
ФОРМУВАННЯ ЩІЛЬНОЇ ХМАРИ ТОЧОК ТА ЇЇ ОПРАЦЮВАННЯ ПРИ СТВОРЕННІ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ

Є. В. БУТЕНКО,

кандидат економічних наук, доцент

E-mail: evg_cat@ukr.net

ORCID ID: 0000-0002-5923-5838

О. О. КУЦЕНКО,

здобувач третього освітньо-наукового рівня вищої освіти

E-mail: kutsenkijob@gmail.com

ORCID ID: 0009-0008-5814-8389

О. М. ТЕРТИШНА,

здобувач першого освітньо-наукового рівня

E-mail: otertyshna28@gmail.com

ORCID ID: 0009-0009-7054-8083

Є. О. ТКАЧУК,

здобувач першого освітньо-наукового рівня

E-mail: evgeniatkachuk467@gmail.com

ORCID ID: 0009-0002-0967-192X

К. Д. ЯРЕЦЬКА,

здобувач першого освітньо-наукового рівня

E-mail: kseniyajaretska160734@gmail.com

ORCID ID: 0009-0008-7710-4322

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. У статті досліджено створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР) на основі класифікації щільної хмари точок у програмних засобах QGIS, Digitals і 3D Survey.

У процесі дослідження використано щільну хмару точок створену при 3D скануванні території ботанічного саду НУБіП України із подальшою класифікацією та побудовою цифрових моделей рельєфу у різних програмних засобах.

Досліджено етапи класифікації хмари точок, створення класифікаційних шарів, експорт даних до програмних засобів QGIS, Digitals та 3D Survey для подальшого моделювання та прорисовки моделей ізолініями.

Розглянуто цифрову модель рельєфу та етапи її створення, «чистки» вихідної хмари точок різної щільності.

На основі однакових вихідних даних щільної хмари точок, здійснено формування цифрових моделей рельєфу території ботанічного саду НУБіП України у різних програмних засобах.

Процес створення цифрової моделі рельєфу досліджено на основі щільної хмари точок за допомогою програм QGIS, Digital, 3D Survey.

Проаналізовано основні переваги та недоліки побудови цифрової моделі рельєфу на основі хмари точок, сформованої за результатами 3D сканування.

Розглянуто функції та можливості інструментів програмних засобів QGIS, Digital, 3D Survey та їх здатність будувати 3D поверхні на основі експортованих хмар точок.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу, QGIS, цифрова зйомка, 3D зйомка, 3D модель, 3D сканування, 3D Survey, QGIS, Digital, хмара точок, ізолінія, побудова горизонталей.

Постановка проблеми

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) та мобільні 3D-сканери набули значного поширення та широкого використання на сучасному етапі розвитку геодезії та геоінформатики у світі. З кожним роком зростає перелік завдань, які можна вирішувати з їх допомогою.

Різноманітні види вимірювань, їх опрацювання та створення цифрових моделей рельєфу є актуальним завданням у галузі геодезії, картографії та землеустрої. Використовувані для цілей геодезії БПЛА забезпечують, отримання точних даних про особливості рельєфу місцевості, ситуацію, забудованість території, але мають обмеженість у застосуванні в умовах війни, тому формування щільної хмари точок методом 3D сканування території та її опрацювання при створенні цифрової моделі рельєфу є надзвичайно актуальним завданням у теперішній час і дає можливість їх використання при виконанні геодезичних робіт різних видів.

Наземне 3D сканування не має обмежень у застосуванні, хоча і має мен-

шу продуктивність при площинному зніманні, ніж застосування БПЛА.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) є засобом представлення топографічної (земної) поверхні при комп'ютерному опрацюванні результатів інженерно-геодезичних вишукувань. За допомогою цифрової моделі рельєфу вирішуються такі прикладні задачі, як побудова горизонталей, отримання позовжних і поперечних профілів, підрахунок обсягів земляних мас, тощо. Процеси моделювання поверхонь враховуються при проектуванні генеральних планів, за допомогою цифрової 3D моделі існуючого рельєфу вирішують завдання підрахунку та оптимізації обсягів переміщеного ґрунту [1].

Цифрова модель рельєфу (Digital Terrain Model) показує висоту, розташування та форму поверхні землі без урахування рослинності, інфраструктури та штучно створених об'єктів. Цифрові моделі місцевості створюються на основі класифікованих хмар точок, які отримані за допомогою 3D сканування або фотограмметричними методами, а інформація, що використовується, та її достовірність визначаються поставленою метою та завданням на певний вид робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідження на цю тему проводили багато авторів, зокрема:

- Bursztyńska H. V. провела порівняльний аналіз точності побудови ЦМР використанням пакету програм Surfer та географічної інформації системи ArcGIS [3].

- Бурачек В. Г. навів засоби геоінформативного аналізу просторових даних, розглянув сучасні технології обробки геопросторової інформації. Висвітлив погляди вітчизняних і закордонних фахівців щодо можливості сучасного аналітичного опрацювання в геоінформаційних системах. Описав моделі й алгоритми, покладені в основу геоінформаційного аналізу просторових даних. Розглянув програмні засоби реалізації, інтеграції даних і технологій [2].

- Бутенко Є. В., Боровик К. В., Герин А. Р., Губкін Б. А. дослідили використання цифрових моделей рельєфу (ЦМР), їх класифікацію та способи отримання у програмному засобі Civil 3D [1].

- Бялий М. «розглянув наявні моделі та методи побудови цифрових моделей рельєфу з метою їх порівняльного аналізу на основі комплексування відкритих, загальнодоступних джерел інформації. Навів підходи побудови цифрових моделей рельєфу та розглянув інформаційне забезпечення для їх створення» [5].

- Грохольський Д. висвітлив технології опрацювання даних лазерного сканування у програмному продукті "CREDO 3D СКАН". Основну увагу було присвячено питанням класифікації хмар точок [6].

- Зацерковний В. І. представив концептуальні основи ГІС, мету та

принципи побудови ГІС, розглянув сучасні технології опрацювання геопросторової інформації, моделі, що лежать у їх основі, сучасні напрями застосування ГІС і перспективи розвитку. Розглянув програмні засоби реалізації, інтеграції даних і технологій [7].

- Ravi P. Gupta розглядав формування матриць вимірів для растрової ГІС [10].

- Szypula B. вивчав процес створення цифрових моделей рельєфу в програмному забезпеченні ArcGIS[11].

Перераховані дослідження заклали методологічну основу для побудови ЦМР і різні методи для створення 3D-моделей.

Актуальним залишається питання створення цифрової моделі рельєфу та її застосування, оскільки існують різноманітні програмні засоби для створення ЦМР при вирішенні різних задач з різною точністю.

Мета дослідження. Метою дослідження є опрацювання засад формування щільної хмари точок та подальшої роботи з нею за допомогою програмного забезпечення QGIS, Digitals та 3D Survey при створенні цифрової моделі рельєфу.

Матеріали і методи наукового дослідження

При виконанні наукового дослідження було використано такі методи: монографічний, абстрактно-логічний, метод моделювання, розрахунковий та метод узагальнення.

Застосування монографічного методу полягало у вивченні та ознайомленні з науковими працями, статтями, монографіями, науковими виданнями, пов'язаними з розробкою ЦМР. На ос-

нові опрацьованих джерел автори дослідження визначили для себе основні аспекти, завдання та порядок подальшого дослідження.

Абстрактно-логічний метод був застосований при аналізі технології одержання цифрової інформації про рельєф територій та створення висотної основи. Створення ЦМР базуються на побудові TIN моделей, введені уточнюючих скелетних ліній та правильній класифікації щільної хмари точок, алгоритмів моделювання рельєфу в межах об'єкту дослідження, із застосуванням програмних комплексів QGIS, Digitals, 3D Survey.

Методом моделювання, на попередньо сформованій щільній хмарі точок поверхні землі, виконувалося адаптивне проріджування, яке дозволяє сформувати висотний каркас територій, що складається із ключових точок, які визначають існуючий рельєф місцевості. На вирівняних і споріднених ділянках поверхні залишиться мінімальна кількість точок, а на переломах і мікроформах рельєфу буде збережено необхідну для передавання форми цих об'єктів кількість точок. Класифіковані у такий спосіб ключові точки рельєфу всередині хмари формують «скелет» поверхні [6].

Використання розрахункового методу полягало в обчисленнях відхилень та визначенні коефіцієнту варіації положення горизонталей, які характеризують рельєф місцевості. Обрахувавши значення середнього арифметичного відхилення та середнього квадратичного відхилення, автори дослідження визначили коефіцієнт варіації, що вказує на рівень мінливості горизонталей та точність при їх побудові.

Проаналізувавши праці науковців за тематикою та провівши моделю-

вання побудови ЦМР у програмних засобах, на основі базового об'єкта дослідження, виконавши розрахунки, нами визначено оптимальний програмний засіб для побудови ЦМР при вирішенні задач геодезії та землеустрою.

Результати дослідження та їх обговорення

В даний час просторова інформація все ширше використовується у різних галузях науки і техніки, а її ефективність, точність та доступність зростає з кожним днем за рахунок розвитку сучасних інструментів їх отримання та подальшого інтерпретаційного опрацювання.

Цьому сприяє зростання доступності даних, створення неоднорідних баз даних, поява більш потужних комп'ютерів і всесвітньої цифровізації.

В останні роки геоінформаційні системи та веб-сервіси, що містять просторову інформацію, посіли особливе місце у світі інформаційних технологій.

Цифрова модель рельєфу надає інформацію про висоту земної поверхні та спеціальну топографічну інформацію, дані про ґрунтовий покрив, вид схилу, переріз рельєфу та регіональні особливості місцевості [8].

Цифрові моделі рельєфу відіграють фундаментальну роль при просторовому плануванні, інженерії та мають широкий спектр практичних застосувань.

Під ЦМР розуміють тривимірну математичну модель відображення земної поверхні, що подається у вигляді масиву точок з визначеною висотою за всією областю поширення на досліджуваній території.

ЦМР необхідна для одержання максимально детальної інформації про рельєф місцевості певної території, «при оновленні цифрових топографічних карт і планів різного масштабу, при виконанні різних видів інженерних вишукувань, геологічних досліджень, біологічних та просторових досліджень» [5].

Вирішення проблеми підвищення точності відображення нерівностей поверхні дозволить визначити відповідний метод створення цифрових моделей рельєфу, як найбільш оптимальний, швидкий, точний, у процесі класифікації вихідної хмари точок у програмних засобах QGIS, Digitalis і 3D Survey.

«Цифрова модель рельєфу подається у вигляді матриці рельєфу висот поверхні Землі. Таке матричне представлення зазвичай використовується в телекомунікаційних проєктах і надається у форматі інструментів радіочастотного планування, таких як: Planet, Atoll, ATDI тощо.

Модель TIN (TIN - Triangulated Irregular Network) - векторне представлення, використовується в ГІС - проєктах у вигляді OBJ, 3DS, VRML, DXF, Google Earth KMZ файлів» [2].

ЦМР є одним з важливих шарів карти для цілей просторової інтерпретації. Вона також широко використовується як основа для вирішення наступних завдань:

- ландшафтного планування території;
- містобудування;
- будівництва автомобільних доріг;
- будівництва залізниць;
- моделювання повеней;
- геологічного аналізу;
- геодезії та землеустрою.

Використання цифрових моделей

значно скорочує витрати часу і праці в порівнянні з традиційною технологією отримання відміток з топографічних планів та інструментальним методом.

Об'єктом дослідження було обрано територію базового ЗВО – НУ-БіП України, а саме ботанічний сад, як об'єкт із яскраво вираженим рельєфом та складними для зйомки геоботанічними показниками та подальшого опрацювання даних. Перепад між висотами складає 40 метрів, рельєф горбистий. Наявна рослинність, яка ускладнює застосування класичних фотограмметричних методів. Зазначений об'єкт займає територію 53 гектари, межуючи із заповідною територією Національного природного парку «Голосіївський» [4].

У процесі дослідження було визначено три етапи робіт:

1. зйомка об'єкта дослідження;
2. підготовка щільної хмари точок;
3. опрацювання зйомки у програмних засобах.

Зйомка об'єкта дослідження відбувається за допомогою 3D сканера AlphaGEO SLAM R100 із щільністю 320 000 / 640 000 т/с та маркуванням 28 опорних точок для більш точної прив'язки хмари точок в системі координат та висот УСК 2000.

На основі отриманих просторових даних прибираємо із хмари точок точки забудови, точки суміжних об'єктів, дерев та кущів (рис.1.). Створення 3D моделі здійснювалося на основі кольоризації щільної хмари точок та створення суцільної поверхні на основі дискретних точок з усуненням геометричних спотворень, викликаних умовами зйомки.

Кінцевою метою дослідження було створення цифрової моделі ре-

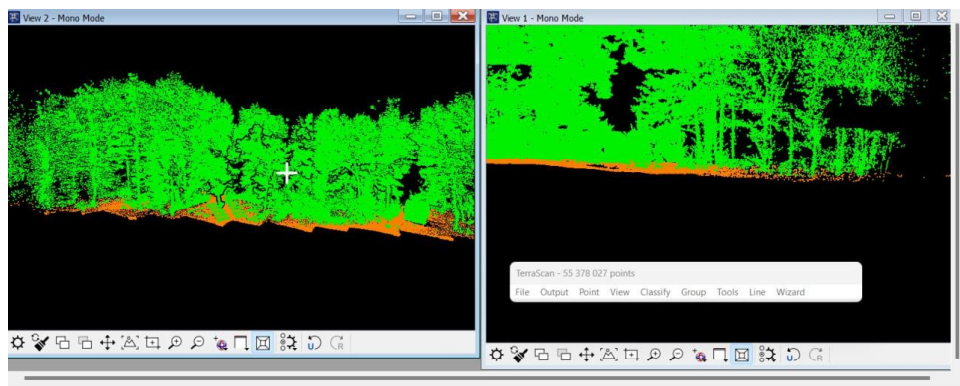


Рис. 1. Фото щільної хмари точок території ботанічного саду НУБІП України, знятого 3D сканером у програмі перегляду

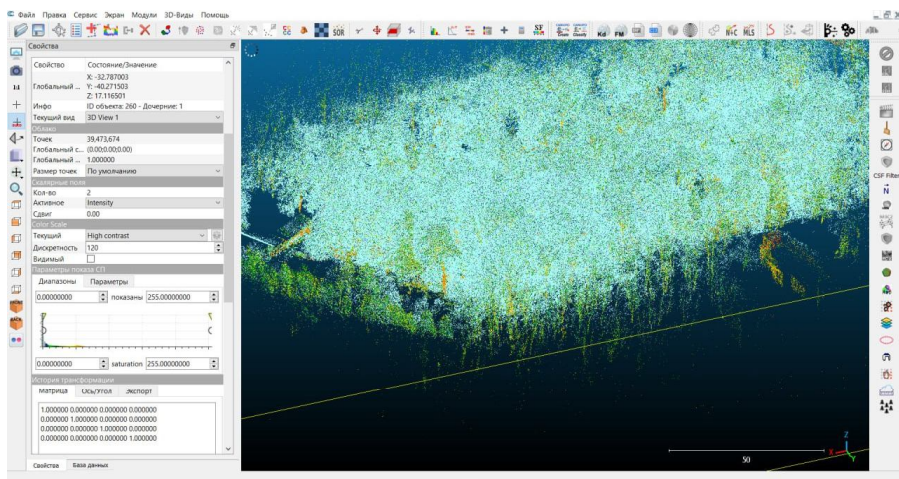


Рис. 2. Фото класифікації щільної хмари точок у програмі CloudCompare

льєфу у різних програмних засобах, перетворення опрацьованих даних у візуальне представлення рельєфу та оцінка точності отриманих результатів.

Під час виконання робіт із створення ЦМР за хмарою точок першим завданням є виділення (класифікація) точок рельєфу із щільної хмари точок, що належать земній поверхні (рис. 2.). Наявні спотворення та штучно створені точки за рахунок «шумів» можуть призвести до неко-

ректної класифікації рельєфу, тому необхідно попередньо їх видалити або класифікувати як шум і вилучити із подальшого опрацювання [6].

Перед початком робіт хмару точок необхідно закоординувати та поліпшити для подальшого створення тривимірної моделі.

Поліпшення хмари точок передбачає покращення тієї частини хмари точок, яка перекривається при скануванні 3D сканером з різних просторових позицій на об'єкті, аби сфор-

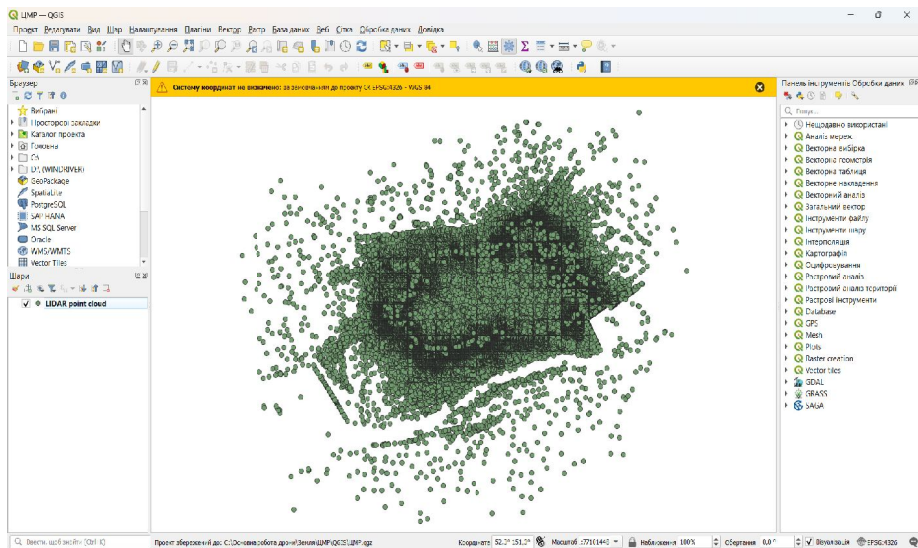


Рис. 3. Хмара точок у програмному забезпеченні QGIS

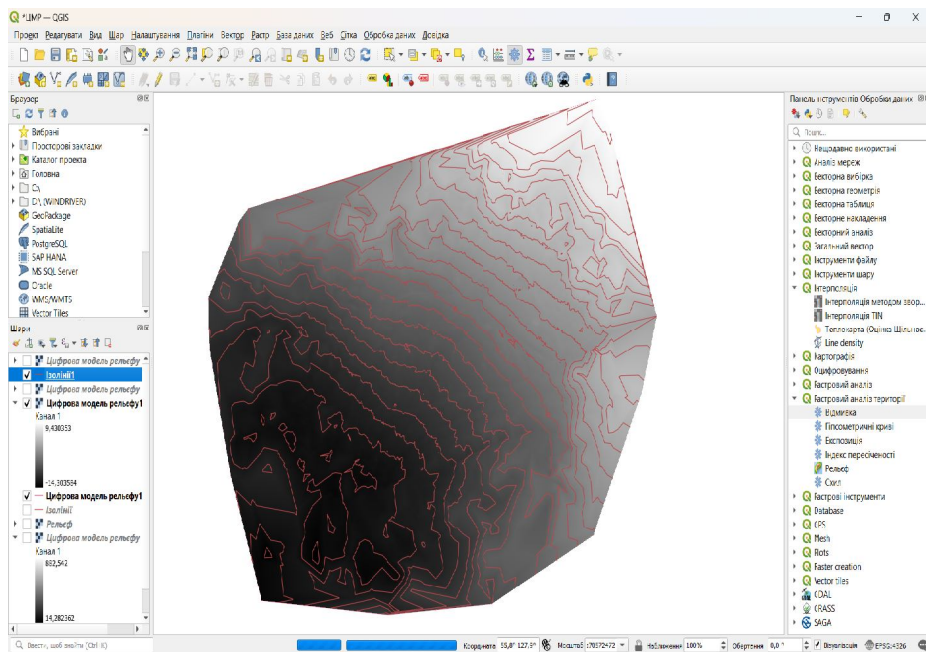


Рис. 4. Цифрова модель рельєфу у програмному забезпеченні QGIS

мувати ще одну, точнішу і щільнішу хмару об'єктів та захопити зображення всієї площі об'єкта.

Програма змінює надані хмари точок у структуровані елементи, що

представляють поверхню сканованого об'єкту. Частина із зібраних точок не були використані у подальшому опрацюванні. Остаточне опрацювання передбачало «очищення» хмари

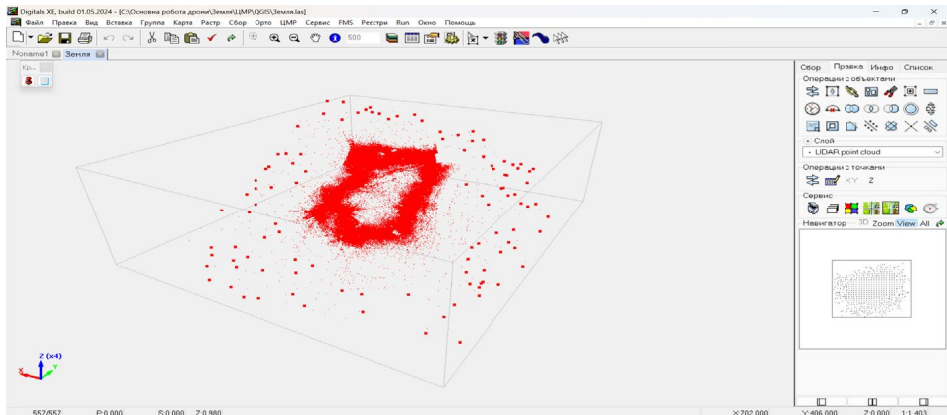


Рис. 5. Хмара точок у програмному забезпеченні Digitalx

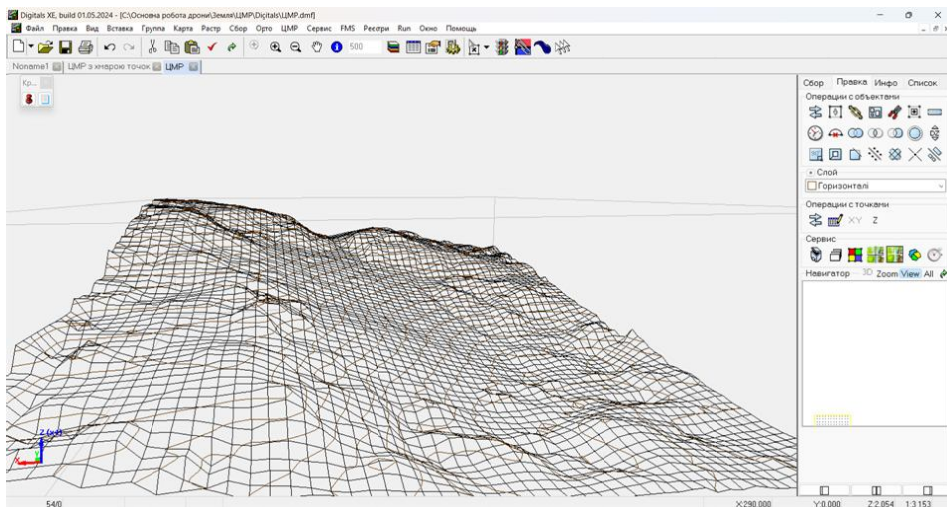


Рис. 6. Цифрова модель рельєфу у програмному забезпеченні Digitalx

від шумів та їх подальше видалення [6].

Швидкість опрацювання багато в чому залежить від щільності хмари точок та потужності комп'ютера, яким здійснюється опрацювання.

Опрацьовані дані щільної хмари із класифікованим шаром поверхні Землі експортуємо до програмних засобів QGIS, Digitalx, 3D Survey для подальшого опрацювання та побудови ЦМР в кожному із цих засобів.

1. Створення цифрової моделі ре-

льєфу у програмному засобі QGIS.

На початковому етапі роботи завантажуюмо Shapefile щільної хмари точок 3D сканування території до програмного засобу QGIS (рис. 3.).

В результаті опрацювання даних побудована цифрова модель рельєфу, яку для кращого аналізу та візуалізації можна представити у вигляді кольоризованої моделі (рис. 4.).

2. Створення цифрової моделі рельєфу у програмному забезпеченні Digitalx.

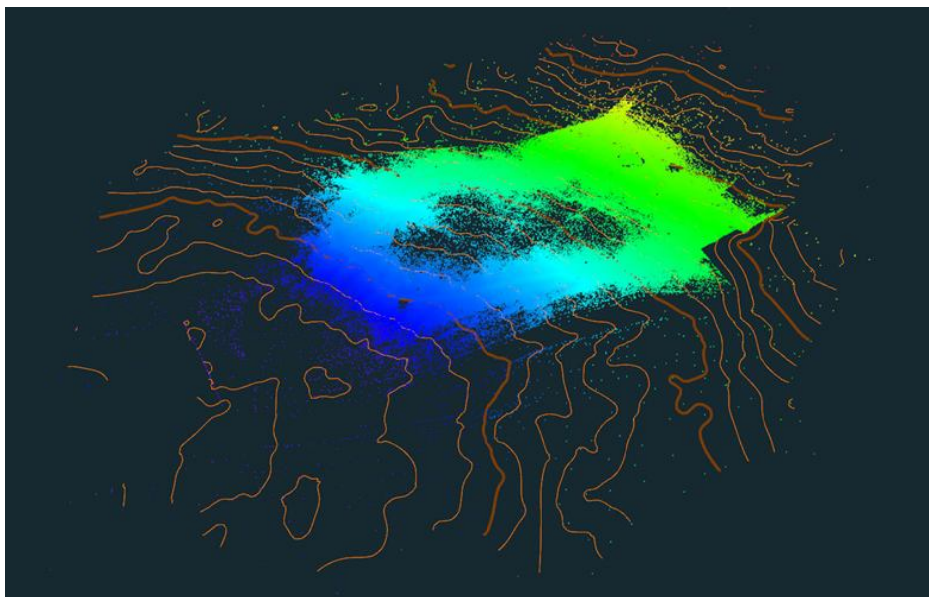


Рис. 7. Хмара точок у програмному забезпеченні 3D Survey

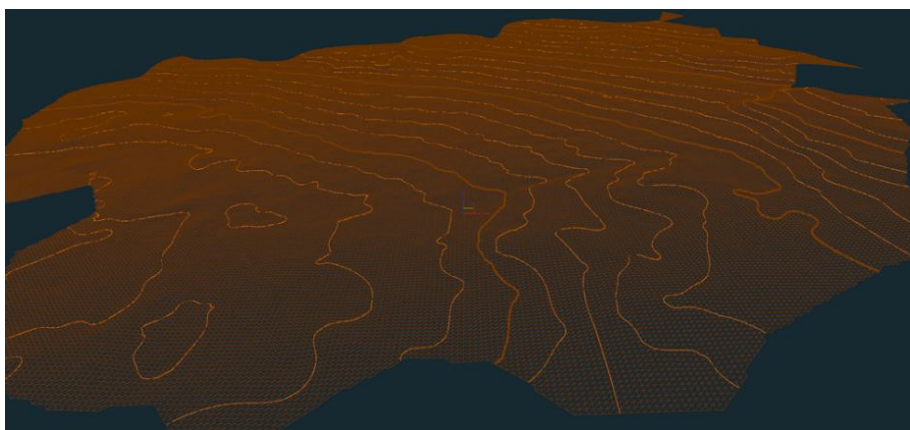


Рис. 8. Цифрова модель рельєфу з побудовою горизонталей у програмному забезпеченні 3D Survey

Завантажуємо щільну хмару точок, отриману за допомогою 3D сканування території (рис. 5.), до програмного засобу Digitals, здійснюємо необхідні етапи її опрацювання при створенні ЦМР.

Сформувавши ЦМР з кроком 1 метр, для візуалізації в 3D просторі обираємо вид об'єкту «тривимірний» і прорисовуємо горизонталі (рис. 6.).

3. Створення цифрової моделі рельєфу в 3D Survey.

За аналогічним алгоритмом дій виконується створення цифрової моделі рельєфу у програмному засобі 3D Survey (рис. 7. та рис. 8.).

Щоб зрозуміти, наскільки відрізняються лінії рівних висот (горизонталі), які ми отримали у цифрових моделях рельєфу різних програмних

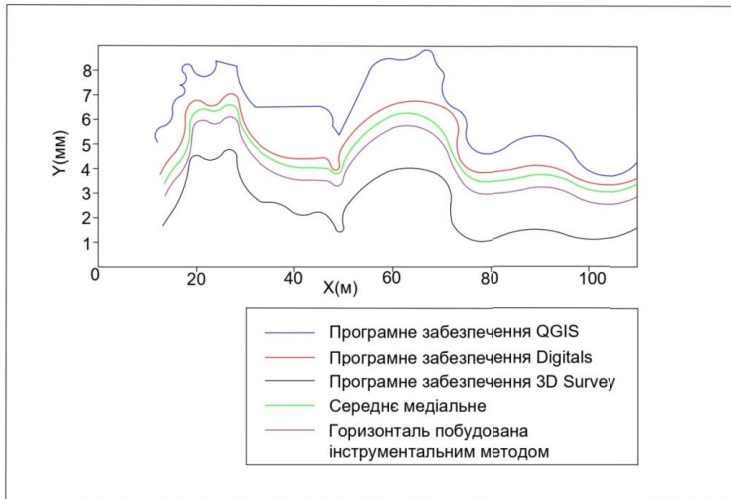


Рис. 9 Результати побудови горизонталей в цифрових моделях рельєфу, отриманих у різних програмних засобах з відображенням медіального значення.

засобів (рис. 9), було проведено розрахунок та визначено коефіцієнт варіації, який показує, наскільки сильно відрізняються значення на цих моделях. Чим менший цей показник, тим точніше збігаються горизонталі. Це допомагає нам оцінити, наскільки точно виконані роботи при моделюванні та які з них можуть бути використані для вирішення завдань геодезії та землеустрою.

«Коефіцієнт варіації – відносна величина, яка служить для характеристики розсіювання (мінливості) ознаки.

Коефіцієнт варіації характеризує одноманітність сукупності та ступінь надійності обчислення середніх величин»[9].

$$\vartheta = \frac{S_0}{\bar{S}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Середнє арифметичне відхилення визначимо за формулою :

$$\bar{S} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i - y'_i}{n} \quad (2)$$

де: $\bar{S}$ – середнє арифметичне відхилення;

n – кількість відліків;

y_i – значення по координаті Oy графіка функції, яке відповідає i -му відліку на кінцевій горизонталі;

y'_i – значення по координаті Oy графіка функції, яке відповідає i -му відліку на попередній горизонталі.

$$\bar{S} = 1,956254 \text{ [м]}.$$

Середнє квадратичне відхилення визначимо за формулою:

$$S_0 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{S})^2} \quad (3)$$

де: S_0 – середнє квадратичне відхилення;

n – кількість відліків;

y_i – значення по координаті Oy графіка функції, яке відповідає i -му відліку на кінцевій горизонталі;

$\bar{S}$ – середнє арифметичне відхилення.

$$S_0 = 0,235489 \text{ [мм]}.$$

Отримавши значення середнього

арифметичного та середнього квадратичного відхилення, визначаємо коефіцієнт варіації:

$$\vartheta = \frac{0,235489}{1,956254} \cdot 100\% = 12,04\% \quad (4)$$

Рівень мінливості прийнято оцінювати за шкалою: менше 10% – низький рівень, від 11 до 25% – середній рівень, більше 25% – високий рівень.

Аналіз показав, що мінливість горизонтальних ліній знаходиться в межах середнього рівня. Найточніший результат ЦМР в порівнянні із класичним інструментальним способом побудови горизонталей отримано в програмному засобі Digital; наблизений варіант, що відповідає допуску медіального значення, є в ЦМР, створений у 3D Survey.

Висновки

Створення якісної цифрової моделі рельєфу – це запорука ефективного управління, формування достовірної планово-висотної основи для проектування та моделювання різних процесів і передбачення їх наслідків.

За результатами проведеного дослідження можна зробити висновок, що точність побудови ЦМР відповідає точності виконання робіт. Тому знімання територій з високою трав'янистою та кушовою рослинністю необхідно виконувати ранньою весною або восени за безлистого покриття і відсутності трав'яної рослинності, що зменшить вплив неточностей на результат побудови ЦМР.

Аналіз отриманих цифрових моделей рельєфу у таких програмних засобах, як QGIS, Digital та 3D Survey дає підстави зробити висновок, що

найкраще рельєф відображається в ЦМР у програмному засобі Digital; наблизений варіант, що відповідає допуску медіального значення ЦМР, створено у 3D Survey. З даних, отриманих на об'єкті дослідження, бачимо, що рельєф сильно розсічений та горбистий, але застосування сучасних програмних засобів для побудови цифрової моделі рельєфу забезпечує необхідний рівень точності для виконання подальших робіт на основі створених ЦМР.

Список літератури

1. Бутенко Є. В., Боровик К. В., Герин А. Р., Губкін Б. А. Формування цифрової моделі рельєфу за матеріалами аерофотозйомки в програмному засобі CIVIL 3D / *Науково-виробничий журнал Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2020. № 2-3. С. 156 - 168. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2020.02.16>
2. Ботанічний сад Національного університету біоресурсів і природокористування України. [Електронний ресурс] / Режим доступ: URL: <http://surl.li/kycdvz> (Дата звернення 25.09.2024)
3. Бурачек В. Г., Железняк О. О., Зацерковний В. І. Геоінформаційний аналіз просторових даних: монографія. Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. 440 с.
4. Бурштинська Х. В. Теоретичні та методологічні основи цифрового моделювання рельєфу за фотограмметричними та картометричними даними: дисертація д-ра техн. наук: 05.24.02 / Національний ун-т «Львівська політехніка», 2003. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.disslib.org/teoretychni-ta-metodolohichni-osnovy-tsyfrovoho-modeljuvannja-relyefu-za.html>
5. Бялий М., Савков П. Застосування радарної інтерферометрії для побу-

- дови цифрових моделей рельєфу. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*, 2023, 79, С.76–93. DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/79-08> (Дата звернення 25.09.2024)
6. Грохольський Д. Класифікація хмар точок і створення цифрової моделі місцевості в новій версії програми credo 3D скан. *Офіційна хроніка, освіта, наука, виробнича та громадська діяльність*. №39, С. 53 – 59. [Електронний ресурс] / Режим доступ: URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/543bf0b3-3eb4-4d14-987b-e7d812acf44f/content> (Дата звернення 25.09.2024)
 7. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О., Геоінформаційні системи і бази даних: монографія-Кн 2. Ніжин: НДУ ім. М.Г Гоголя, 2017. 237 с. [Електронний ресурс] / Режим доступ: URL: [file:///D:/Users/User/Desktop/%D0%97%D0%B0%D1%86%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D1%82%D0%B0%20%D1%96%D0%BD.%20%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8%20%D1%96%20%D0%B1%D0%B0%D0%B7%D0%B8%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85.%20%D0%9A%D0%BD.%202".pdf](file:///D:/Users/User/Desktop/%D0%97%D0%B0%D1%86%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D1%82%D0%B0%20%D1%96%D0%BD.%20%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8%20%D1%96%20%D0%B1%D0%B0%D0%B7%D0%B8%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85.%20%D0%9A%D0%BD.%202)
 8. Li, Z. L. (1990). Strategy for sampling and accuracy assessment for digital terrain modelling (Doctoral dissertation). University of Glasgow. 24 p. [Електронний ресурс] / Режим доступ: URL: https://nguyenduyliemgis.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/11/digital-terrain-modeling-principles-and-methodology_2005.pdf
 9. Показники варіації. Показники варіації і способи їх обчислення. [Електронний ресурс] / Режим доступ: URL: https://elib.Intu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%A2%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D1%85%20%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0/page13.html (Дата звернення 25.09.2024)
 10. Ravi P. Gupta. Digital Elevation Model / Remote Sensing Geology. 2018, pp. 101 – 106. [Електронний ресурс] / Режим доступ: URL: https://books.google.com.ua/books?id=IERADwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=uk&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (Дата звернення 25.09.2024)
 11. Szypuła B. Digital Elevation Models in Geomorphology. Hydro-Geomorphology - Models and Trends // Bartłomiej Szypuła: monograph / editor Dericks Shukla., 2017. pp. 81-112. [Електронний ресурс] / Режим доступ: DOI: 10.5772/intechopen.68447 URL: https://www.academia.edu/34935892/Digital_elevation_models_in_geomorphology (Дата звернення 25.09.2024). DOI: 10.5772/intechopen.68447

References

1. Butenko, E. V., Borovik, K. V., Herin, A. R., & Gubkin, B. A. (2020). Formuvannya tsyvrovoi modeli relyefu za materialamy aerofotozjomky v programnomu zasobi CIVIL 3D [Formation of a digital terrain model based on aerial photography materials in the CIVIL 3D software], *Land Management, codastrs and Land Monitiring*, 2-3, 156 – 168. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2020.02.16>
2. Botanical Garden of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Wikipedia. Available at: <http://surl.li/kycdvz>
3. Burachek, V. G., Zhelezniak, O. O., & Zat-

- serkovnyi, V. I. (2011). Geoinformatsiyni analiz prostorovykh danykh [Geoinformation analysis of spatial data]. TOV "Vydavnytstvo "Aspekt-poligraf", 440.
4. Burshtynska, H. V. (2003). Teoretychni ta metodolohichni osnovy tsyfrovoho modeliuvannya relyefu za fotogrammetrychnymy ta kartometrychnymy danymy [Theoretical and methodological foundations of digital terrain modeling based on photogrammetric and cartometric data] (Doctoral dissertation). Natsionalnyi universytet "Lvivska politehnika", 36. Available at: <http://www.disslib.org/teoretychni-ta-metodolohichni-osnovy-tsyfrovoho-modeliuvannya-relyefu-za.html>
5. Bialiy, M., Savkov, P. (2023). Zastosuvannya radarnoi interferometrii dlia pobudovy tsyfrovyykh modelei relyefu [Application of radar interferometry for the construction of digital terrain models]. *Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*, 79, 76 – 93. DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/79-08>
6. Grokholskyi, D. Klasyfikatsiia khmar tochok i stvorennia tsyfrovoi modeli mistsevosti v noviy versii programy CREDO 3D SKAN [Classification of point clouds and creation of a digital terrain model in the new version of the CREDO 3D SCAN program]. 39, 53-59. Available at: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/543bf0b3-3eb4-4d14-987b-e7d812acf44f/content>
7. Zatserkovnyi, V. I., Burachek, V. G., Zhelezniak, O. O., Tereshchenko, A. O. (2017). Geoinformatsiini systemy i bazy danykh [Geographic information systems and databases]. NDU im. M. H. Gogola, 237. Available at: [file:///D:/Users/User/Desktop/%D0%97%D0%B0%D1%86%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D1%82%D0%B0%20%D1%96%D0%BD%20%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96%D0%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8%20%D1%96%20%D0%B1%D0%B0%D0%B7%D0%B8%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%9A%D0%BD.%202".pdf](file:///D:/Users/User/Desktop/%D0%97%D0%B0%D1%86%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D1%82%D0%B0%20%D1%96%D0%BD%20%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96%D0%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8%20%D1%96%20%D0%B1%D0%B0%D0%B7%D0%B8%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%9A%D0%BD.%202)
8. Li, Z. L. (1990). Strategy for sampling and accuracy assessment for digital terrain modelling (Doctoral dissertation). University of Glasgow. 24. Available at: https://nguyenduyliemgis.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/11/digital-terrain-modeling-principles-and-methodology_2005.pdf
9. Indicators of variation. Indicators of variation and methods of their calculation. Available at: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%A2%D0%B0%D0%B-B%D0%B0%D1%85%20%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0/page13.html
10. Ravi P. Gupta. (2018). Digital elevation model. *Remote Sensing Geology*, 3, 101-106. Available at: https://books.google.com.ua/books?id=IERADwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=uk&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
11. Szypuła, B. (2017). Digital Elevation Models in Geomorphology. In D. Shukla (Ed.), *Hydro-Geomorphology - Models and Trends* (pp. 81-112). Available at: https://www.academia.edu/34935892/Digital_elevation_models_in_geomorphology DOI: 10.5772/intechopen.68447

Butenko Ye., Kutsenko O., Tertyshna O., Tkachuk Ye., Yaretska K.

**FORMATION OF A DENSE CLOUD OF POINTS AND ITS PROCESSING WHEN
CREATING A DIGITAL MODEL OF THE TERRAIN**

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 3'24: 109-122.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.03.09>

Abstract. The article explores the creation of digital terrain models (DRMs) based on dense point cloud classification in QGIS, Digitals, and 3D Survey software.

In the research process, a dense cloud of points created during 3D scanning of the territory of the botanical garden of NUBiP of Ukraine was used, followed by classification and construction of digital relief models in various software tools.

The stages of point cloud classification, creation of classification layers, data export to QGIS, Digitals and 3D Survey software tools for further modeling and drawing of models with isolines were studied.

The digital model of the relief and the stages of its creation, "cleaning" of the original cloud of points of different density are considered.

On the basis of the same initial data, a dense cloud of points, the formation of digital models of the relief of the territory of the botanical garden of NUBiP of Ukraine was carried out in various software tools.

The process of creating a digital relief model was investigated based on a dense point cloud using QGIS, Digitals, 3D Survey programs.

The main advantages and disadvantages of building a digital relief model based on a cloud of points formed by the results of 3D scanning are analyzed.

Features and capabilities of software tools QGIS, Digitals, 3D Survey and their ability to build 3D surfaces based on exported point clouds are considered.

Keywords: digital terrain model, QGIS, digital survey, 3D survey, 3D model, 3D scan, 3D Survey, QGIS, Digitals, point cloud, isoline, construction of horizons.