

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.477-491

УДК 528.4:528.8

к.п.н., доцент **Рожі І.Г.**,

inna.rozhi.93@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7950-525X,

Рожі Т.А.,

tomas.rozhi.94@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6794-9662,

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,

к.п.н., доцент **Федій О.А.**,

fediy.alexander@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4879-9523

Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка

ГЕОДЕЗИЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ ДЛЯ ПОТРЕБ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Аналізується роль геоінформаційних систем (ГІС) у зборі, зберіганні, аналізі та візуалізації геопросторових даних, акцентуючи на важливості цифрових моделей рельєфу (ЦМР). ГІС і ЦМР є важливими інструментами для ефективного управління та планування у різних секторах, включаючи екологію, управління водними ресурсами, та планування надзвичайних ситуацій. Стаття детально розглядає процес створення ЦМР з використанням різноманітних методів, таких як наземні заміри, аерофотознімання, супутникове сканування та лазерне сканування (LiDAR). Значення цих моделей особливо важливе для екологів і планувальників, оскільки ЦМР дозволяють оцінювати зміни в ландшафті, що відбуваються внаслідок природних процесів або людської діяльності, та планувати втручання з мінімізацією негативного впливу на довкілля. Аналіз моделей рельєфу також відіграє ключову роль у розробці стратегій для управління ризиками, пов'язаними з природними катастрофами, такими як повені, визначаючи оптимальні маршрути для евакуації та розташування рятувальних пунктів. Стаття також висвітлює сучасні технології, такі як аерофотознімання і LiDAR, які розширюють можливості в геодезії, дозволяючи швидше збирати дані з високою точністю. Це сприяє розширенню застосування ГІС у плануванні використання земель та містобудуванні. Цифрові моделі рельєфу, створені з використанням геодезичних методів, забезпечують високу точність даних. Це критично важливо для інженерії, будівництва, містобудування та природоохоронної діяльності, де точні висотні дані можуть впливати на проектування, реалізацію проектів та оцінку впливу на довкілля. Використання ЦМР у ГІС дозволяє ефективніше планувати використання земель, розробляти інфраструктурні проекти, та оптимізувати управління природними ресурсами. Наприклад, ЦМР допомагають у плануванні маршрутів доріг, що

мінімізує втручання в природні ландшафти та водозбори. Загалом, стаття підкреслює значення інтеграції цифрових моделей рельєфу у ГІС для підвищення ефективності управління землекористуванням і ресурсами, а також для більш глибокого розуміння геопросторових даних, що в свою чергу сприяє прийняттю обґрунтованих рішень і сталому розвитку.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу; геодезичні технології; лазерне сканування; оцифрування топографічних планів; геоінформаційна система; планування територій.

Постановка проблеми. У контексті сучасних технологічних змін та зростаючих вимог до точності та ефективності управління геопросторовими даними, актуальність дослідження ролі геодезичних технологій у створенні цифрових моделей рельєфу є безсумнівною. Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) становлять основу для ефективного функціонування геоінформаційних систем (ГІС), які застосовуються в різноманітних сферах: від урбаністики та катастрофічного реагування до екологічного моніторингу та землеустрою. Зі збільшенням обсягу геопросторових даних та їх значення для стратегічного планування та прийняття рішень, необхідність точного та швидкого створення ЦМР стає критично важливою. Новітні геодезичні технології, такі як лазерне сканування (LiDAR) та фотограмметрія з безпілотних літальних систем (БПЛА), розширюють можливості у цій області, пропонуючи вищу точність і скорочення часу на обробку даних [1].

Також, з огляду на глобальні кліматичні зміни, природні катастрофи та необхідність сталого розвитку, ЦМР допомагають у точному моделюванні і аналізі рельєфу для прогнозування повеней, планування водозабезпечення та контролю ерозії ґрунтів. Це підкреслює не тільки технологічну, але й соціальну, економічну та екологічну важливість подальшого розвитку геодезичних технологій у створенні ЦМР. Враховуючи вищевказане, дане дослідження має на меті аналізувати інноваційні підходи в геодезії для підвищення ефективності геоінформаційних систем. Це відкриє нові можливості для використання геопросторових даних в різних дисциплінах і сферах діяльності, що є надзвичайно важливим у світлі сучасних викликів і потреб.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Фундаментальним компонентом для досягнення цілей дослідження є цифрова модель рельєфу, визначена багатьма авторами по-різному [2, 3]. Оптимальним способом, на нашу думку, є матриця висот, представлена в цифровому вигляді, що відображає безперервну зміну рельєфу місцевості. Цифрова модель рельєфу доповнена різними елементами ландшафту (рослинність, будівлі тощо), що містить геометричні параметри, називають цифровою моделлю.

Такі автори як: Вертегел С., Вишняков В., Гуреля В., Сластін С., Піскун О., Харченко С., Мороз В. [4], Данкевич В., Данкевич Є. [5], розглядають різні методи збору даних, які використовуються для створення ЦМР. Включені теми такі, як тахеометричне знімання, аерофотознімання, лазерне сканування (LiDAR) та супутникове сканування. Вони детально описують як ці методи впливають на точність та якість геодезичних даних.

В науковій роботі Македон В., Байлова О. [6] обговорюється розвиток інструментів та технологій, які сприяють удосконаленню ЦМР. Особливу увагу приділено сучасним технологіям, як-от лазерне сканування LiDAR, яке забезпечує високу точність моделей. В роботі Кешаварз-Горабаї Мехді [7] описується, як ЦМР інтегруються в ГІС для різноманітних прикладних задач, включаючи урбаністичне планування, управління навколишнім середовищем, і надзвичайні ситуації. Отже, ми бачимо доцільність розвитку практики використання цифрових моделей рельєфу для закриття потреб використання геоінформаційних систем в сучасній геодезії.

Мета і задачі дослідження. Мета статті – оцінка геодезичних методів і технологій, які використовуються для створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР), а також вивчення їх інтеграції та ефективності у геоінформаційних системах (ГІС).

Завдання дослідження:

- дослідити існуючі методи збору геоданих для створення ЦМР, включаючи аерофотознімання та LiDAR;
- визначити вплив обраних методів на кінцеву якість ЦМР у контексті їх застосування у ГІС;
- дослідити процеси і технології інтеграції ЦМР у ГІС, включаючи виклики та стратегії вирішення проблем сумісності.

Матеріали та методи. Інформація про зміни на місцевості, виходить за матеріалами польового обстеження із застосуванням тахеометрів, лазерних сканерів, а також за матеріалами аерофотознімання, у тому числі із застосуванням безпілотних літальних апаратів. Автоматизовані системи оновлення дають унікальні можливості та максимальний ефект при оновленні ЦМР. Для цього використовуємо таку послідовність дій:

- одержання вихідних топографічних планів територій, якщо такі є;
- оцифрування вихідних топографічних планів та побудова вихідної моделі;
- виконання геодезичних вимірів та на їх основі одержання результатів у вигляді каталогу координат, змінених або деформованих об'єктів (файли, що містять хмари точок);

- підготовка та передача отриманих геоінформаційних даних у середу спеціальних програм;
- виконання операцій з вирівнювання та прив'язування даних;
- обробка та коригування польових даних;
- створення технічного звіту;
- оформлення та підготовка до друку, оновленої ЦМР.

Оновлення цифрових моделей геопростору є більш складним процесом порівняно з виробництвом нового топографічного знімання. Вихідні топографічні карти використовуються як основа (вихідна інформація) для визначення обсягу робіт, у виборі методу виконання топографогеодезичних робіт та програми їх виконання та у вирішенні організаційних питань. Далі необхідно провести геодезичні вимірювання та збирати геоінформаційні дані про сучасний стан геопростору існуючими методами збору даних (наземне знімання, аерофотознімання). Залежно від змінених ситуацій місцевості, знімання(дознімання) проводиться або повністю всієї ділянки, або лише ті елементи, що змінилися. Для роботи з ГІС використовується геоінформаційне забезпечення з можливістю тривимірної візуалізації, що дозволяє здійснювати комплексний аналіз території.

Результати та їх обґрунтування. У сучасному світі, де технології швидко розвиваються, значення геоінформаційних систем неперервно зростає. Ці системи забезпечують збір, зберігання, аналіз та візуалізацію геопросторових даних, що мають важливе значення для планування, управління та прийняття рішень у багатьох секторах економіки. Одним з ключових компонентів ГІС є цифрові моделі рельєфу, які відіграють вирішальну роль у візуалізації та аналізі ландшафтів. Цифрова модель рельєфу становить собою тривимірне зображення поверхні Землі, включаючи всі її характеристики – від височин до впадин, від гір до долин. Ці моделі виробляються на основі даних, отриманих з різних джерел, таких як наземні заміри, аерофотознімання, супутникові знімки, а також через сканування лазерним радаром (LiDAR) [3].

Перш за все, ЦМР є незамінними у роботі екологів і планувальників. Вони дозволяють точно оцінювати зміни в ландшафті, що відбуваються внаслідок природних процесів або людської діяльності, а також планувати втручання, які мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище. Наприклад, при плануванні забудови нових територій або трасуванні доріг, ЦМР допомагають визначити найменш шкідливі маршрути та способи використання земель. В галузі водного господарства ЦМР використовують для аналізу водозборів, водовідведення, а також для планування заходів зі збереження водних ресурсів. Ці моделі дозволяють точно моделювати водні потоки, оцінювати ризики повеней та визначати оптимальні місця для

будівництва водосховищ. У сфері катастроф і надзвичайних ситуацій ЦМР надають критично важливу інформацію для рятувальних команд та планувальників. Аналіз моделей рельєфу допомагає визначити потенційні зони ризику, планувати евакуаційні маршрути та розміщувати рятувальні пункти (табл. 1).

Таблиця 1

Огляд геодезичних методів створення цифрових моделей рельєфу (побудовано авторами на основі [7, 8])

Метод	Опис	Переваги	Обмеження
Тахеометричне знімання	Використання тахеометра для прямого вимірювання кутів та відстаней.	Висока точність; здатність працювати в складних умовах.	Часозатратний; вимагає доступу до кожної точки на місцевості.
Аерофотознімання	Знімання з повітря за допомогою літаків або дронів, обробка отриманих зображень.	Швидке покриття великих територій; гнучкість використання.	Менша точність порівняно з наземними методами.
Лазерне сканування (LiDAR)	Використання лазерних променів для вимірювання відстаней до поверхні землі.	Висока точність; здатність "бачити" крізь рослинність.	Висока вартість обладнання та обробки даних.
Супутникове сканування	Збір даних за допомогою супутників, які обертаються навколо Землі.	Здатність збирати дані на глобальному рівні.	Менша деталізація; залежність від погодних умов.

Не менш важливе значення ЦМР має у наукових дослідженнях, де вони використовуються для вивчення процесів ерозії, седиментації, тектонічних змін та інших геологічних феноменів. Наприклад, вивчення змін рельєфу може допомогти вченим зрозуміти патерни міграції тварин, зміни клімату або розвиток рослинності.

Геодезичні технології, що використовуються для створення цифрових моделей рельєфу, розвиваються з кожним роком, пропонуючи все більшу точність і швидкість обробки даних. Серед сучасних технологій найбільш значущими є аерофотознімання та лазерне сканування (LiDAR), які відкрили нові можливості для досліджень і практичного використання в геоінформаційних системах (рис. 1).

Аерофотознімання - це метод аерознімання земної поверхні з літаків, дронів або супутників. Ця технологія дозволяє швидко збирати геодані великих територій з високою роздільною здатністю. Аерофотознімання особливо ефективно для картографування великих просторів, які важко або небезпечно

досліджувати наземними методами. Такі зображення використовуються для створення топографічних карт, моніторингу змін в землекористуванні та плануванні міського розвитку. Використання аерофотознімання значно спрощує процес обробки даних, оскільки сучасне програмне забезпечення може автоматично об'єднувати знімки, виправляючи дисторсії і вирівнюючи перекриття.

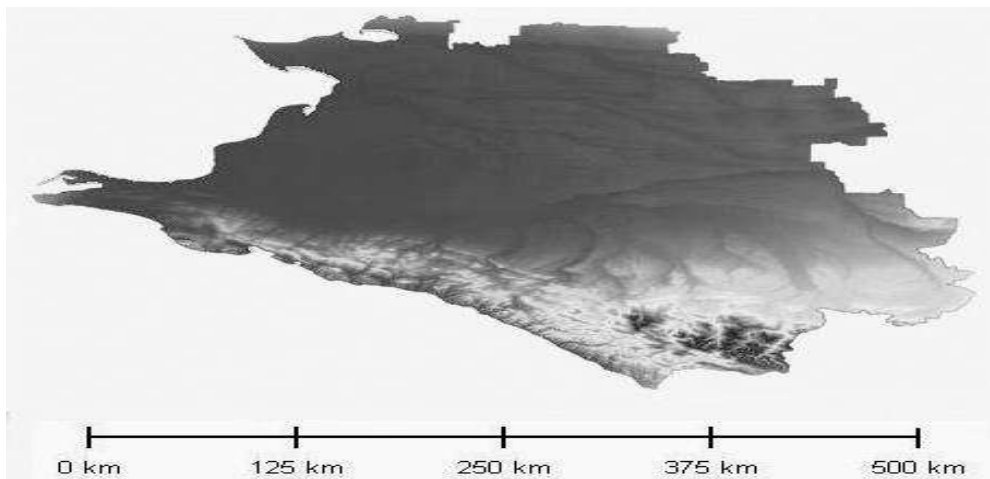


Рис. 1. Приклад ЦМР (GTOPO30) окремої території [9]

Застосування безпілотників у геодезії та картографії не є новим явищем, але їх широке використання для створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР) підкреслює їхнє значення в цій галузі. Поєднання розвинутого програмного забезпечення з потужними камерами та сканерами значно спростило та прискорило процеси збору, аналізу та обробки даних. Сучасні безпілотники оснащені датчиками, чиї дані легко інтегруються у спеціалізоване програмне забезпечення для фотограмметрії, дозволяючи створювати точні та деталізовані цифрові моделі рельєфу. З ринку можна вибрати безпілотники різних виробників, як великих, так і малих.

Важливо зазначити, що деякі компанії, включаючи вітчизняні, продовжують активно користуватися старішими моделями дронів, такими як DJI (Spreading Wings 1000 (s1000), DJI 550 (f550) та старі версії серії Phantom). Це свідчить про те, що навіть застарілі моделі безпілотників можуть значно покращувати ефективність збору даних порівняно з традиційними методами, знижуючи час та витрати на польові дослідження [10]. У контексті будівельних та інших термінових проектів, де швидкість і вартість виконання є критичними, використання таких технологій стає незамінним (рис. 2).

Наприклад, наявність дрона з необхідним обладнанням і програмним забезпеченням може уникнути необхідності повторної відправки команд на місце для додаткових досліджень. Нові моделі, як промисловий квадрокоптер

Matrice 300 RTK та інші з лінійки Matrice, забезпечують користувачам гнучкість у встановленні спеціалізованого обладнання та розробці власних програм обробки даних за допомогою DJI SDK.

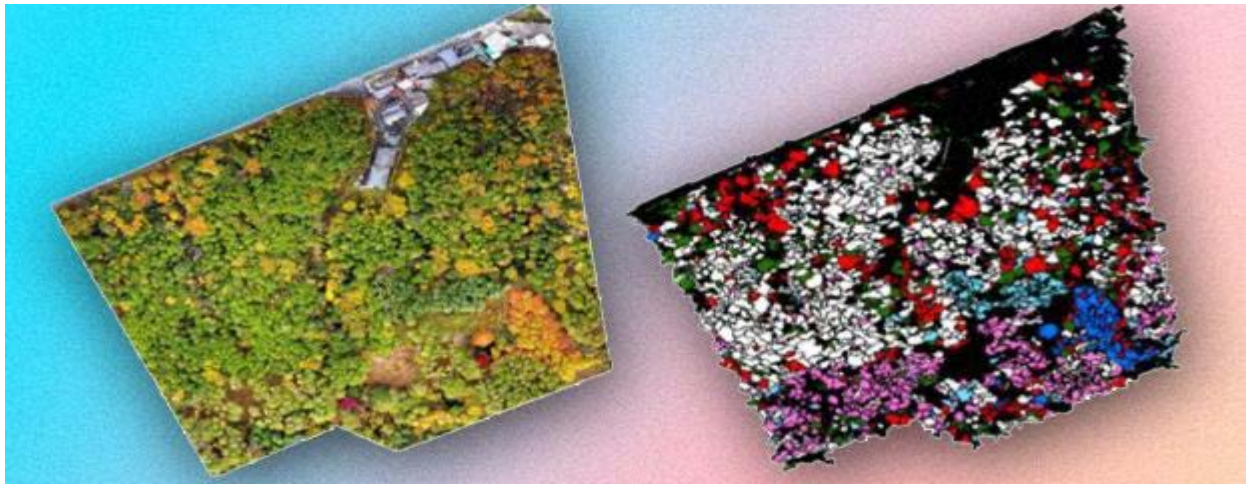


Рис. 2. Використання безпілотників та неймережі для створення цифрової моделі лісу [11]

Традиційні методи геодезичного знімання часто вимагають значних зусиль і ресурсів, особливо для великих територій. Вони можуть бути особливо трудомісткими для комерційних проектів або проектів, критичних для розвитку територій. У таких випадках, знімання з повітря за допомогою безпілотників стає більш ефективним і економічним рішенням, ніж використання традиційних літальних апаратів.

Основні етапи роботи з використанням безпілотників. Робота з безпілотниками для створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР) включає кілька ключових етапів:

1) Попередній збір інформації про об'єкт або територію. На цьому етапі збираються дані про розташування, розміри, особливості об'єкта тощо для визначення мети створення ЦМР, оцінки часу та витрат, а також планування робіт.

2) Планування робіт та місій безпілотників. Завдяки попередньому збору даних можна скласти чіткий план робіт, визначити необхідну кількість фахівців, обладнання та моделі безпілотників. Важливою частиною планування є складання карт польотів та визначення днів для місій. Це можна організувати через спеціалізовані програми, такі як DJI FlightHub.

3) Виконання польотних місій для знімання або сканування поверхні. Цей процес може бути автоматизований з використанням програмного забезпечення, яке дозволяє безпілотникам літати за заздалегідь встановленим маршрутом. Перед польотом можуть бути встановлені необхідні точки

прив'язування для точності знімання. Зазвичай для виконання знімання достатньо 1-2 осіб.

4) Аналіз та обробка даних. Після збору даних фахівці аналізують їх і починають створення цифрової моделі рельєфу. Це може здійснюватися як в реальному часі з борту безпілотної літачки, так і після завершення всіх польотів. Якщо потрібно додаткові дані, можливі повторні польоти. Для обробки використовується спеціалізоване програмне забезпечення [12].

Ці етапи забезпечують систематичний підхід до використання безпілотних технологій для точного та ефективного створення цифрових моделей рельєфу.

Лазерне сканування (LiDAR) є ще однією революційною технологією, яка використовується для точного вимірювання відстаней до земної поверхні за допомогою лазерного променя. LiDAR може бути встановлений на літаках, дронах чи наземних платформах, забезпечуючи високу точність і деталізацію рельєфу (рис. 3). Ця технологія особливо цінна в лісових господарствах та екологічних дослідженнях, де необхідно отримати дані про рельєф під деревною кроною.

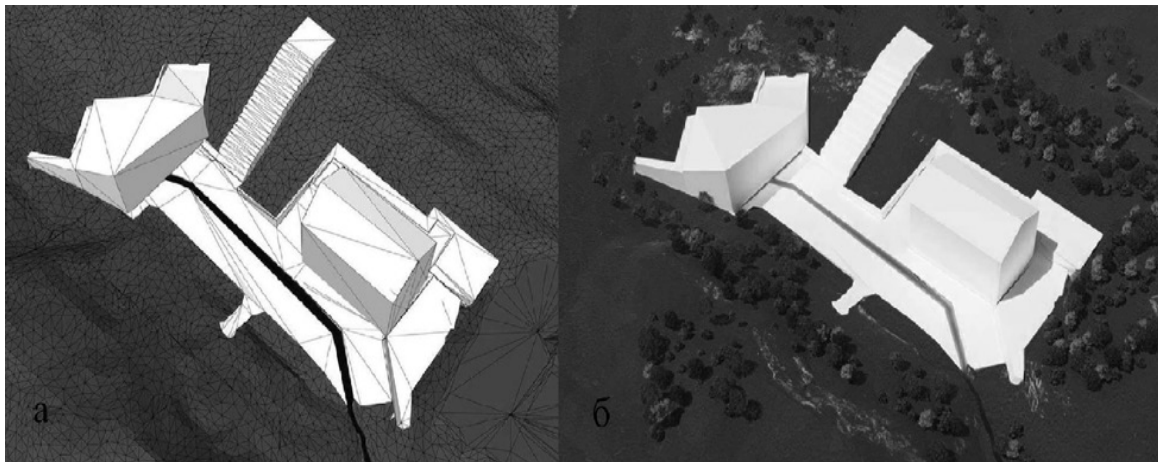


Рис. 3. Принцип роботи Лазерного сканування (LiDAR) [13]

LiDAR не тільки підвищує точність геодезичних даних, але й дозволяє виконувати 3D моделювання складних ландшафтів, що є незамінним для досліджень ерозії, ризиків зсувів та інших геологічних феноменів. Використання аерофотознімання і LiDAR в геодезії надає значні переваги для управління природними ресурсами, містобудування, та навіть археології. Ці технології забезпечують швидке збирання даних з високою точністю, що дозволяє проводити аналіз землекористування, прогнозування природних катастроф і планування використання земель з урахуванням екологічних та соціальних факторів. У підсумку, аерофотознімання і лазерне сканування (LiDAR) є потужними інструментами сучасної геодезії, які значно підвищують

ефективність створення цифрових моделей рельєфу (рис. 4). Їх використання відкриває нові можливості для глибокого розуміння та керування геопросторовими даними, покращуючи якість життя та підвищуючи безпеку в сучасному світі.

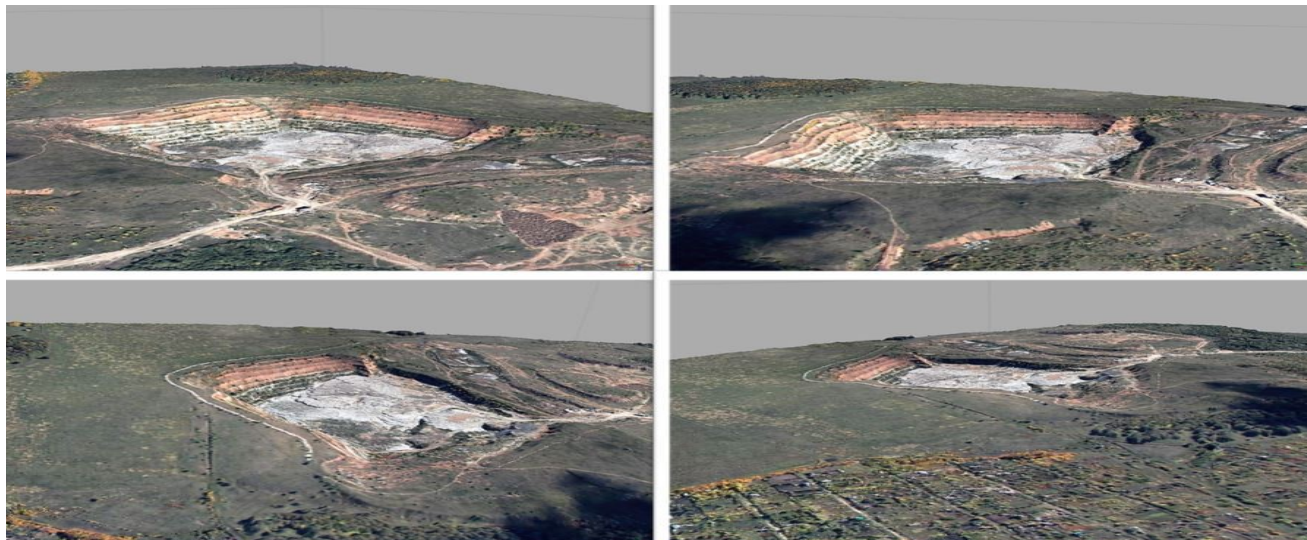


Рис. 4. Візуалізація тривимірної моделі місцевості, побудованої за даними лазерного сканування поверхні [13]

Створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР) є складним процесом, який включає кілька критично важливих етапів: від збору геоданих до їх обробки та аналізу за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Цей процес є вирішальним для геоінформаційних систем (ГІС), планування територій, екологічного моніторингу та багатьох інших сфер, де точність і деталізація геопросторових даних мають принципове значення.

1. Збір даних, вибір методу залежно від масштабу і деталізації проєкту. Перший етап створення ЦМР – збір даних – є фундаментом для всієї подальшої роботи. Вибір методу збору даних залежить від конкретних цілей проєкту, масштабу та потрібної деталізації. Для великих територій часто використовують аерофотознімання та супутникові знімки, які дозволяють швидко покрити великі площі. Для проєктів, що вимагають вищої точності або деталізації, наприклад, при містобудуванні або інженерній діяльності, застосовують лазерне сканування LiDAR, що забезпечує високу точність вимірювань.

2. Обробка даних: від первинної обробки до створення кінцевої моделі. Після збору даних настає фаза їх обробки, що включає кілька етапів: від первинної обробки до створення кінцевої моделі. Первинна обробка зазвичай включає корекцію помилок, видалення шумів та нормалізацію даних. Далі слід геореференцування, тобто прив'язка зібраних даних до визначених точок на

земній поверхні. Завершальний етап – інтерполяція, при якій на основі отриманих точкових даних формується неперервна тривимірна поверхня. Цей етап вимагає високої уваги та точності, оскільки результат впливає на всі подальші аналізи та використання моделі [14].

3. Використання програмного забезпечення для обробки геоданих. Сучасне програмне забезпечення для обробки геоданих відіграє ключову роль у створенні цифрових моделей рельєфу. Воно не тільки автоматизує багато складних процесів, але й забезпечує інструменти для аналізу та візуалізації даних. Програми як ArcGIS, QGIS, або спеціалізовані платформи для LiDAR обробки дозволяють користувачам легко маніпулювати великими об'ємами даних, проводити комплексний аналіз і генерувати звіти та візуалізації, які важливі для кінцевих користувачів і зацікавлених сторін.

Завдяки цьому трьохетапному процесу створення ЦМР – від збору даних через їх обробку до використання спеціалізованого програмного забезпечення – фахівці можуть створювати точні і деталізовані моделі рельєфу, які використовуються у багатьох областях, від екології до урбаністики. Це підкреслює значущість і потребу у постійному вдосконаленні геодезичних методів і технологій. Впровадження цих моделей у геоінформаційні системи (ГІС) значно розширює можливості аналізу, візуалізації та прийняття обґрунтованих рішень на основі геопросторових даних. Ефективна інтеграція та візуалізація ЦМР у ГІС вимагає розуміння технологічних процесів та потреб користувачів [10].

Інтеграція ЦМР у ГІС починається зі збору та обробки даних, які потім потрібно коректно завантажити в систему. Це включає перетворення даних у формат, сумісний з ГІС, та їх геореференцування, щоб забезпечити точне відображення географічних координат. Однією з ключових вимог є вибір відповідного масштабу та рівня деталізації моделі, що відповідають цілям проєкту. Наприклад, для міського планування потрібна висока деталізація, тоді як для регіонального планування може бути достатньо менш деталізованих даних.

Візуалізація є критично важливим аспектом використання ЦМР у ГІС. Сучасні ГІС пропонують різноманітні інструменти для візуалізації, включаючи 3D-моделювання, створення топографічних карт, шарові оверлеї та аналіз висот. Ефективна візуалізація не тільки полегшує інтерпретацію даних, але й допомагає у виявленні тенденцій, моделюванні сценаріїв та плануванні заходів. Наприклад, використання цифрових моделей рельєфу для аналізу водозборів може допомогти у визначенні оптимальних місць для розміщення водойм у міських умовах. Важливість добре інтегрованої та візуалізованої ЦМР у ГІС не може бути переоцінена. Вона дозволяє користувачам не тільки "бачити" рельєф

у новому світлі, але й розуміти його взаємодію з іншими географічними та екологічними факторами [15]. Це стає основою для розробки стратегій сталого розвитку, управління природними ресурсами та адаптації до змін клімату.

Завдяки інтеграції ЦМР в ГІС, професіонали можуть не лише краще планувати та реагувати на природні й антропогенні зміни, але й ефективніше використовувати обмежені ресурси, забезпечуючи більш збалансоване та обізнане управління землекористуванням. Таким чином, цифрові моделі рельєфу в геоінформаційних системах відіграють ключову роль у формуванні майбутнього, де технології допомагають нам більш повно розуміти та ефективно управляти нашим світом.

Висновки та рекомендації. Визначено, що цифрові моделі рельєфу створюються з використанням даних, отриманих за допомогою наземних замірів, аерофотознімання, супутникових знімків та сканування лазерним радаром (LiDAR). Ці моделі є важливими для роботи екологів і планувальників, оскільки вони дозволяють точно оцінювати зміни в ландшафті, викликані природними процесами або людською діяльністю, а також допомагають планувати заходи для мінімізації негативного впливу на довкілля. Обґрунтовано, що ЦМР мають особливе значення у сферах, де необхідне детальне планування і реагування на катастрофи, наприклад, вони дозволяють моделювати водні потоки, оцінювати ризики повеней та визначати оптимальні місця для будівництва водосховищ. Також ці моделі використовуються для планування евакуаційних маршрутів та розміщення рятувальних пунктів.

Доведено, що застосування сучасних технологій, таких як аерофотознімання та LiDAR, відкриває нові можливості для створення ЦМР, забезпечуючи високу точність та швидкість обробки даних. Це сприяє більш ефективному управлінню природними ресурсами, плануванню міст, а також проведенню наукових досліджень, пов'язаних з вивченням геологічних та екологічних процесів.

Таким чином, цифрові моделі рельєфу відіграють вирішальну роль у геоінформаційних системах, допомагаючи формувати майбутнє, де технології дозволяють нам більш повно розуміти та ефективно управляти нашим світом. Їхня інтеграція і використання є ключовими для забезпечення сталого розвитку та адаптації до змінних умов навколишнього середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Згурська О., Корчинська О., Рубель К., Кубів С., Тарасюк А., Головченко О. Цифровізація національного агропромислового комплексу: нові виклики, реалії та перспективи. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2022. №6(47). с. 388-399.

<https://doi.org/10.55643/fcaptp.6.47.2022.3929>

2. Woo K.S., Worboys G., Geological monitoring in protected areas, *International Journal of Geoheritage and Parks*. 2019. Volume 7. Issue 4. pp. 218-225. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.12.004>.

3. Андрощук Г.О. Інформаційно-комунікаційні технології в цифровій економіці: стан та перспективи розвитку: брошура. НДІ ІВ НАПрН України. Київ: Інтерсервіс, 2021. 84 с.

4. Вертегел С., Вишняков В., Гуреля В., Сластін С., Піскун О., Харченко С., Мороз В. Розробка методики створення і оновлення картографічної основи з використанням космічних знімків від супутників «SUPER VIEW-1». *Екологічна безпека та природокористування*. 2022. №41(1). с. 89–101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101>.

5. Данкевич В.Є., Данкевич Є.М. Моніторинг сільськогосподарських угідь із застосуванням систем дистанційного зондування земель. *Економіка АПК*. 2019. №8. С. 27.

6. 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.

7. Keshavarz-Ghorabaee Mehdi & Amiri Maghsoud & Olfat Laya & Khatami Firouzabadi Ali. Designing a multi-product multi-period supply chain network with reverse logistics and multiple objectives under uncertainty. *Technological and Economic Development of Economy*. 2017. №23. pp. 520-548. 10.3846/20294913.2017.1312630.

8. Македон В.В., Валіков В.П., Федьора С.С. Удосконалення управління промисловими підприємствами на основі стратегій інноваційного розвитку. *Європейський вектор економічного розвитку*. 2019. №1. С. 108–125.

9. U.S. Geological Survey (USGS). All Maps. URL: <https://www.usgs.gov/products/maps/all-maps>

10. Chabaniuk V., Polyvach K. Critical properties of modern geographic information systems for territory management. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2020. No. 3(201). pp. 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005.

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

12. Villanueva J.K.S., Blanco, A.C. Optimization of ground control point (GCP) configuration for unmanned aerial vehicle (UAV) survey using structure from motion (SFM). *The International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. 42. pp. 167–174. DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W12-167-2019

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

14. Македон В.В, Михайленко О.Г. Управління внутрішніми інвестиційними проектами в регіональному промисловому кластері підприємств. Підприємництво та інновації. 2022. (25). С. 56-63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>

15. Hablovskyi B., Hablovska N., Shtohryn L., Kasiyanchuk D., Kononenko M. The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. Journal of Ecological Engineering. 2023. №24(7). pp. 254-262. <https://doi.org/10.12911/22998993/164753>.

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor **Rozhi Inna**,

Lecturer **Rozhi Tomas**,

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,

PhD in Pedagogy, Associate Professor **Fedii Oleksandr**,

Poltava V.G. Korolenko National Pedagogical University

GEODESIC ASPECTS OF THE CREATION OF DIGITAL RELIEF MODELS FOR THE NEEDS OF GEO-INFORMATION SYSTEMS

The article analyzes the role of geographic information systems (GIS) in the collection, storage, analysis, and visualization of geospatial data, emphasizing the importance of digital terrain models (DRMs). GIS and DEM are important tools for effective management and planning in various sectors, including ecology, water management, and emergency planning. The article examines in detail the process of creating a DEM using a variety of methods, such as ground surveys, aerial photography, satellite scanning and laser scanning (LiDAR). The value of these models is particularly important for ecologists and planners, as DEMs allow the assessment of changes in the landscape that occur as a result of natural processes or human activities, and the planning of interventions to minimize the negative impact on the environment. Analysis of terrain patterns also plays a key role in developing strategies to manage risks associated with natural disasters such as floods, determining optimal evacuation routes and locating rescue points. The paper also highlights modern technologies such as aerial photography and LiDAR, which are expanding the capabilities of geodesy, allowing faster data collection with high accuracy. This contributes to the expansion of the use of GIS in land use planning and urban planning. Digital relief models, created using geodetic methods, provide high data accuracy. This is critical for engineering, construction, urban planning, and conservation activities, where accurate elevation data can influence design, project

implementation, and environmental impact assessment. The use of DEM in GIS allows for more efficient planning of land use, development of infrastructure projects, and optimization of natural resource management. For example, DEMs help in planning road routes that minimize interference with natural landscapes and watersheds. Overall, the paper highlights the importance of integrating digital terrain models into GIS to improve the effectiveness of land use and resource management, as well as to provide a deeper understanding of geospatial data, which in turn contributes to informed decision-making and sustainable development.

Keywords: digital relief model; geodetic technologies; laser scanning; digitization of topographic plans; geoinformation system; territorial planning.

REFERENCES

1. Zghurska, O., Korchynska, O., Rubel, K., Kubiv, S., Tarasiuk, A., & Holovchenko, O. (2022). Digitalization of the national agro-industrial complex: new challenges, realities and prospects. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 6(47), 388–399. <https://doi.org/10.55643/fcaptop.6.47.2022.3929>. {in Ukrainian}.
2. Woo, K.S., Worboys, G. (2019). Geological monitoring in protected areas, *International Journal of Geoheritage and Parks*, Volume 7, Issue 4, 218-225. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.12.004>. {in English}.
3. Androshchuk, H.O. (2021). Information and communication technologies in the digital economy: state and prospects for development: brochure. Research Institute of National Academy of Sciences of Ukraine. {in Ukrainian}.
4. Vertegel, S., Vyshnyakov, V., Gurelia, V., Slastin, S., Piskun, O., Kharchenko, S., & Moroz, V. (2022). Rozrobka metodyky stvorennia i onovlennia kartohrafichnoyi osnovy z vykorystannyam kosmichnykh znimkiv vid suputnykiv «SUPER VIEW-1» [Development of the methodology for creating and updating the cartographic base using space images from the "SUPER VIEW-1" satellites]. *Environmental Security and Nature Management*, 41(1), 89–101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101> {in Ukrainian}.
5. Dankevich, V.E., Dankevich, E.M., (2019). Monitorynh sil's'kohospodars'kykh uhid' iz zastosuvannyam system dystantsiynoho zonduvannya zemel' [Monitoring of agricultural lands using remote land sensing systems]. *Economy of agro-industrial complex*, No. 8, 27. {in Ukrainian}.
6. Makedon, V.V., Bailova O.O. (2023). Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*, Issue 47, 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3. {in Ukrainian}.
7. Keshavarz-Ghorabae, Mehdi & Amiri, Maghsoud & Olfat, Laya &

Khatami Firouzabadi, Ali. (2017). Designing a multi-product multi-period supply chain network with reverse logistics and multiple objectives under uncertainty. *Technological and Economic Development of Economy*, 23, 520-548. 10.3846/20294913.2017.1312630. {in English}.

8. Makedon, V.V., Valikov, V.P., Fedyora, S.S. (2019). Udoskonalennya upravlinnya promyslovymy pidpryyemstvamy na osnovi stratehiy innovatsiynoho rozvytku [Improving the management of industrial enterprises based on innovative development strategies]. *European vector of economic development*, No.1, pp. 108–125. {in Ukrainian}.

9. U.S. Geological Survey (USGS). All Maps. (2023). Retrieved from: <https://www.usgs.gov/products/maps/all-maps> {in English}

10. Chabaniuk, V., Polyvach, K. (2020). Critical properties of modern geographic information systems for territory management. *Cybernetics and Computer Engineering*, No. 3(201), 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005 {in English}.

11. GIS for Land Administration – Esri. Retrieved from: www.esri.com/industries/cadastre/ {in English}

12. Villanueva, J.K.S., & Blanco, A.C. (2019). Optimization of ground control point (GCP) configuration for unmanned aerial vehicle (UAV) survey using structure from motion (SFM). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 167–174. DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W12-167-2019. {in English}.

13. Digital Outcrop Modelling and Geological Mapping: Shaping the Future of Geology. (2023). Retrieved from: <https://www.vrgeoscience.com/shaping-the-future-of-geology/> {in English}

14. Makedon, V.V., Mykhaylenko, O.G. (2022). Management of internal investment projects in the regional industrial cluster of enterprises. *Entrepreneurship and innovation*, (25), 56-63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>. {in Ukrainian}.

15. Hablovskyi, B., Hablovska, N., Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., Kononenko, M. (2023). The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7), 254-262. <https://doi.org/10.12911/22998993/164753>. {in English}.