectiveness of interpolation settings and color schemes for accurately depicting micro-relief forms, as well as the potential for integrating DEM with cadastral and hydrological data, is significant. The study confirmed the possibility of predicting erosion processes and planning conservation measures based on the developed models. The practical value of the research lies in providing practical recommendations for land management organizations on using DEM in developing schemes for rational land use. The results can be applied to improve the accuracy of cadastral work and land use planning. The scientific novelty of the study lies in developing methodological approaches to integrating DEM with various spatial data for comprehensive land analysis. Innovative solutions for dynamic modeling of relief changes have been proposed, expanding forecasting capabilities in conditions of complex landscapes.

Keywords: digital elevation models; land use; geoinformation technologies; optimization; ArcGIS; QGIS.

REFERENCES

1. Dorozhko, Ye.V., Shtonda, Ye.O., Zakharova, E.V., & Sarkisian, H.S. (2024). Stvorennia tsyfrovoy modeli mistsevosti na osnovi rastrovoho zobrazhennia v systemi avtomatyzovanoho proektuvannia TopoCAD [Creation of a digital terrain model based on a raster image in the TopoCAD computer-aided design system]. *Visnyk KhNADU - Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, (104), 107. {in Ukrainian}.
2. Vinueza-Martinez, J., Correa-Peralta, M., Ramirez-Anormaliza, R., Franco Arias, O., & Vera Paredes, D. (2024). Geographic information systems (GISs) based on WebGIS architecture: Bibliometric analysis of the current status and research trends. *Sustainability*, 16(15), 6439. <https://doi.org/10.3390/su16156439>. {in English}.
3. Rozhi, I., Rozhi, T., & Fedii, O. (2024). Heodezychni aspekty stvorennia tsyfrovyykh modelei rel'yefu dlia potreb heoinformatsiinykh system [Geodetic aspects of creating digital elevation models for the needs of geographic information systems]. *Prostorovyi rozvytok - Spatial Development*, (8), 477-491. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491> {in Ukrainian}.
4. Littman, D.M. (2024). Geographic interviews: A qualitative geographic information systems (QGIS) method for understanding person-in-environment. *Qualitative Social Work*, 24(4), 413-432. <https://doi.org/10.1177/14733250241304865>. {in English}.
5. Batrakova, A.H., Dorozhko, Ye.V., & Yemets, V.A. (2021). Osoblyvosti pobudovy tsyfrovoy modeli rel'yefu za rezultatamy heodezychnoi zjomky mistsevosti [Features of building a digital elevation model based on the results of a geodetic survey of the area]. *Komunalne hospodarstvo mist - Municipal Economy of Cities*, 1(161), 104-108. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-104-108> {in Ukrainian}.
6. Wagh, R.V., & Auti, S.K. (2025). The role of geographic information systems (GIS) in land use planning. *International Journal of Innovations in Science Engineering and Management*, 4(1), 366-370. <https://doi.org/10.69968/ijisem.2025v4i1366-370>. {in English}.
7. Sytnyk, O., & Bezlatnia, L. (2024). Analiz suchasnykh metodiv i zasobiv dlia obstezhennia ta vykonannia velykomasshtabnoho heodezychnoho znimannia meliorovanykh zemel [Analysis of modern methods and tools for surveying and performing large-scale geodetic surveys of reclaimed lands]. *Pryrodnychi nauky ta pryrodokorystuvannia - Natural Sciences and Nature Management*, (1), 112-113 {in

Ukrainian].

8. Cubillas, J.E., Torculas, R., Mayol, J., & Bajao, P.J. (2024). Land classification plugin for QGIS using Pix2Pix. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-5-2024, 33-39. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-5-2024-33-2024>. {in English}.

9. Makedon, V.V., & Bailova, O.O. (2023). Planuvannia i orhanizatsiia vprovadzhennia tsyfrovyykh tekhnolohii v diialnist promyslovykh pidpriemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriiia "Ekonomichni nauky" - Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*, (47), 16-26. {in Ukrainian}.

10. Shevchuk, S., Gapon, S., Chuvpylo, V., Nahorna, S., & Kuryshko, R. (2024). The use of GIS for ecological and landscape land management of human settlements. *AD ALTA Journal of Interdisciplinary Research*, 14(1), 200-203. <https://doi.org/10.33543/140139200203>. {in English}.

11. Esri. (2025). GIS for land administration. <https://www.esri.com/industries/cadastral/>. {in English}.

12. Syzenko, O.V. (2023). Porivnialnyi analiz avtomatychnykh paternovykh morfometrychnykh klasyfikatsii form rel'yefu na osnovi tsyfrovyykh modelei vysot [Comparative analysis of automatic pattern-based morphometric classifications of landform shapes based on digital elevation models]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu - Scientific Bulletin of Kherson State University*, (18), 59-66. <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391.2023.18.7> {in Ukrainian}.

13. Rogers, S.R., Foust, B.G., & Nelson, J.R. (2024). Standard use of geographic information system (GIS) techniques in honey bee research 2.0. *Journal of Apicultural Research*, 64(2), 443-532. <https://doi.org/10.1080/00218839.2024.2357977>. {in English}.

14. Makedon, V., Myachin, V., Plakhotnik, O., Fisunenکو, N., & Mykhailenko, O. (2024). Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(13(128)), 47-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>. {in English}.

15. VR Geological Science. (2025). Digital outcrop modelling and geological mapping: Shaping the future of geology. <https://www.vrgeoscience.com/shaping-the-future-of-geology/>. {in English}.

16. Kryniecka, K. (2024). Implementing geographic information system (GIS) tools: Algorithm and Quantum Geographic Information System (QGIS) plugin for automatic detection of riverbed forms. *MethodsX*, 13(4), 103041. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.103041>. {in English}.