

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет землевпорядкування**

**ПОГОДЖЕНО**

Декан факультету землевпорядкування

\_\_\_\_\_ **Олександр ШЕВЧЕНКО**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

В.о. завідувача кафедри  
геодезії та картографії

\_\_\_\_\_ **Тарас ЄВСЮКОВ**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему:** Оптимізація процесів збору геоданих для створення реєстру особливо цінних природоохоронних територій за допомогою технології SLAM

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма: «Геодезія та землеустрій»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

д.е.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ **Андрій МАРТИН**

(підпис)

**Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи**

д.е.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ **Тарас ЄВСЮКОВ**

(підпис)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ **Дмитро МАТВІЙЧУК**

(підпис)

**КИЇВ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет землевпорядкування**

**ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
геодезії та картографії**

\_\_\_\_\_ **Іван КОВАЛЬЧУК**  
«19» листопада\_2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
ЗДОБУВАЧУ**

**Матвійчуку Дмитру Юрійовичу**

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма: «Геодезія та землеустрій»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Оптимізація процесів збору геоданих для створення реєстру особливо цінних природохоронних територій за допомогою технології SLAM

затверджена наказом від «18» листопада 2024 р. №2062 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: за 10 днів до захисту.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Законодавча та нормативно-правова база України, наукові публікації та науково-методична література з теми дослідження.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- 1) Проаналізувати теоретичні, нормативно-правові та методичні засади ведення реєстрів природно-заповідного фонду України й сучасні підходи до їх цифровізації та діджиталізації ;

- 2) Вивчити об'єкт та умови дослідження, обґрунтувати вибір приладів, обладнання, програмного забезпечення; спроектувати опорну мережу і маршрути SLAM-знімання;
- 3) Виконати збір польових даних із використанням SLAM-технології
- 4) Побудувати цифрові моделі рельєфу (DTM), поверхні (DSM) та аналітичні похідні (ухили, експозиції, напрями стоку);
- 5) Виконати векторизацію елементів території для формування цифрових карт і наповнення реєстру природоохоронних територій.

**Керівник магістерської**

**кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_

Тарас ЄВСЮКОВ

**Завдання прийняв до виконання**

\_\_\_\_\_

Дмитро МАТВІЙЧУК

## РЕФЕРАТ

Матвійчук Д. Ю. «Оптимізація процесів збору геоданих для створення реєстру особливо цінних природоохоронних територій за допомогою технології SLAM».

Магістерська кваліфікаційна робота складається з реферату, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 88 сторінок. Робота містить 4 таблиці, 29 рисунків. Список використаної літератури становить 60 джерел.

Структура магістерської роботи складається із змісту, вступу, трьох структурних розділів, висновків, відповідних використаних джерел.

Перший розділ розкриває теоретичні особливо цінних природоохоронних територій..

Другий розділ характеризує природньо-географічні умови території дослідження, а також характеристику об'єкту дослідження.

Третій розділ описує процес збору геоданих за допомогою технології SLAM і подальшого використання отриманих матеріалів для реєстру особливо цінних природоохоронних територій.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ЗБОРУ ГЕОДАНИХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РЕЄСТРУ ОСОБЛИВО ЦІННИХ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ .....	14
1.1 Поняття і класифікація про природно-заповідного фонду України .....	14
1.2 Нормативно-правові основи створення і ведення реєстрів природоохоронних територій .....	17
1.3 Сучасні підходи до цифровізації і діджиталізації реєстрів природоохоронних територій .....	27
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ТА УМОВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	29
2.1 Загальна характеристика території дослідження.....	29
2.1.1 Географічне положення.....	29
2.1.2 Кліматичні умови.....	32
2.1.3 Геоморфологічні особливості та рельєф території .....	32
2.1.4 Ґрунтовий покрив .....	34
2.1.5 Рослинний і тваринний світ .....	35
2.2 Характеристика об’єкта дослідження – Ботанічний сад НУБіП України..	36
2.3 Просторова структура і природоохоронна цінність території .....	40
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ І ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗБОРУ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ГЕОДАНИХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РЕЄСТРУ ОСОБЛИВО ЦІННИХ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ SLAM.....	43
3.1 Сутність і принципи технології SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) .....	43

3.2 Прилади, технічні засоби та програмне забезпечення для збору, опрацювання й аналізу геоданих із підтримкою SLAM .....	48
3.3 Особливості організації процесу збору геоданих для реєстру природоохоронних територій .....	53
3.4 Методика опрацювання отриманих геоданих для реєстру природоохоронних територій .....	55
3.5 Використання опрацьованих даних при створенні реєстру природоохоронних територій .....	59
3.5.1 Таксація деревних насаджень Ботанічного саду НУБіП України на основі SLAM-сканування.....	59
3.5.2 Побудова цифрової моделі рельєфу території за даними SLAM .....	63
3.5.3 Використання технології 3DGS для створення інтерактивних 3D-турів Ботанічного саду НУБіП України.....	66
3.5.4 Створення інтерактивних карт і топографічних планів для реєстру територій природно-заповідного фонду .....	69
3.6 Оцінка ефективності та перспективи застосування технології SLAM у системі геоданих природоохоронних територій.....	72
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

**3D** - тривимірний формат відображення або просторової моделі об'єкта.

**DTM** – цифрова модель рельєфу, що відображає висоти поверхні землі без урахування об'єктів, розташованих на ній.

**DSM** – цифрова модель поверхні, яка включає всі об'єкти, що перебувають на поверхні землі (рослинність, будівлі, споруди тощо).

**GNSS** – глобальна супутникова навігаційна система, яка забезпечує визначення координат і висоти в реальному часі.

**GCP** – опорна точка на місцевості, координати якої відомі з високою точністю і використовуються для геоприв'язки просторових даних.

**IMU** – інерціальний вимірювальний блок, що визначає орієнтацію, кутові швидкості та прискорення сенсора в просторі.

**LiDAR** – технологія активного дистанційного зондування, яка використовує лазерне випромінювання для вимірювання відстаней до об'єктів і створення тривимірних хмар точок.

**RTK** – кінематичний режим роботи GNSS-приймача, який забезпечує визначення координат із сантиметровою точністю у режимі реального часу.

**SLAM** – технологія одночасного визначення просторового положення сенсора та побудови карти навколишнього середовища без потреби у зовнішніх орієнтирах.

**НІГД** – державна система організації, стандартизації, зберігання, обміну та публікації геопросторової інформації в Україні.

**ПЗФ** – сукупність територій та об’єктів, що мають особливу природоохоронну, наукову, естетичну, рекреаційну або іншу цінність і підлягають спеціальній охороні.

**GPS** – глобальна супутникова навігаційна система, що забезпечує безперервне визначення просторових координат і часу на поверхні Землі.

**vSLAM** – різновид SLAM, у якому основним джерелом даних є зображення з камер (моно-, стерео-, RGB-D); використовується для одночасного визначення положення та побудови карти за візуальними ознаками сцени.

**VRS** – технологія мережевого диференціального супутникового позиціонування, за якої для рухомого приймача формується “віртуальна” референц-станція поблизу його місцезнаходження, що забезпечує сантиметрову точність координат.

**Кольоризація хмари точок** – процес присвоєння кожній точці хмари значення кольору (RGB), отриманого з фотознімків або вбудованої камери сканера, з метою формування візуально наближеного до реальності 3D-представлення.

**Класифікація хмари точок** – розподіл точок на тематичні класи (грунт, будівлі, рослинність, інженерні споруди тощо) на основі їх просторових, спектральних та інтенсивнісних характеристик для подальшого моделювання та картографування.

**Таксація** – комплекс робіт із кількісної та якісної оцінки насаджень (переважно деревних): визначення породи, висоти, діаметра стовбура, стану, зімкнення крон та інших показників, необхідних для обліку і догляду.

**Векторизація** – перетворення даних хмари точок, растрових або модельних матеріалів у векторні об’єкти (лінії, полігони, точки) з атрибутивною інформацією для подальшого використання в ГІС та кадастрових системах.

**Інтенсивність**– числовий показник сили відбитого лазерного сигналу, що характеризує відбивні властивості поверхні та може використовуватись для розрізнення матеріалів і уточнення класифікації.

**3D-тур** – інтерактивне тривимірне представлення території чи об’єкта, яке дає змогу користувачу “переміщатися” точками зйомки, оглядати сцену з різних ракурсів і отримувати довідкову інформацію про об’єкти (поп-апи, посилання, мультимедіа).

## ВСТУП

Оптимізація процесів збору геоданих для створення реєстру особливо цінних природоохоронних територій є надзвичайно актуальним завданням в умовах зростання антропогенного навантаження, змін клімату, урбанізаційного тиску та підвищених суспільних вимог до прозорості прийняття управлінських рішень. Традиційні методи наземного знімання, особливо під проєктивним покривом лісових насаджень є повільними, трудомісткими і часто обмеженими доступністю об'єктів. Аерознімання, у свою чергу, не завжди ефективно через щільність крон, тіньові ефекти й законодавчі обмеження щодо польотів в умовах воєнного стану. За таких умов перспективним напрямом стає використання технології SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)), що поєднує сенсори LiDAR/IMU та оптичні системи для одночасного визначення положення оператора і створення високоточної тривимірної моделі середовища.

Застосування технології SLAM дозволяє швидко отримувати щільні, метрично достовірні 3D-дані, будувати цифрові моделі рельєфу та поверхні, виконувати інвентаризацію інфраструктурних об'єктів та зелених насаджень, здійснювати моніторинг змін у просторі. Для органів охорони природно-заповідного фонду це створює основу для гарантування екологічної безпеки, збереження біорізноманіття, підвищення доступності даних і розвитку публічної екологічної комунікації.

Метою даного дослідження є розроблення та апробація методики оптимізованого збору й опрацювання геоданих із використанням технології SLAM для наповнення та ведення реєстру особливо цінних природоохоронних територій на прикладі Ботанічного саду НУБіП України; а також створення регламентованих просторових продуктів і демонстрація їх прикладної цінності для управління територіями.

Об'єктом дослідження є територія Ботанічного саду НУБіП України як комплекс природоохоронних ділянок, що включає мережу екологічних стежок, архітектурні форми, водні об'єкти та колекційні насадження.

Предметом дослідження є процес польового збору, опрацювання та інтеграції геоданих, отриманих за допомогою технології SLAM у структуру реєстру природоохоронних територій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати теоретичні, нормативно-правові та методичні засади ведення реєстрів природно-заповідного фонду України й сучасні підходи до їх цифровізації та діджиталізації ;

2. Вивчити об'єкт та умови дослідження, обґрунтувати вибір обладнання, програмного забезпечення; спроектувати опорну мережу і маршрути SLAM-знімання;

3. Виконати збір польових даних із використанням SLAM-технології

4. Побудувати цифрові моделі рельєфу (DTM), поверхні (DSM) та аналітичні похідні (ухили, експозиції, напрями стоку);

5. Виконати векторизацію елементів території для формування цифрових карт і наповнення реєстру природоохоронних територій.

Магістерська кваліфікаційна робота виконана відповідно до вимог чинного в Університеті «Положення про підготовку і захист магістерської кваліфікаційної роботи у Національному університеті біоресурсів і природокористування України», що визначає її структуру, етапи підготовки та оформлення, процедури рецензування та критерії оцінювання результатів дослідження та ін. При виконанні роботи також враховано норми «Положення про політику використання штучного інтелекту в Національному університеті біоресурсів і природокористування України», зокрема щодо академічної доброчесності, прозорості джерел, належного цитування та усвідомленого використання цифрових технологій і інтелектуальних інструментів для наукових цілей.

Дослідження проводилося в рамках науково-дослідної роботи кафедри геодезії та картографії базового фінансування (номер БФ/39-2021). Автор роботи був залучений до виконання окремих етапів цієї НДР упродовж 2024–2025 років, зокрема в частині експериментального збору та опрацювання просторових даних із використанням технології SLAM, а також розроблення рекомендацій щодо створення реєстрів природоохоронних територій.

Виконання даного дослідження стало можливим завдяки підтримці ТОВ «ГЕОФІКС» в особі директора компанії і члена Ради роботодавців факультету землевпорядкування Олексія КУЦЕНКА, який надав сучасні прилади та обладнання для збору й опрацювання даних. Крім того автор висловлює щире подяку колективу кафедри геодезії та картографії НУБіП України за надані знання та методичний супровід, зокрема професору Івану КОВАЛЬЧУКУ, доценту Олександрові ШЕВЧЕНКУ і науковому керівнику, в.о. завідувача кафедри, професору Тарасу ЄВСЮКОВУ за цінні поради, постійний науковий супровід, і підтримку на всіх етапах роботи. Окремі слова вдячності адміністрації та службам Університету за сприяння, надану інформацію й можливість доступу до території дослідження.

## **РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ ЗБОРУ ГЕОДАНИХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РЕЄСТРУ ОСОБЛИВО ЦІННИХ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ**

### **1.1 Поняття і класифікація про природно-заповідного фонду України**

Природоохоронні території – це географічно визначені простори, для яких встановлено особливий правовий режим збереження природних комплексів і об'єктів, підтримання екологічного балансу та проведення фонових моніторингу довкілля. В Україні їх сукупність становить природно-заповідний фонд (ПЗФ), що охороняється як національне надбання й розглядається складовою світової системи охоронюваних територій. Закон визначає, що до ПЗФ відносять ділянки суші та водного простору з природними комплексами й об'єктами, які мають особливу природоохоронну, наукову, естетичну, рекреаційну та іншу цінність.[1]

Території та об'єкти природно-заповідного фонду з додержанням вимог, встановлених цим Законом та іншими актами законодавства України, можуть використовуватися:

- у природоохоронних цілях;
- у науково-дослідних цілях;
- в оздоровчих та інших рекреаційних цілях;
- в освітньо-виховних цілях;
- для потреб моніторингу навколишнього природного середовища.

Заготівля деревини, лікарських та інших цінних рослин, їх плодів, сіна, випасання худоби, мисливство, рибальство та інші види використання можуть здійснюватися лише за умови, що така діяльність не суперечить цільовому призначенню територій та об'єктів природно-заповідного фонду, встановленим вимогам щодо охорони, відтворення та використання їх природних комплексів та окремих об'єктів.[1]

Класифікація ПЗФ України охоплює, з одного боку, «природні території та об'єкти» (природні й біосферні заповідники, національні природні парки, регіональні ландшафтні парки, заказники, пам'ятки природи, заповідні урочища), а з іншого – «штучно створені об'єкти» (зокрема ботанічні сади, дендрологічні та зоологічні парки, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва). Саме до цієї групи належить і ботанічний сад НУБіП України як територія загальнодержавного значення, обраний модельним об'єктом цього дослідження.[1]

Таблиця 1.1. Склад земель природно-заповідного фонду (ПЗФ) [1]

Вид території	Об'єкти ПЗФ
Природні території	Національні природні парки
	Біосферні заповідники
	Пам'ятки природи
	Природні заповідники
	Заказники
	Регіональні ландшафтні парки
	Заповідні урочища
Штучні території	Зоологічні парки
	Пам'ятки садово-паркового мистецтва
	Ботанічні сади
	Дендрологічні парки

Ботанічні сади створюються з метою збереження, вивчення, акліматизації, розмноження в спеціально створених умовах та ефективного господарського використання рідкісних і типових видів місцевої і світової флори шляхом створення, поповнення та збереження ботанічних колекцій, ведення наукової, навчальної і освітньої роботи. Ботанічні сади загальнодержавного значення є

науково-дослідними природоохоронними установами. Ботанічний сад НУБіП України є садом місцевого значення у встановленому порядку може бути надано статус науково-дослідної установи.[2]

Ділянки землі та водного простору з усіма природними ресурсами вилучаються з господарського використання і надаються ботанічним садам у порядку, встановленому законом та іншими актами законодавства України.[2]

На території ботанічних садів забороняється будь-яка діяльність, що не пов'язана з виконанням покладених на них завдань і загрожує збереженню колекцій флори.[2]

У межах ботанічних садів для забезпечення необхідного режиму охорони та ефективного використання можуть бути виділені зони:

- експозиційна - її відвідування дозволяється в порядку, що встановлюється адміністрацією ботанічного саду;
- наукова - до складу зони входять колекції, експериментальні ділянки тощо, на відвідування її мають право лише співробітники ботанічного саду у зв'язку з виконанням ними службових обов'язків, а також спеціалісти інших установ з дозволу адміністрації саду;
- заповідна - відвідування її забороняється, крім випадків, коли воно пов'язано з проведенням наукових спостережень;
- адміністративно-господарська.[2]

Режим використання ПЗФ спрямований на пріоритет охорони, наукових досліджень, освітньо-виховної та рекреаційної діяльності; будь-яке спеціальне використання природних ресурсів у межах ПЗФ допускається за лімітами і дозволами та за умови несуперечності цільовому призначенню об'єкта. Порухення режиму тягнуть установлену законом відповідальність.[2]

Державний кадастр територій та об'єктів природно-заповідного фонду – це цілісна система достовірних відомостей про природні, наукові, правові та інші характеристики територій і об'єктів ПЗФ. До складу кадастру входять геопросторові дані, метадані та відповідні сервіси публікації й доступу;

оприлюднення та робота з ними здійснюються в мережі Інтернет відповідно до Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних».[2]

Кадастр ведеться з метою оцінювання складу й перспектив розвитку ПЗФ, контролю стану територій і об'єктів, організації їх охорони та ефективного використання, планування наукових досліджень, а також інформаційного забезпечення органів влади та заінтересованих установ для розв'язання завдань соціально-економічного розвитку і розміщення продуктивних сил. У кадастрі зосереджуються відомості про правовий статус і належність, режим охорони, географічне положення, кількісні та якісні показники, а також про природоохоронну, наукову, освітню, виховну, рекреаційну та іншу цінність кожної території чи об'єкта. [2]

Міжнародні визначення й підходи концептуально узгоджені з національними нормами. МСОП (IUCN) визначає «охоронювану територію» як чітко окреслений географічний простір, визнаний, призначений і керований правовими чи іншими ефективними засобами для досягнення довгострокової охорони природи з пов'язаними екосистемними послугами та культурними цінностями; ця рамка лежить в основі категоризації РА IUCN (Ia–VI). [2]

Важливу роль відіграють тематичні та наднаціональні мережі. Смарагдова мережа (Emerald Network) Ради Європи, що реалізує вимоги Бернської конвенції, формує каркас збереження видів і оселищ на континентальному рівні й поширена в Україні. Для водно-болотних угідь діє Рамсарська конвенція, Список якої є найбільшою у світі мережею охоронюваних водно-болотних територій.[3]

## **1.2 Нормативно-правові основи створення і ведення реєстрів природоохоронних територій**

Нормативно-правові засади створення і ведення реєстрів природоохоронних територій в Україні ґрунтуються на загальних положеннях земельного, природоохоронного та кадастрового законодавства і відображають підхід, запропонований для Державного реєстру особливо цінних земель: реєстр розглядається як систематизована база даних про об'єкти, що підлягають

державній реєстрації, інтегрована з Державним земельним кадастром і національною інфраструктурою геопросторових даних, із забезпеченням принципів прозорості, єдиної методології, достовірності та публічності даних.[4]

Працюючи над оптимізацією процесів збору геоданих для реєстру особливо цінних природоохоронних територій варто правильно визначити, які дані має містити реєстр та яким інструкціями повинен керуватись виконавець.

Головним нормативно-правовим документом є Наказ «Про затвердження Інструкції про зміст та складання документації державного кадастру територій та об'єктів природно-заповідного фонду» згідно якого визначаються склад та зміст документації державного кадастру територій та об'єктів природно-заповідного фонду.

Згідно з Наказом до даних первинного обліку ДКПЗФ відносяться:

- 1) основні характеристики територій та об'єктів ПЗФ;
- 2) охоронні зони, функціональні зони та режим територій та об'єктів ПЗФ;
- 3) архів документації територій та об'єктів ПЗФ;
- 4) біорізноманіття територій та об'єктів ПЗФ;
- 5) елементи рекреаційної та еколого-освітньої інфраструктури територій та об'єктів ПЗФ;[5]

Дані про природні, наукові, правові та інші характеристики територій та об'єктів, що входять до складу ПЗФ, агрегуються у інформаційно-комунікаційній системі, що забезпечує збирання, накопичення, захист, облік, відображення, оброблення та надання даних про території та об'єкти ПЗФ. [5]

Виходячи Наказу «Про Інструкції про зміст та складання документації державного кадастру територій та об'єктів природно-заповідного фонду» реєстр особливо цінних природоохоронних територій має містити:

1. Ідентифікатор територій та об'єктів ПЗФ присвоюється території або об'єкту ПЗФ під час реєстрації даних в ДКПЗФ і зберігається за об'єктом протягом усього часу існування. Ідентифікатор територій та об'єктів ПЗФ

використовується для однозначного посилання на об'єкт як безпосередньо ДКПЗФ, так і зовні.

2. Ідентифікатор Всесвітньої бази даних природоохоронних територій, який містить індивідуальний на глобальному рівні постійний ідентифікатор, що призначається Всесвітнім центром моніторингу охорони природи Програми ООН з навколишнього середовища для кожної нової природоохоронної території, що включається до Всесвітньої бази даних природоохоронних територій.
3. Назва українською мовою містить назву території або об'єкту ПЗФ відповідно до нормативного документа, яким його створено або оголошено (змінено), без зазначення категорії та/або типу.
4. Офіційна площа території чи об'єкта ПЗФ у його сучасних межах відповідно до рішення про створення чи оголошення території та об'єкту ПЗФ або про її зміну.
5. Межі зон територій та об'єктів ПЗФ як полігональні геопросторові об'єкти
6. Архів документації територій та об'єктів ПЗФ містить цифрові копії всіх документів, що створюються та накопичуються протягом всього життєвого циклу територій та об'єктів ПЗФ від етапу схвалення клопотання про створення чи оголошення території або об'єкта ПЗФ до етапу прийняття рішення про скасування статусу території або об'єкта ПЗФ. [5]

До основних документів архіву належать:

- матеріали створення, матеріали погодження з власниками та первинними користувачами природних ресурсів у межах даної території
- положення;
- охоронні зобов'язання;
- державні акти на право постійного користування земельною ділянкою;
- витяги з Державного реєстру речових прав на нерухоме майно;
- ліміти на використання природних ресурсів у межах територій та об'єктів ПЗФ;

- проекти організації території;
- матеріали лісовпорядкування;
- плани та звіти з природоохоронних заходів; плани природоохоронних заходів та звіти про виконання природоохоронних заходів;
- плани та звіти діяльності служби державної охорони ПЗФ України;
- плани заходів та звітна інформація про виконання заходів з наукової та науково-технічної діяльності;
- плани заходів та звітна інформація з екологічної освітньо-виховної роботи;
- протоколи засідань наукових (вчених) або науково-технічних рад;
- літописи природи. [5]

До даних біорізноманіття території відносяться таксономічні переліки видів рослин, а також інформація про спостереження. Ці дані вносяться в ідентифікатор території. Обов'язково повинна вказуватись географічна широта та довгота розташування точки спостереження виду з використанням системи координат УСК – 2000. Також, додається чисельність таксонів кожного виду. Дані таксономічного переліку наведені в таблиці (див. таблиця №1.2) та дані про спостереження (див. таблиця №1.3) [5]

Таблиця 1.2 Дані таксономічного переліку[5]

Назва поля	Тип поля	Зміст
paID	ціле число	Ідентифікатор території або об'єкта ПЗФ (див. табл. 2.2 цього додатка).
taxonID	ціле число	Ідентифікатор таксона.
codeNatura	ціле число	Ідентифікатор із переліку видів Natura 2000.
codeBern	ціле число	Ідентифікатор із переліку видів Бернської конвенції (1979), до якої Україна приєднана Законом № 436/96-ВР.
scientificName	текст	Наукова назва таксона.

taxonRank	текст	Систематичне положення. Можливі значення: <i>царство; тип; клас; порядок; родина; рід; вид.</i>
sensitive	логічне	Вразливість виду. Можливі значення: <i>1 (істина); 0 (хибність).</i>
redbookStatus	текст	Категорія у Червоній книзі України. Можливі значення: <i>зниклий; зниклий в природі; зникаючий; вразливий; рідкісний; неоцінений; недостатньо відомий.</i>
appendixBern	текст	Наявність у додатках/резолуціях Бернської конвенції. Можливі значення: <i>додаток I; додаток II; додаток III; резолюція 6 (1998).</i>
appendixHabitat	текст	Наявність у додатках до Директиви Оселищ 92/43/ЄЕС. Можливі значення: <i>додаток II; додаток IV.</i>
appendixBIRD	логічне	Наявність у додатку I до Директиви Птахів 2009/147/ЄС. Значення: <i>1 – наявний; 0 – відсутній.</i>
appendixCITES	текст	Наявність у додатках до CITES (1973), Закон № 662-XIV. Можливі значення: <i>додаток I; додаток II; додаток III.</i>
appendixCMS	текст	Наявність у додатках до CMS (1979), Закон № 535-XIV. Можливі значення: <i>додаток I; додаток II.</i>
appendixEUROBATS	текст	Наявність у EUROBATS. Можливі значення: <i>резолюція 8.2.</i>
appendixAEWA	текст	Наявність у AEWA (1995), Закон № 62-IV. Можливі значення: <i>додаток 2.</i>
appendixACCOBAMS	текст	Наявність у ACCOBAMS (1996), Закон № 1067-IV. Можливі значення: <i>додаток 1.</i>
checklistRegion	текст	Приналежність до переліків особливої охорони в регіонах. Коди: <i>01 АР Крим; 05 Вінницька; 07 Волинська; 12 Дніпропетровська; 14 Донецька; 18 Житомирська; 21 Закарпатська; 23 Запорізька; 26 Івано-Франківська; 32 Київська; 35 Кіровоградська; 44 Луганська; 46 Львівська; 48 Миколаївська; 51 Одеська; 53 Полтавська; 56 Рівненська; 59 Сумська; 61 Тернопільська; 63 Харківська; 65 Херсонська; 68 Хмельницька; 71 Черкаська;</i>

		73 Чернівецька; 74 Чернігівська; 80 м. Київ; 85 м. Севастополь.
checklistAlien	логічне	Приналежність до переліку інвазивних чужорідних видів. Можливі значення: 1 (істина); 0 (хибність).
StatusStay	текст	Статус перебування (для тварин). Можливі значення: <i>permanent</i> ; <i>reproduction</i> ; <i>migration</i> ; <i>concentration</i> ; <i>casual</i> .

Таблиця 1.3 Дані про спостереження [5]

Назва поля	Тип поля	Зміст
paID	ціле число	Ідентифікатор території або об'єкта ПЗФ (див. табл. 2.2 цього додатка).
occurrenceID	ціле число	Ідентифікатор спостереження.
recordedBy	текст	Автор/автори спостереження.
basisOfRecord	текст	Підстава. Можливі значення: <i>збережений зразок</i> ; <i>скам'янілий зразок</i> ; <i>живий екземпляр</i> ; <i>людське спостереження</i> ; <i>машинне спостереження</i> ; <i>зразок матеріалу</i> ; <i>спостереження</i> .
scientificName	текст	Назва виду.
eventDate	дата	Дата у форматі РРРР-ММ-ДД.
taxonRank	текст	Систематичне положення. Можливі значення: <i>царство</i> ; <i>тип</i> ; <i>клас</i> ; <i>порядок</i> ; <i>родина</i> ; <i>рід</i> ; <i>вид</i> .
kingdom	текст	Царство. Можливі значення: <i>Animalia</i> ; <i>Archaea</i> ; <i>Bacteria</i> ; <i>Chromista</i> ; <i>Fungi</i> ; <i>Plantae</i> ; <i>Protozoa</i> ; <i>Viruses</i> .
decimalLatitude	число з рухомою комою	Географічна широта, десяткові градуси.
decimalLongitude	число з рухомою комою	Географічна довгота, десяткові градуси.
geodeticCS	текст	Система координат. Можливі значення: <i>EPSG:4326 – WGS 84</i> ; <i>EPSG:5561 – UCS-2000</i> .
individualCount	ціле число	Чисельність (кількість особин).

Ботанічний сад НУБіП України має елементи рекреаційної та еколого-освітньої інфраструктури, тому реєстр має містити дані про маршрути, еколого-освітні стежки, виховні центри, аудиторії, ці дані також додаються в реєстр за допомогою ідентифікатора - ідентифікатор маршруту або еколого-освітньої стежки містить індивідуальну послідовність цифр, яка автоматично формується програмним забезпеченням ДКПЗФ для кожного маршруту або екологічної стежки під час її реєстрації в ДКПЗФ і зберігається за нею протягом усього часу існування. Завдяки індивідуальності та постійності, ідентифікатор використовується для однозначного посилання на об'єкт як всередині ДКПЗФ, так і зовні. Додається також якісна інформація про маршрути: [5]

Довжина розраховується за лінійним геопросторовим об'єктом засобами програмного забезпечення ДКПЗФ. Подається у кілометрах з точністю до чотирьох знаків після коми. [5]

Тривалість проходження. Вказується час необхідний на проходження маршруту або еколого-освітньої стежки, відповідно до її паспорту. Подається в годинах з точністю до двох знаків після коми. [5]

Кількість зупинок. Вказується число станцій, оглядових точок або зупинок, які передбачені на маршруті або екологічній стежці, відповідно до її паспорту. [5]

Мінімальний вік відвідувачів. Вказується вік з якого рекомендовано проходити маршрут або екологічну стежку, відповідно до її паспорту. [5]

Рівень складності. Вказується градації складності проходження маршруту або еколого-освітньої стежки, відповідно до її паспорту. Можливі значення контролюються словником:

простий;  
середній;  
складний. [5]

Доступність для людей з обмеженими фізичними можливостями. Вказується логічний параметр, який може набувати значень:

істина - маршрут або еколого-освітня стежка є доступною;

хибність - маршрут або еколого-освітня стежка є недоступною. [5]

Реєстр має містити інформацію про екологічні освітньо-виховні центри, музеї природи, візит-центри, постійні та мобільні виставки і стенди. Дані про ці об'єкти вносяться в реєстр також за допомогою ідентифікатора. [5]

Ідентифікатор території/об'єкта ПЗФ. Для кожного запису зазначається унікальний ідентифікатор території або об'єкта природно-заповідного фонду, в межах якого створюються відповідні дані. [5]

Ідентифікатор об'єкта інфраструктури екоосвіти. Кожен центр/музей/виставка/стенд отримує індивідуальну цифрову послідовність, що автоматично генерується програмним забезпеченням ДКПЗФ під час реєстрації й зберігається незмінною упродовж усього життєвого циклу. Завдяки сталості та унікальності цей код використовується як однозначне посилання як у межах ДКПЗФ, так і в зовнішніх інформаційних ресурсах. [5]

Місце розташування. Локація візит-центру подається як точковий геопросторовий об'єкт, що визначає його фактичні координати. [5]

Назва українською мовою. Наводиться повна офіційна назва об'єкта без використання лапок у тексті. Топоніми та власні назви подаються з великої літери. Скорочення й розділові знаки (крапка, дефіс, тире, знак № тощо) застосовуються відповідно до чинного «Українського правопису» (постанова КМУ від 22.05.2019 № 437). [5]

Транслітерація назви. Назва дублюється латиницею за Таблицею транслітерації українського алфавіту (постанова КМУ від 27.01.2010 № 55). [5]

Телефон. Номер подається повністю у міжнародному форматі ITU-T E.164 [5]

Вебсайт. Зазначається повний URL офіційного сайту із вказанням протоколу передачі даних (https://). [5]

Сторінка в соціальних медіа. За використання Facebook як офіційного каналу комунікації подається повний URL (https://) відповідної сторінки. [5]

Робочі години. Наводиться діапазон робочих днів та проміжки часу роботи. Якщо графік відрізняється за днями, подаються окремі діапазони, розділені крапкою з комою. [5]

В реєстр має бути включений шар відомостей про території та об'єкти, які знаходяться на етапі створення, це: [5]

Ідентифікатор території/об'єкта ПЗФ у стадії створення. Присвоюється унікальна для всієї України цифрова послідовність, сформована з урахуванням адміністративно-територіальної належності та дати схвалення клопотання про створення/оголошення (див. табл. 4.2 додатка 4). Ідентифікатор фіксується під час реєстрації в ДКПЗФ і лишається за об'єктом до моменту ухвалення рішення про його створення/оголошення; завдяки унікальності та сталій прив'язці використовується для однозначних посилань як у межах ДКПЗФ, так і в зовнішніх системах. Після прийняття рішення об'єкту присвоюється вже «постійний» ідентифікатор території/об'єкта ПЗФ. [5]

Межі (полігональні геооб'єкти). Якщо межі в натурі не встановлені, їх визначають за матеріалами створення (клопотання/проект створення), документацією із землеустрою та/або містобудівними матеріалами. [5]

Назва українською. Подається відповідно до клопотання про необхідність створення/оголошення; без лапок у середині чи поза рядком. Топоніми та власні назви – з великої літери. Скорочення та розділові знаки застосовуються за нормами «Українського правопису». [5]

Транслітерація назви. Подається латиницею згідно з Таблицею транслітерації українського алфавіту. [5]

Значення (рівень статусу). Визначається рішенням, яким планується створення/оголошення, і може бути загальнодержавним або місцевим згідно зі ст. 3 Закону України «Про природно-заповідний фонд України»: природні, біосферні заповідники та нацпарки – загальнодержавні; заказники, пам'ятки природи, ботанічні, дендрологічні, зоологічні парки та парки-пам'ятки –

загальнодержавного або місцевого значення; регіональні ландшафтні парки та заповідні урочища – місцевого значення. [5]

Категорія. Зазначається відповідно до клопотання; перелік категорій територій і об'єктів ПЗФ наведений у ст. 3 Закону України «Про природно-заповідний фонд України». [5]

Тип. Для заказників і пам'яток природи зазначається тип за клопотанням (класифікація типів – у ст. 3 зазначеного Закону). [5]

Заявник клопотання. Відповідно до ст. 51 Закону заявниками можуть бути: обласні, Київська та Севастопольська міські держадміністрації, уповноважений орган АР Крим з питань довкілля – щодо об'єктів загальнодержавного значення; наукові установи, природоохоронні громадські об'єднання, інші заінтересовані підприємства, установи, організації та громадяни – щодо об'єктів як загальнодержавного, так і місцевого значення. [5]

Орган, що схвалив клопотання. Згідно зі ст. 52 Закону це може бути Міндовкілля, а також обласні, Київська та Севастопольська міські держадміністрації чи уповноважений орган АР Крим з питань охорони навколишнього природного середовища. [5]

Задokumentована площа. Зазначається за матеріалами створення (клопотання/проект створення) в гектарах із точністю до чотирьох десяткових знаків. [5]

Площа земель з вилученням. Площа ділянки, що пропонується для надання установі ПЗФ у постійне користування (за клопотанням, проектом створення, матеріалами погоджень з власниками та первинними користувачами ресурсів тощо). Значення – у гектарах із точністю до чотирьох десяткових знаків. [5]

Площа земель без вилучення. Площа в межах об'єкта ПЗФ, що залишається у постійному користуванні (власності) інших землекористувачів/власників і не передається у постійне користування установі ПЗФ (за матеріалами створення/погоджень). Значення – у гектарах із точністю до чотирьох десяткових знаків. [5]

### 1.3 Сучасні підходи до цифровізації і діджиталізації реєстрів природоохоронних територій

Процеси цифрової трансформації у сфері охорони навколишнього природного середовища поступово змінюють підходи до збирання, оброблення та використання геопросторової інформації. Реєстри природоохоронних територій, зокрема територій та об'єктів природно-заповідного фонду, переходять від паперових і локальних баз до інтегрованих цифрових платформ, побудованих на принципах національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД). Такий підхід забезпечує уніфіковане зберігання, оновлення, обмін і візуалізацію просторових даних, а також їх сумісність із міжнародними геоінформаційними стандартами (ISO 19115, INSPIRE, OGC).[6]

В Україні правові засади цифровізації кадастрів та реєстрів визначені Законом України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» (2020 р.), який встановлює обов'язковість відкритого доступу до базових геоданих, метаданих і геосервісів через мережу Інтернет. На його виконання Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів розроблено Інструкцію про зміст та складання документації державного кадастру територій та об'єктів природно-заповідного фонду, де визначено структуру відомостей, формати подання даних та вимоги до їх просторової точності. Ведення ДКПЗФ у цифровій формі сприяє підвищенню прозорості управлінських процесів, уніфікації звітності та інтеграції з іншими державними кадастрами - земельним, водним, лісовим, а також системами моніторингу довкілля. [6]

Застосування сучасних підходів і технологій прискорює появу кадастрів майбутнього, для яких характерні шість рис:

1. Кадастр з геодезичною точністю
2. Об'єктно-орієнтований кадастр, що описує не тільки ділянки, а й інші просторові об'єкти (є можливість оновлення в реальному часі за рахунок сучасних методів знімання таких як SLAM та LiDAR)
3. 3D/4D-кадастр, який зберігає дані про висотне положення й час

4. Кадастр у режимі реального часу
  5. Глобально пов'язаний кадастр
6. Органічний кадастр, здатний моделювати природні, змінні межі

Усі ці риси безпосередньо корисні для цифровізації реєстру ПЗФ, оскільки природоохоронні території часто мають складні, змінні або багат шарові межі (наприклад, охоронні зони, буферні смуги, заплави), а дані про них потрібно оновлювати й поширювати в єдиній системі.[7]

Ключовими напрямками діджиталізації реєстрів ПЗФ є:

- створення єдиних баз геоданих з відкритою архітектурою (PostGIS, GeoPackage, WMS/WFS-сервіси);
- перехід до тривимірних моделей територій, що включають цифрові моделі рельєфу (DTM) і поверхні (DSM), хмари точок, ортофотоплани та тематичні шари об'єктів інфраструктури;
- використання хмарних і веб-платформ (ArcGIS Online, QGIS Server, GeoServer, Cesium, Potree) для інтерактивної візуалізації й спільного оновлення даних;
- інтеграція технологій дистанційного зондування, LiDAR і SLAM, які забезпечують оперативне створення точних геопросторових моделей навіть у складних умовах - під пологом лісів, у заповідниках чи ботанічних садах;

Застосування тривимірних технологій, зокрема SLAM-сканування, сприяє створенню цифрових копій природоохоронних об'єктів - від дендропарків до геологічних пам'яток. Отримані хмари точок і моделі рельєфу інтегруються до геоінформаційної системи реєстру як базові просторові шари, що дозволяють виконувати точні вимірювання, оцінювати стан екосистем і прогнозувати зміни. Такі підходи відповідають європейським вимогам до формування екологічних кадастрів та є важливою частиною процесу цифрової трансформації природоохоронного управління.

## РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА УМОВ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Загальна характеристика території дослідження

#### 2.1.1 Географічне положення

Територія об'єкту дослідження знаходиться в Голосіївському районі Києва, який утворився в результаті змін в адміністративний поділ Києва, які були прийняті відповідно до рішення Київської міської ради від 31.01.2001 р. Голосіївський район розташований в південно-західній частині міста Київ (рис 2.1), має загальні сухопутні кордони з наступними районами столиці: Шевченківський, Солом'янський, Печерський і Дарницький (рис. 2.2). [8]

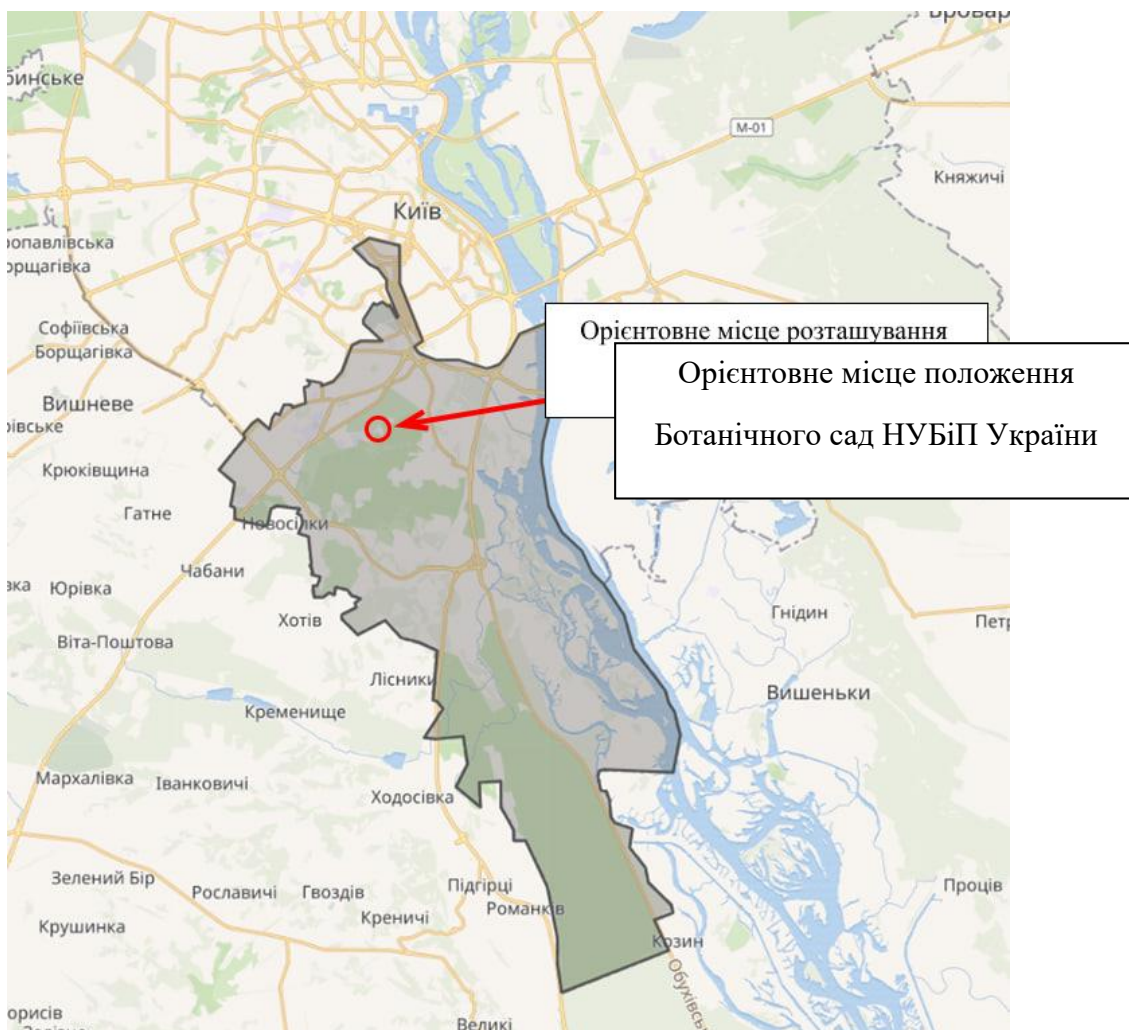


Рис 2.1. Схема розміщення об'єкту дослідження (ботанічний сад НУБіП України) в межах Голосіївського району міста Києва.

(взято з порталу Openstreetmap. URL: <https://www.openstreetmap.org/relation/1754513#map=10/50.3196/30.5585>)



Рис. 2.2 Схема Адміністративно-територіальний устрій м. Київ Автор: Мпо - Власна робота, GFDL, URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1131605>

Також територія об'єкту дослідження входить до території національного природного парку «Голосіївський», що знаходиться в центральній та південній частині Голосіївського району м. Києва та у південній частині міста. Створений з метою збереження, відтворення та раціонального використання особливо цінних природних комплексів та об'єктів Лісостепу та Київського Полісся. [9]

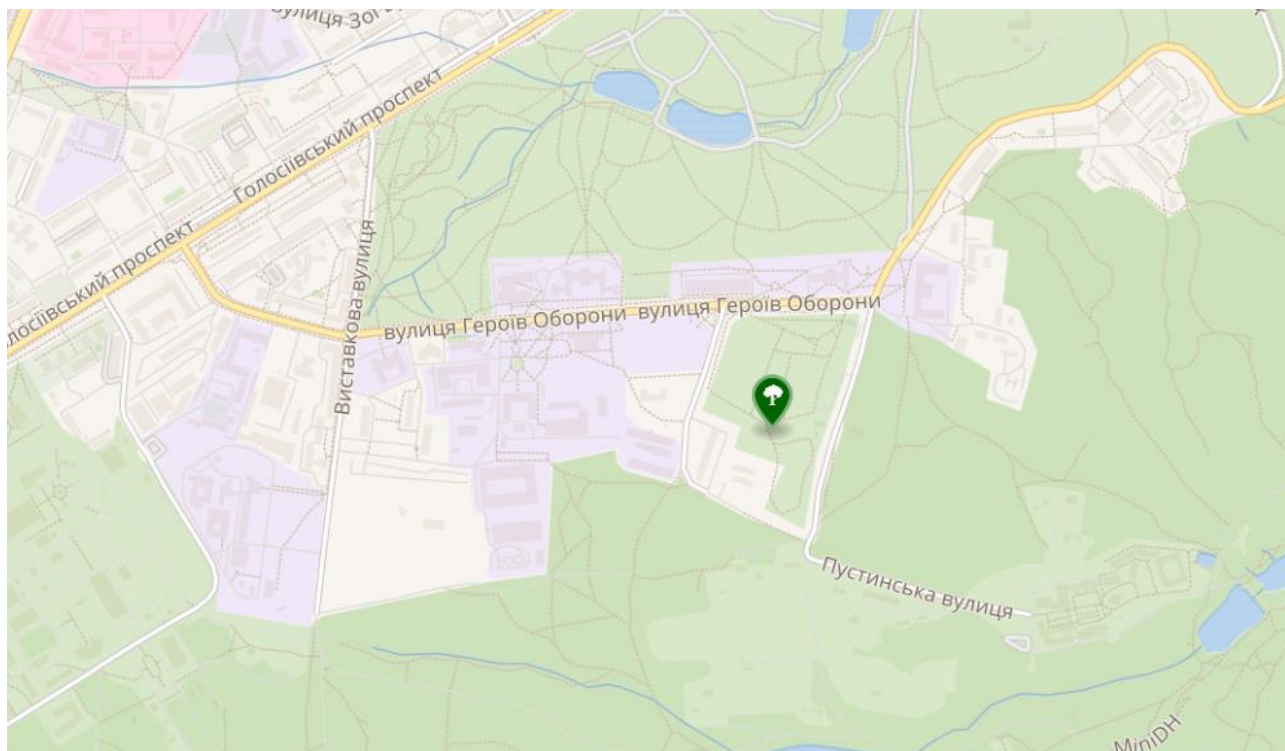


Рис. 2.3 Розташування об'єкту дослідження (зображення сформовано за допомогою порталу: URL: [Ботанічний сад Національного університету біоресурсів і природокористування України – Вікіпедія](#))

В межах території парку, розташовані: Національний університет біоресурсів і природокористування України, Ботанічний сад Національного університету біоресурсів і природокористування України, Голосіївська пустинь, Національний експоцентр України, Клінічна лікарня "Феофанія", Інститут бджільництва ім. П. І. Прокоповича, Національний музей бджільництва України, Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Національний музей народної архітектури та побуту України, Всеукраїнський центр радіохірургії. [9]

Центральна частина парку включає урочища з переважанням широколистяних лісів, таких як Голосіївський ліс (разом з прилеглим до нього Голосіївським парком ім. Максима Рильського), урочищами Теремки і Бичок. Південна частина парку – це піщана надзаплавна тераса Дніпра, вкрита сосновими лісами. Ця тераса перетинається річкою Сіверкою, яка розгалужена на кілька рукавів. У її долині знаходиться значний масив вільхових лісів.[9]

### 2.1.2 Кліматичні умови

Клімат території об'єкту дослідження відноситься до помірно-континентального типу з помітним впливом мікрокліматичних умов великого індустріального міста. За даними метеостанції «Київ» середньорічна температура складає +7,2 °С. В липні, найтеплішому місяці року, середня температура становить +19,5 °С, тоді як у січні, найхолоднішому місяці, вона опускається до -5,8 °С. Середньорічна кількість опадів на рівні 600 мм свідчить про достатнє зволоження території.[9]

### 2.1.3 Геоморфологічні особливості та рельєф території

Голосіївський район розташований у правобережній частині Києва, у межах Київського плато, яке належить до північної окраїни Придніпровської височини. Рельєф хвилястий, яружно-балковий, із системою глибоко врізаних улоговин, що орієнтовані переважно у напрямку до долини Дніпра. Літологічна основа представлена лесами та лесовидними суглинками, що зумовлює розвиток схилових процесів, формування крутих бровок ярів і локальних зсувів. У межах району розвинені як природні лісисті узвишся, так і антропогенно трансформовані форми (терасовані схили, насипи, підсипки).[10]

Висотний діапазон району змінюється від заплавних понижень на відмітках близько 85–90 м до лесових вододільних поверхонь 180–210 м. [11]

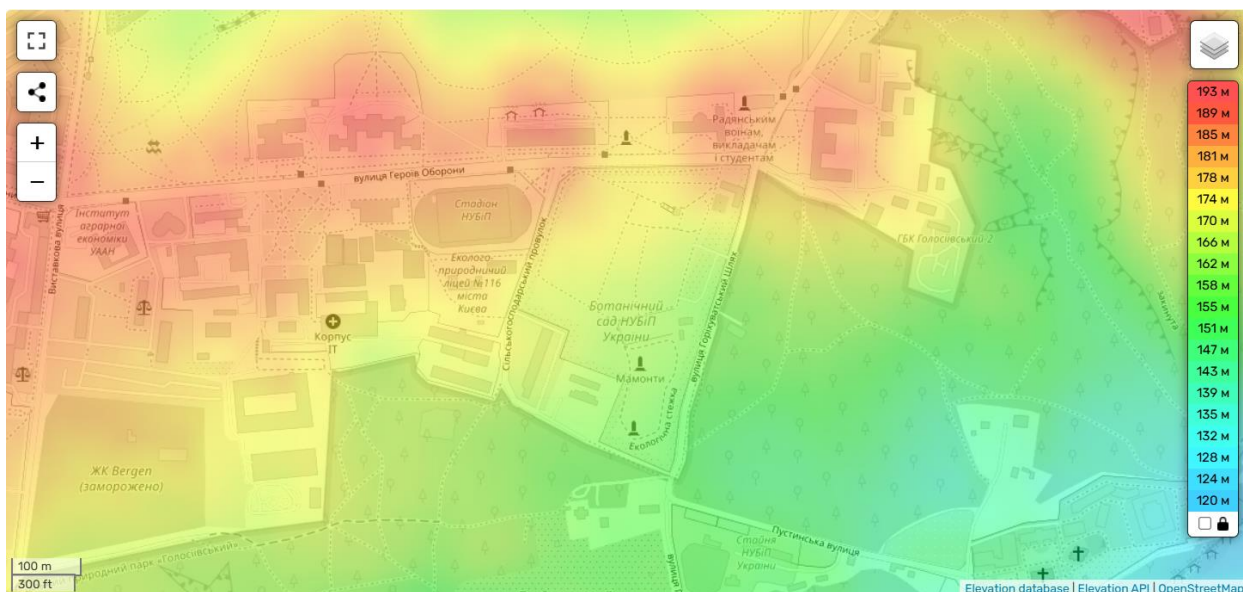


Рис. 2.4 Інтерактивна карта висотності об'єкту дослідження (зображення сформовано за допомогою порталу: URL: [Топографічна карта Голосіївський район, висота, рельєф](#))

Середні абсолютні висоти на території лісових масивів і паркових зон становлять  $\approx 120\text{--}150$  м. Гіпсометричний профіль демонструє істотне вертикальне розчленування рельєфу: перепади висот у межах окремих балок сягають  $30\text{--}50$  м, що формує строкату картину ухилів, важливу для просторового планування природоохоронних територій.[11]

Балкові системи (зокрема Голосіївська балка та її відгалуження) мають асиметричні профілі з крутішими південними й південно-східними схилами. Середні ухили магістральних схилів  $6\text{--}12^\circ$ , локально  $15\text{--}20^\circ$  на бровках. Такі значення критичні для стійкості ґрунтово-рослинного покриву, дорожньо-стежкової мережі та малих архітектурних форм, що потребує регулярного моніторингу ухилів, водовідведення й протиерозійних заходів.

У межах НПП «Голосіївський» та ботанічного саду НУБіП рельєф представлений лісистими узвишсями й розгалуженою балковою мережею, що створює високу мозаїчність біотопів.

#### 2.1.4 Грунтовий покрив

У межах північної частини Голосіївського лісу переважають широколистянолісові ландшафти, які представлені підвищеними акумулятивно-денудаційними рівнинами на лесових суглинках з темно-сірими та сірими піщанисто-крупнопилуватими легкосуглинковими ґрунтами під свіжими дібровами (153,9 га). Тут також зустрічаються схили: відлогі делювіальні з сірими ґрунтами, похилі делювіальні з сірими та ясно-сірими ґрунтами під свіжими та вологими дібровами і судібровами (104,9 га), а також покаті делювіально-колювіальні суглинкові схили з дерновими та сірими лісовими крупнопилуватими і піщанисто-крупнопилуватими легкосуглинковими слабкозмитими ґрунтами під свіжими судібровами (289,6 га). Відлогі делювіальні піщані схили воднольодовикових рівнин з дерново-слабкопідзолистими крупнопилуватими піщаними і зв'язнопіщаними ґрунтами під складними суборами й різнотравно-злаковими формаціями займають 42,5 га. Невеликі площі займають лучні ландшафти річкових заплав, які характеризуються вирівненими супіщаними і суглинковими ґрунтами з заплавними дерновими глейовими та глеюватими крупнопилуватопіщанистими і крупнопилуватими супіщаними ґрунтами під різнотравно-вологотравними і вологотравно-осоковими луками (30,4 га). [12]

Також присутні балки трапецевидної форми в лесових і валунних суглинках з дерновими глейовими крупнопилувато-піщанистими супіщаними і легкосуглинковими ґрунтами (73,2 га) та западини в опіскованих суглинках і суглинках з слабконахиленими схилами, з дерново-підзолистими глейовими і глеюватими ґрунтами під вологими і вогкими дібровами та судібровами (2,4 га). [13]

На території парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва ім. М. Т. Рильського, поруч з яким знаходиться об'єкт дослідження, представлені ландшафти широколистяно-лісового типу. Тут переважають підвищені акумулятивно-денудаційні рівнини, вирівнені суглинкові та слабо хвилясті

суглинкові на лесових суглинках з темно-сірими, сірими та ясно-сірими піщанисто-крупнопилуватими легкосуглинковими ґрунтами під свіжими дібровами та судібровами. Схили цих рівнин включають відлогі делювіальні з сірими лісовими слабкооглеєними легкосуглинковими ґрунтами під свіжими та вологими дібровами і судібровами, а також покаті делювіально-колювіальні з дерновими та сірими лісовими крупнопилуватими і піщанисто-крупнопилуватими легкосуглинковими слабко змитими ґрунтами під свіжими судібровами. [14]

Найбільшу площу в межах цього урочища займають покаті делювіально-колювіальні схили з дерновими та сірими ґрунтами – 66,8 га. Відлогі схили підвищених акумулятивно-денудаційних рівнин займають 18,9 га, а підвищені акумулятивно-денудаційні рівнини – 9,1 га. Лучні ландшафти річкових заплав, що представлені вирівненими супіщаними і суглинковими ґрунтами з заплавними дерновими глейовими та глеюватими ґрунтами, займають 17,5 га. Балки трапецевидної форми в лесових і валунних суглинках із задернованими схилами та дерновими глейовими ґрунтами займають 10,1 га. [14]

#### 2.1.5 Рослинний і тваринний світ

У складі флори парку виявлено 650 видів вищих судинних рослин, 118 видів мохоподібних і більше 60 видів афілофороїдних грибів. Деякі з цих видів мають охоронний статус міжнародного, державного або регіонального рівня. Так, із судинних рослин, що зростають на території парку, 5 видів занесені до Додатку I Бернської конвенції, 1 вид – до Європейського Червоного списку, 24 види – до Червоної книги України і 29 видів є регіонально рідкісними. [15]

Тваринний світ НПП «Голосіївський», з яким межує об'єкт дослідження, вирізняється великою різноманітністю. Тут зафіксовано 192 види хребетних тварин, включаючи рибу, земноводних, плазунів, птахів і ссавців, а також близько 600 видів безхребетних, серед яких є молюски, галові кліщі та комахи. Багато з цих видів мають охоронні статуси різного рівня. Зокрема, 150 видів хребетних і 27 видів комах захищені міжнародними, державними або регіональними

законами. Деякі з них занесені до Червоної книги МСОП, Європейського Червоного списку, Червоної книги України, а також до Бернської, Боннської і Вашингтонської конвенцій. Окрім цього, кілька видів комах включені до Червоної книги денних метеликів Європи, а деякі види, що вважаються рідкісними на регіональному рівні, охороняються відповідно до переліку видів тварин, що підлягають охороні у місті Києві. [16]

## **2.2 Характеристика об'єкта дослідження – Ботанічний сад НУБіП України**

Відповідно до Закону України «Про природно-заповідний фонд України» (стаття 3) усі території й об'єкти ПЗФ поділяються на загальнодержавного та місцевого значення залежно від їх природної, наукової, освітньої та культурної цінності, а також від рівня органу, який ухвалює рішення про їх створення, фінансування й управління.

До об'єктів загальнодержавного значення належать:

- природні заповідники;
- біосферні заповідники;
- національні природні парки;
- заказники, пам'ятки природи, ботанічні, дендрологічні й зоологічні парки, а також парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва, які мають особливу природоохоронну, наукову або історико-культурну цінність.

До об'єктів місцевого значення належать:

- регіональні ландшафтні парки;
- заказники, пам'ятки природи, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва, дендрологічні та зоологічні парки, які мають важливе природоохоронне або рекреаційне значення для конкретного регіону чи громади.

Рішення про надання статусу загальнодержавного ухвалює Верховна Рада України, або Кабінет Міністрів України, об'єкти ПЗФ загальнодержавного значення характеризуються вищим рівнем природоохоронної цінності,

включенням до національних і міжнародних екологічних мереж та прямим державним управлінням.

Об'єкти місцевого значення орієнтовані на збереження природних комплексів регіонального масштабу й перебувають у віданні місцевих органів влади. Рішення про створення приймають обласні, Київська чи Севастопольська міські державні адміністрації .

Природно-заповідний фонд міста Києва становить цілісну систему територій та об'єктів різних охоронних категорій, призначених для збереження природного середовища в межах столиці України.

За станом на 2024 рік у Києві діє один національний природний парк, 1 заказник, 1 пам'ятка природи, 3 ботанічні сади, 1 дендрологічний парк, 1 зоопарк, а також 9 парків-пам'яток садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення.

До складу природно-заповідного фонду місцевого значення входять 4 регіональні ландшафтні парки, 44 заказники, 155 пам'яток природи, 13 парків-пам'яток садово-паркового мистецтва та 1 дендрологічний парк місцевого значення.[17]

Ботанічний сад НУБіП України – це частина Голосіївського лісу та є навчальним підрозділом Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сад має велику колекцію рідкісних рослин та відкриті аудиторії просто неба. [18]

Сад є об'єктом природно-заповідного фонду загальнодержавного значення, охороняється як національне надбання з особливим режимом охорони, відтворення та використання. Правовий режим і структура управління визначені Положенням про ботанічний сад НУБіП України, затвердженим наказом Мінприроди від 28.05.2012 № 277; цим же Положенням зафіксовано площу та неприпустимість приватизації.[19]



Рис. 2.5 Вхід в ботанічний сад НУБіП України (зображення сформовано за допомогою порталу URL: <https://nubip.edu.ua/botanicznyy-sad-nubip-ukrayiny>)

Історія саду розпочинається ще у 1631 році, де Петром Могилою був закладений монастир Голосіївська пустинь та парк, що започаткувало тривалу монастирську історію місцевості.[20]

Після встановлення радянської влади в 1920 році монастирські володіння було націоналізовано, а в 1922–1923 роках господарство Голосієва передано новоствореним сільськогосподарському та лісогосподарському інститутам; у 1925–1932 роках відбулася активна забудова навчальними корпусами й інфраструктурою.[20]

Організаційним підґрунтям майбутнього саду став дендрологічний сад Київського лісогосподарського інституту, закладений у 1928 році на ділянці близько 6 га; насіння екзотичних дерев і кущів надходило з провідних ботсадів і дендраріїв тодішнього СРСР. Уже 1929 року колекція налічувала приблизно 320

видів деревних рослин, а напередодні війни – близько 700 таксонів; у становленні колекцій важливу роль відіграли М. М. Ягніченко, Н. О. Коновалов, В. Шмідт, академіки П. Погребняк і М. Гришко, Ф. М. Русанов. [20]

Утворення сучасної інституції відбулося наприкінці 1980-х: 29 грудня 1988 року ректор УСГА акад. Д. О. Мельничук підписав наказ № 410 «Про створення ботанічного саду Української сільськогосподарської академії», до складу якого увійшли землі Боярської лісової дослідної станції та ділянки академії (плодовий сад, пасіка, навчально-дослідна база тощо). [20]

Подальший правовий статус закріплено актами республіканського та державного рівня: Постанова Ради Міністрів УРСР від 13.02.1989 № 53 надала об'єкту статус державного ботанічного саду, а Постанова Верховної Ради України від 16.06.1992 № 2457-ХІІ визначила його як ботанічний сад загальнодержавного значення (об'єкт ПЗФ). [20]

Територія об'єкту дослідження знаходиться за адресою вулиця Генерала Родімцева, 2 (діл. №2а) та має площу 7.9485 га та відноситься до земель житлової та громадської забудови.[21]

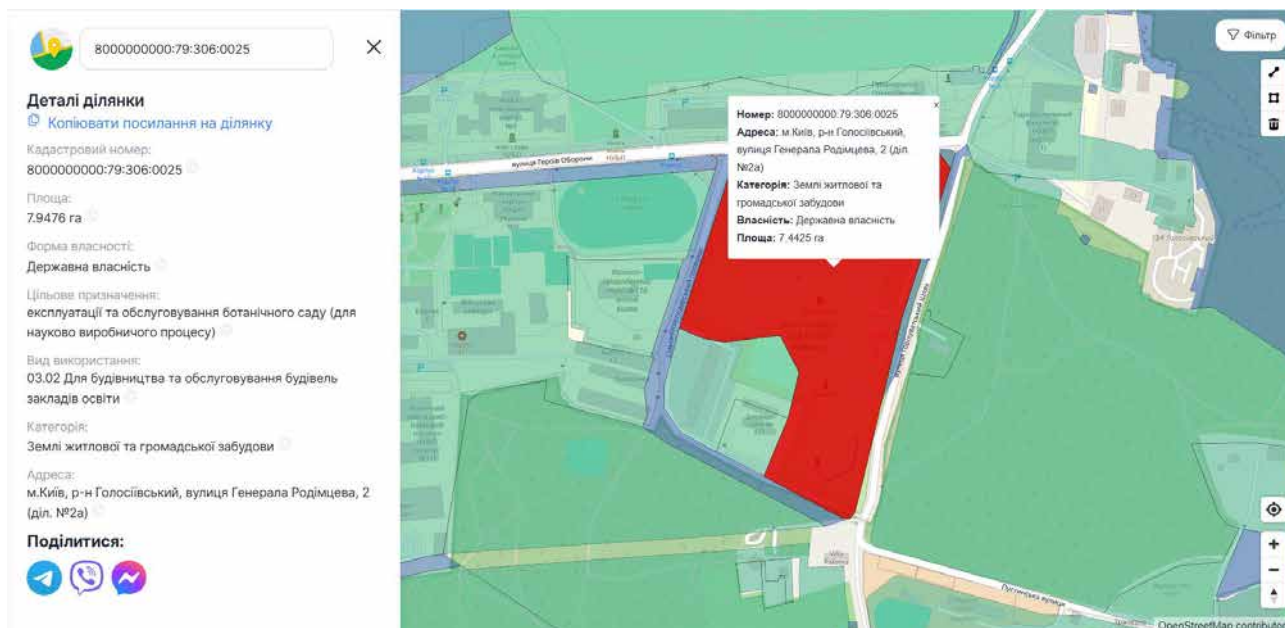


Рис. 2.6 Схема розташування об'єкту дослідження в межах земельної ділянки (зображення сформовано за допомогою порталу: URL:<https://kadastrova-karta.com/dilyanka/8000000000:79:306:0025>)

### 2.3 Просторова структура і природоохоронна цінність території

Просторова структура територій природно-заповідного фонду формується як результат поєднання природних компонентів - рельєфу, ґрунтів, водних об'єктів, рослинного та тваринного світу - із системою штучних елементів: стежковою мережею, інженерними спорудами, науковими та рекреаційними об'єктами. Збалансоване співіснування цих елементів визначає стабільність екосистем, біорізноманіття та потенціал для збереження природних комплексів у межах території ПЗФ.

Згідно із Законом України «Про природно-заповідний фонд України» просторове планування таких територій має забезпечувати чітке функціональне зонування, у межах якого виділяються заповідна, буферна, рекреаційна, наукова та господарська зони. Для ботанічних садів і дендрологічних парків таке зонування сприяє одночасному виконанню наукових, освітніх і природоохоронних функцій без порушення екологічної рівноваги. У практиці створення реєстру ПЗФ важливим є детальне картографування кожної з цих зон,

що дозволяє забезпечити ефективний моніторинг стану території та її використання.[22]

Основу просторової структури становлять рельєфно-гідрологічні елементи, які впливають на розподіл рослинних формацій і стабільність екосистем. Цифрова модель рельєфу (DTM/DSM), отримана за результатами лазерного або SLAM-сканування, дає змогу відобразити морфологію території - схили, пониження, водозбірні лінії, що безпосередньо впливають на мікроклімат і ґрунтові процеси. За допомогою аналізу ухилів, експозиції та гідрологічних потоків виявляють потенційні зони ерозії, застою води або зсувонебезпечні ділянки [23].

Біотичну складову території становлять фітоценози і колекції насаджень, які є базовими носіями природоохоронної цінності. Для ботанічних об'єктів важливою характеристикою є таксономічне різноманіття, представлене деревними, чагарниковими та трав'янистими видами - у тому числі занесеними до Червоної книги України [23]. Просторовий аналіз дозволяє ідентифікувати щільність і розподіл рослинних угруповань, що є критичним для розроблення заходів охорони. У поєднанні з даними таксації та 3D-моделюванням це створює передумови для динамічного моніторингу змін стану насаджень.

Окрему увагу слід приділяти антропогенним елементам просторової структури - стежкам, дорожнім покриттям, малим архітектурним формам, огорожам і гідротехнічним спорудам. Вони формують мережу функціональних зв'язків і визначають рівень рекреаційного навантаження. Застосування технології SLAM для побудови детальної тривимірної моделі території дозволяє одночасно отримати метрично точну картину розташування цих елементів, визначити ступінь фрагментації природних ділянок та розробити оптимальні маршрути для наукових і туристичних відвідувань [24].

Природоохоронна цінність території визначається сукупністю її унікальних біотичних та абіотичних властивостей, рідкісністю природних

комплексів і наявністю видів, занесених до національних та міжнародних списків охорони.

Використання цифрових технологій - таких як LiDAR, UAV-фотограмметрія та SLAM - суттєво підвищує точність опису просторової структури і дозволяє створювати цифрові двійники природоохоронних територій, що стають основою для інтерактивних карт і тривимірних візуалізацій. Це забезпечує не лише наукове документування стану об'єктів, але й розширює освітньо-виховні можливості через створення 3D-турів, віртуальних колекцій і відкритих геопорталів [25].

## **РОЗДІЛ 3. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ І ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗБОРУ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ГЕОДАНИХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РЕЄСТРУ ОСОБЛИВО ЦІННИХ ПРИРОДОХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ SLAM**

### **3.1 Сутність і принципи технології SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)**

Головним завданням є отримання метрично достовірного, відтворюваного й версіонованого просторового набору даних, який буде основою реєстру ПЗФ і забезпечує управління територією на рівні об'єкта: межі, зонування, рельєф, біота, інфраструктура, безпека та доступність. Збір необхідних геоданих виконувався за допомогою сучасних технологій такі як: SLAM і GNSS.

Технологія SLAM дозволяє забезпечити швидке картографування важкодоступних ділянок під пологом насаджень; побудувати DTM/DSM, виконати інвентаризацію об'єктів (дерева, стежки, малі архітектурні форми, гідроелементи), забезпечити формування продуктів для 2D/3D-візуалізації та аналітики. [26]

SLAM – це процес одночасного оцінювання місцеположення роботизованої системи та побудови карти навколишнього середовища.

SLAM був предметом технічних досліджень протягом багатьох років. Але завдяки величезному зростанню обчислювальної потужності та появі недорогих сенсорів – таких як камери й лазерні далекоміри – алгоритми SLAM тепер застосовують на практиці в дедалі більшій кількості сфер.

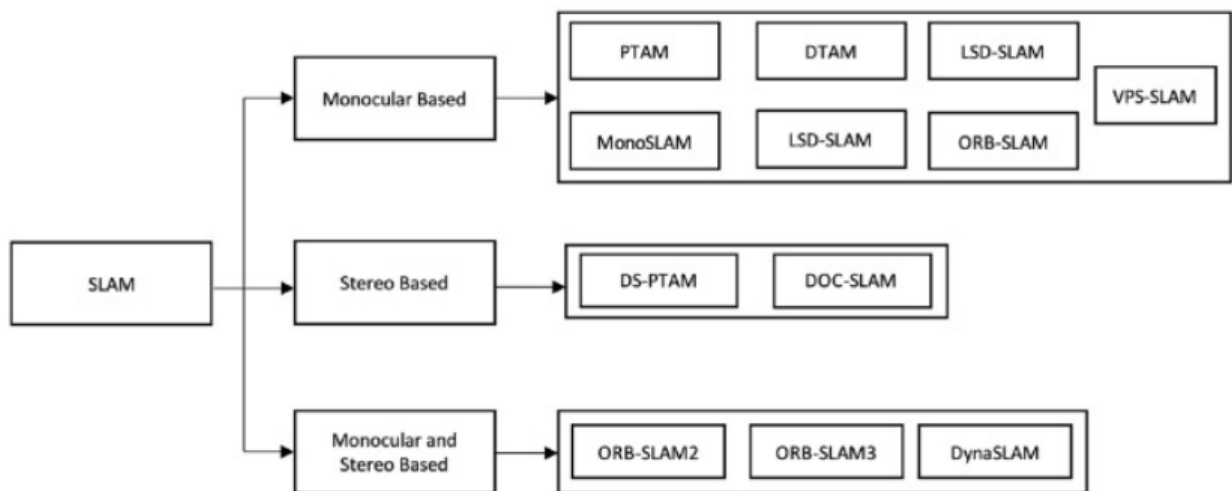


Рис. 3.1 Класифікація алгоритмів SLAM (зображення взято з праць Charalambos Theodorou, Vladan Velisavljevic, Vladimir Dyoa, Fredi Nonyelu «Visual SLAM Algorithms and their Application for AR, Mapping, Localization and Wayfinding» URL:<https://scispace.com/pdf/visual-slam-algorithms-and-their-application-for-ar-mapping-26rcgmt5.pdf>)

SLAM сканер це поєднання кількох технологій:

– LiDAR – це різновид технології дистанційного зондування. Замість використання камер, датчики LiDAR посилають швидкі лазерні імпульси і фіксують реакцію у відповідь, використовуючи ці точки даних для складання карти місцевості з великою точністю й чіткістю. [27]

LiDAR працює за тими ж принципами, що й радар («радіовиявлення та ранжування», система визначення місцезнаходження, яка часто використовується кораблями та літаками) та гідролокатор («звукова навігація та ранжування», система, яка зазвичай використовується підводними човнами). Всі три технології випромінюють хвилі енергії для виявлення та відстеження об'єктів. Різниця полягає в тому, що в той час як радар використовує мікрохвилі, а сонар використовує звукові хвилі, LiDAR використовує відбите світло, яке дозволяє вимірювати відстань швидше, з більшою точністю та вищою роздільною здатністю, ніж радар або сонар. [28]

Система LiDAR створює хмару точок, використовуючи дані, отримані за допомогою відбивання від об'єктів. Ці точки є вихідним матеріалом для створення 3D-моделей. [28]

– vSLAM - Візуальна одночасна локалізація та картографування, відноситься до процесу розрахунку положення та орієнтації камери, щодо її оточення, одночасно картографуючи навколишнє середовище. У процесі використовується лише візуальні входи з камери. Візуально-інерційний SLAM (viSLAM) – це процес злиття візуальних входів з камери, з позиційними дані з IMU для поліпшення результатів SLAM. [29]

– IMU - це електронний пристрій, який вимірює і видає на вихід значення швидкості тіла, його орієнтації, та гравітаційних сил з якими рухається тіло, а іноді і магнітне поле, що його оточує, використовуючи для цього поєднання акселерометрів, гіроскопів, і іноді магнітометрів. IMU зазвичай використовуються у маневрових літаках, в тому числі в безпілотних літальних апаратах (БПЛА), і космічних кораблях, включаючи супутники і посадкові модулі. Останні розробки дозволяють виготовляти GPS модулі з підтримкою IMU. ІВП дозволяє приймачу GPS працювати в умовах де GPS-сигнали не доступні, наприклад, в тунелях, в середині будівель, або при електронних перешкодах. [30]

Також IMU корисний в технології SLAM, датчик надає початкову позу для методів оптимізації, надає глобальні оцінки кроку та крену утвореної хмари точок, є джерелом кутової швидкості

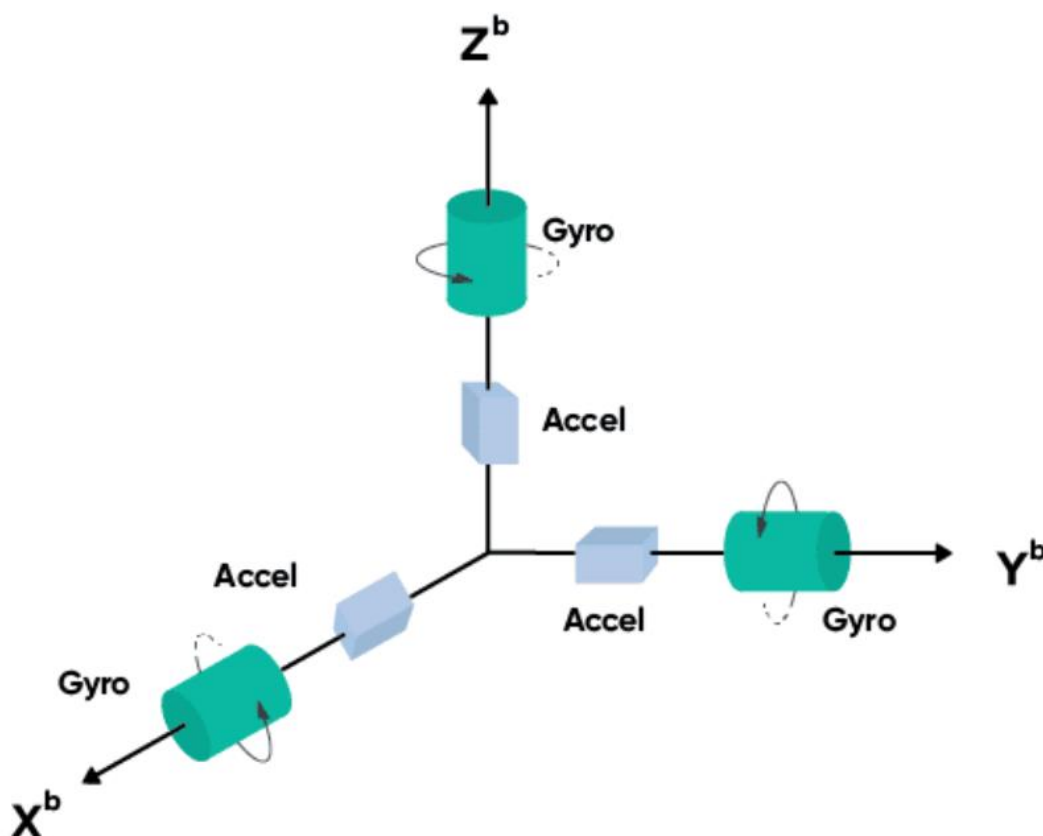


Рис. 3.2 Схема принципу роботи IMU (зображення сформовано за допомогою порталу: URL: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-an-inertial-navigation-systems>)

Кожен акселерометр і гіроскоп розташовуються під кутом  $90^\circ$  до інших (ортогонально). Акселерометри вимірюють рух уздовж кожної осі, а кожен гіроскоп вимірює кутову швидкість навколо кожної осі.[31]

Компіляцією цих технологій є хмара точок, але слід зазначити, що ці 3D-дані не мають фотографічної деталізації. Наприклад, лазерні імпульси не можуть визначити колір предметів. Ці дані мають бути отримані з іншого джерела, наприклад, за допомогою додаткового датчика, або модуля.[32]

Таким модулем в даному сканері є два об'єктиви Insta 360 One RS, які використовуються для кольоризації хмари точок, в свою чергу кольоризована хмара точок дозволяє краще ідентифікувати об'єкти відображені на хмарі точок.

Також технологія SLAM використовує контрольні орієнтири, які також використовуються для позиціонування і зшивання хмари точок. Орієнтирами для сканера є тверді об'єкти такі як: будівлі, дерева, елементи рельєфу.

Також невід'ємною частиною збору геоданих є технологія GNSS, яка дозволяє прив'язати хмару точок до системи координат. [33]

GNSS (Глобальні Навігаційні Супутникові Системи) приймачі використовують сигнали від супутників для визначення точних координат на земній поверхні. Вони включають GPS (США), ГЛОНАСС (Росія), Galileo (ЄС) та BeiDou (Китай). [33]

ГНСС приймачі широко застосовуються для геодезичних зніманих великих територій. Вони дозволяють отримувати точні координати в будь-яких умовах. Приймачі використовуються для встановлення та підтримки геодезичних мереж, які служать базою для різних інженерних проектів. ГНСС приймачі дозволяють моніторити зміни рельєфу, що є важливим для інженерних та наукових досліджень. [33]

GPS, система глобального позиціонування (англ. Global Positioning System) – сукупність радіоелектронних засобів, що дозволяє визначати положення та швидкість руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері. Положення об'єкта обчислюється завдяки використанню розміщеного на ньому GPS-приймача, який приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту GPS-системи глобального позиціонування. Для визначення точних параметрів використовують приймачі системи глобального позиціонування. Сучасні GPS-приймачі застосовуються з найбільшою ефективністю при геодезичній зйомці, створенні і розвитку геодезичної мережі, створенні земельних кадастрів, моніторингу ділянок.[33]

Перевагами використання GPS є:

1. Точність до сантиметра: Сучасні GPS-приймачі можуть надавати координати з точністю до сантиметра, що дуже важливо для будівельних проектів, де потрібно точно визначити розміщення структур.

2. GPS-приймачі можуть працювати в реальному часі, що дозволяє геодезістам відстежувати рухи та зміни в режимі реального часу під час вимірювань.

3. GPS-технологія дозволяє виконувати вимірювання швидко та ефективно, зменшуючи час, необхідний для збору даних.[33]

### 3.2 Прилади, технічні засоби та програмне забезпечення для збору, опрацювання й аналізу геоданих із підтримкою SLAM

Сканер, який використовувався в моїй роботі – це ручний мобільний сканер компанії AlphaGeo Lixel Kity K1, продукт, створений на основі технології SLAM [34]

Скануюча система оснащена сенсором від компанії LIVOX. Livox MID-360 – це компактний гібридний 3D-лідар із круговим оглядом для низькошвидкісної робототехніки, навігації та SLAM, він забезпечує повний горизонтальний огляд на 360° і вертикальний на  $\approx 59^\circ$ [35]

Таблиця 3.1 Технічні характеристики Livox MID-360

Параметр	Значення
Модель	Livox MID-360
Довжина хвилі / клас безпеки	905 нм / Class 1 (IEC 60825-1:2014)
Поле зору (FOV)	Гор.: 360°; Вертикаль: -7°...+52° ( $\approx 59^\circ$ )
Мін. дистанція / типові дальності	0,1 м / 40 м, 10 % -70 м (100 клекс)
Точність дальності / кутова ( $1\sigma$ )	$\leq 2$ см @ 10 м; кутова $< 0,15^\circ$
Частота / швидкість точок	10 Гц (тип.) / 200 000 т/с (перший відгук)
Порт даних / синхронізація часу	100BASE-TX Ethernet; PTP (IEEE 1588v2), gPTP, GPS PPS+GPRMC

Ступінь захисту / t°	<b>IP67 / -20...+55 °C</b>
Живлення / споживання	<b>9–27 В DC / ≈ 6,5 Вт</b> (пікові – в режимі самонагріву)
Габарити / маса	<b>65×65×60 мм / ≈ 265 г</b>

Прилад має вагу 1 кілограм, час роботи однієї сесії сканування може тривати до 90 хвилин (час можна збільшити за допомогою додаткової батареї), також сканер оснащений внутрішнім SSD-диском ємністю 512 гігабайт, Модуль LiDAR, яким оснащено прилад має частоту випромінювання точок – 200 000 точок/с. [35]

Сканер працює разом з польовим контролером, на якому встановлений додаток LixelGo, через який здійснюється управління процесом сканування, отримання інформації про пристрій, його заряд батареї, ємність сховища, стан з'єднання з сканером. [36]

Постобробка результатів сканування відбувається в програмному забезпеченні LixelStudio, в якому отримана хмара точок:

LixelStudio – фірмове ПЗ компанії XGRIDS для постобробки даних мобільних/ручних LiDAR-сканерів Lixel (SLAM). Воно забезпечує імпорт, перегляд і редагування хмар точок, напівавтоматичну обробку та генерацію похідних продуктів (у т.ч. DEM/DSM), орієнтоване на швидкий інженерний цикл “збір → контроль якості → експорт”. [37]

Ключові можливості:

“One-click” постобробка SLAM-проектів із автоматичним замиканням петель (loop closure), видаленням динамічних об'єктів, перетвореннями координат, злиттям кількох проходів та PPK/RTK/GCP-узгодженням для покращення глобальної точності. [37]

Контроль якості: аналіз контрольних точок з формуванням статистичних звітів про похибки (RMSE), візуалізація траєкторій, перевірка щільності та швів між проходами. [37]

Інструменти вимірювань і аналізу: розрізи/січення (плани та профілі), виміри точок/відстаней/площ/кутів, обчислення об'ємів із формуванням звітів. [37]

Похідні продукти: формування кольорових хмар точок, DEM/DSM для обмірів і картографування (підтверджено прикладом застосування). [37]

Експорт: у поширені формати хмар/моделей (LAS/LAZ, PLY тощо) для подальшої роботи в фотограмметрії/ГІС/ВІМ. [37]

Під час роботи використовувався GNSS приймач AlphaGeo NetBox 2 (рис 2.5). GNSS прилад дозволяє виконувати вимірювання в різних умовах. Двохчастотний приймач підтримує режим зйомки RTK (Real Time Kinematic) – кінематичне з'єднання в реальному часі.[38] (рис 2.3)

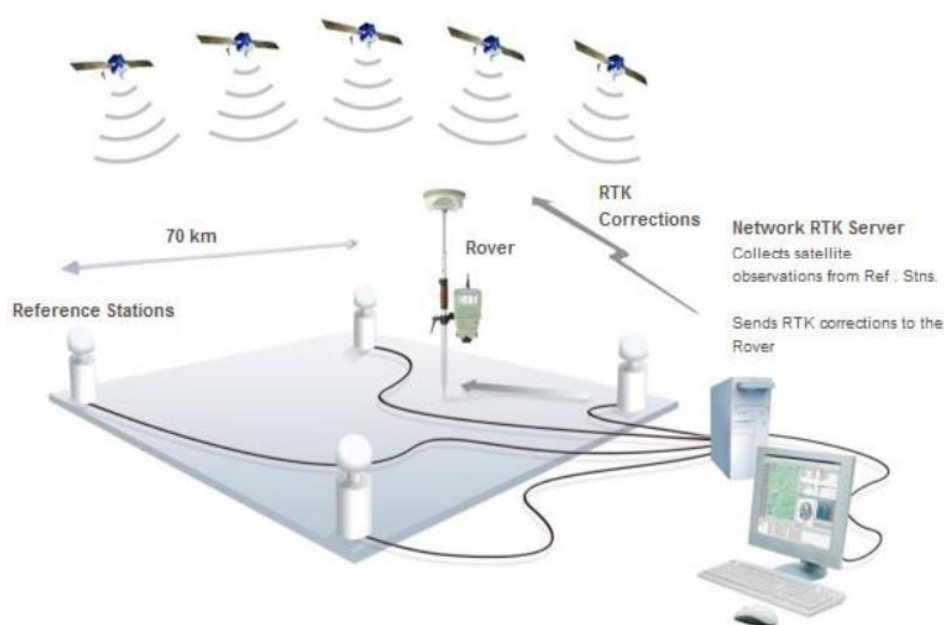


Рис 3.3 Принцип роботи RTK(зображення сформовано за допомогою порталу URL: <https://systemnet.com.ua/rtk/>)

Має 1408 канали та підтримує сигнали супутників: GPS, GLONASS, SBAS, GALILEO, BDS, QZSS. (рис 2.4)

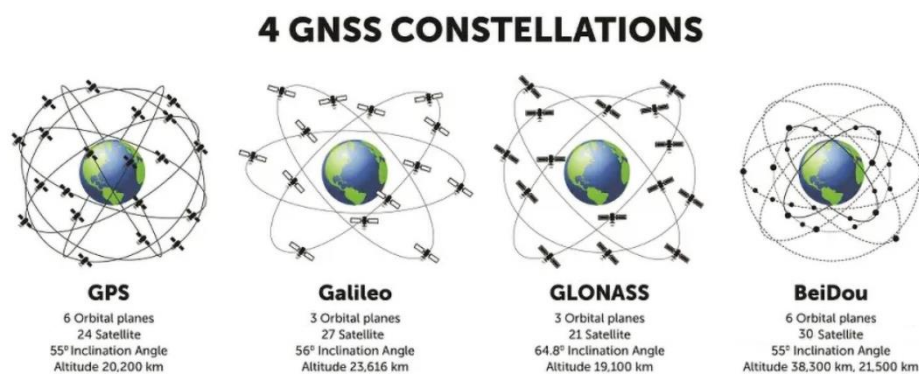


Рис 3.4 Сузір'я найбільш розвинених супутникових мереж (зображення сформовано за допомогою порталу: URL: <https://systemnet.com.ua/skilki-kanaliv-potribno-prijmachu-gnss-184-kanali-x5r-bilshe-nizh-dostatno/>)

Також ГНСС приймач має вбудований високопродуктивний 9-осьовий модуль ІМУ, який компенсує нахил віхи, завдяки якому максимальний кут нахилу може досягати 60 градусів. За даними виробника СКП (середня квадратична похибка) вимірювання в режимі РТК становить:

- в плані: 8 мм + 1 мм/км
- по висоті: 15 мм + 1 мм/км [38]



Рис 3.5 Комплект GNSS обладнання NetBox 2 (власне фото)

Приймач працює разом з програмним засобом SurPro 6.0, яке розроблене для роботи з приймачами AlphaGeo. Має дуже інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, з його допомогою можна виконувати геодезичні знімання, винос точок в натуру. Експорт точок можна виконати в різних форматах, що дозволяє працювати в різних програмних забезпеченнях на етапі постобробки.[39]

### 3.3 Особливості організації процесу збору геоданих для реєстру природоохоронних територій

Викладені нижче підходи до організації процесу збору геоданих ґрунтуються не лише на аналізі чинної нормативно-правової бази та сучасних технологій тривимірного знімання (LiDAR, SLAM), а й на попередніх наукових розробках автора. Зокрема, в публікації «Innovative approaches to creating a register of especially valuable nature protection territories» (Open Review Hub, 2024) було запропоновано структуру етапів наповнення реєстру ПЗФ та обґрунтовано доцільність використання мобільних сканувальних систем у випадку територій зі складними умовами зйомки.[40]

Виконання інструментального знімання проводилось за допомогою GNSS приймача AlphaGeo NetBox 2, лазерного сканера AlphaGeo Lixel Kity K1.

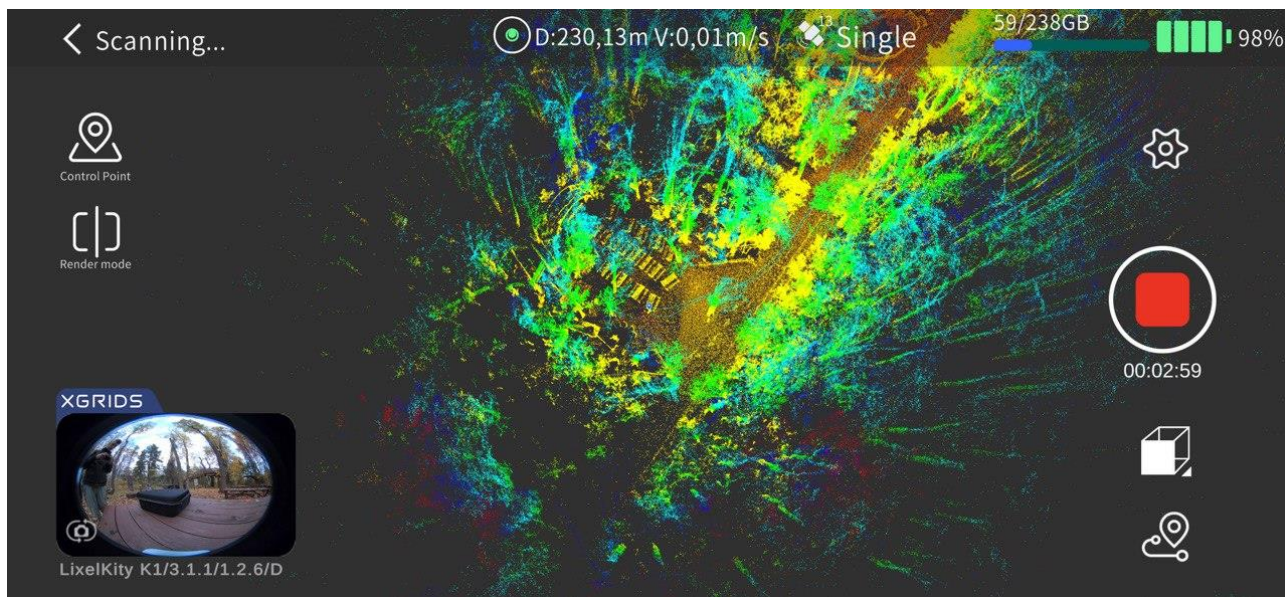


Рис 3.6 Процес збору геоданих за допомогою мобільного сканера з технологією SLAM – AlphaGeo Lixel Kity K1 (власне зображення)

В якості координатної основи використовувалась мережа постійно діючих референцних GNSS-станцій компанії Kyivstar. Базові станції визначені в системі координат УСК-2000(МСК-80) (3).

Координати опорних точок ділянки об'єкту дослідження визначались за допомогою GNSS приймача AlphaGeo NetBox 2. Спостереження виконувались в

режимі реального часу (RTK) з використанням референцних GNSS-станцій мережі Kyivstar.

Для формування коригувальних поправок застосовувалась технологія мережевого RTK Virtual Reference Station (VRS). RTK VRS – це мережа GPS-референсних станцій, які підключені до центрального сервера. Еталонні станції безперервно збирають та обробляють дані GPS, а потім сервер використовує ці дані для створення коригувального сигналу, який може бути використаний GPS-приймачами з підтримкою RTK.[41]

Сигнал корекції транслюється через Інтернет або спеціальну радіочастоту, що дозволяє користувачам досягати сантиметрової точності в режимі реального часу, без необхідності використання фізичної еталонної станції на місці. [41]

Суть RTK VRS полягає у підвищенні точності вимірювань GPS за рахунок диференціальних поправок. Для цього порівнюють дані, отримані еталонною станцією з відомими координатами, та показники мобільного приймача (GPS-приймач, смартфон чи планшет) у режимі реального часу. Еталонна станція безперервно спостерігає й обробляє сигнали, мобільний приймач робить те саме; далі обчислюють різницю (дельту) між цими наборами даних і формують сигнал корекції, який передають на мобільний приймач через Інтернет або спеціальний радіоканал. [41]

Мобільний приймач застосовує отримані поправки до власних вимірювань і, як наслідок, визначає положення значно точніше. Обчислення корекцій виконує сервер мережі VRS, що акумулює дані від усіх еталонних станцій. Отже, RTK VRS підвищує точність GPS, порівнюючи показники еталонних та мобільних вимірювань, формуючи на основі їхньої дельти коригувальний сигнал і використовуючи його для уточнення координат у реальному часі. [41]

Сканування виконувались на частині території ботанічного саду, загальною площею 7 га, яка містила елементи інфраструктури, такі як доріжки, лівневі лотки, декоративні мости, велику кількість флори, яка включали різні види

дерев та кущів. Процес збору даних відбувся за допомогою трьох сесій сканування з тривалістю 20 хвилин кожна.

За для забезпечення отримання якісної хмари точок важливо використовувати опорні точки.

Опорні точки (GCP) були розміщені по периметру та всередині полігона на стабільних, відкритих місцях (з кроком до 150 м у лісопаркових умовах) ці пункти були визначені за допомогою GNSS приймача. Не менш важливою складовою є планування маршрутів сканування. У нашому процесі збору даних, ми використовували траєкторію руху з петлями та з поверненням в точку старту, забезпечуючи перекриття суміжних проходів до 30-50%. У місцях з великою щільністю дерев виконували додаткові поперечні петлі. Рухались зі швидкістю 3-5 км/год, це дозволяє отримати якісну хмару точок з достатньою щільністю.

#### **3.4 Методика опрацювання отриманих геоданих для реєстру природоохоронних територій**

Камеральні роботи розпочались з обробки хмари точок, отриманої в процесі лазерного SLAM сканування, даний етап відбувався в програмному засобі LixelStudio, який дозволяє оптимізувати та прив'язати хмару до системи координат за допомогою контрольних точок, зафіксованих в процесі сканування.

Експортуємо файли сканування отримані в результаті збору геоданих. За допомогою даних з GNSS приймача, ми формуємо файл прив'язки хмари точок до необхідної нам системи координат.

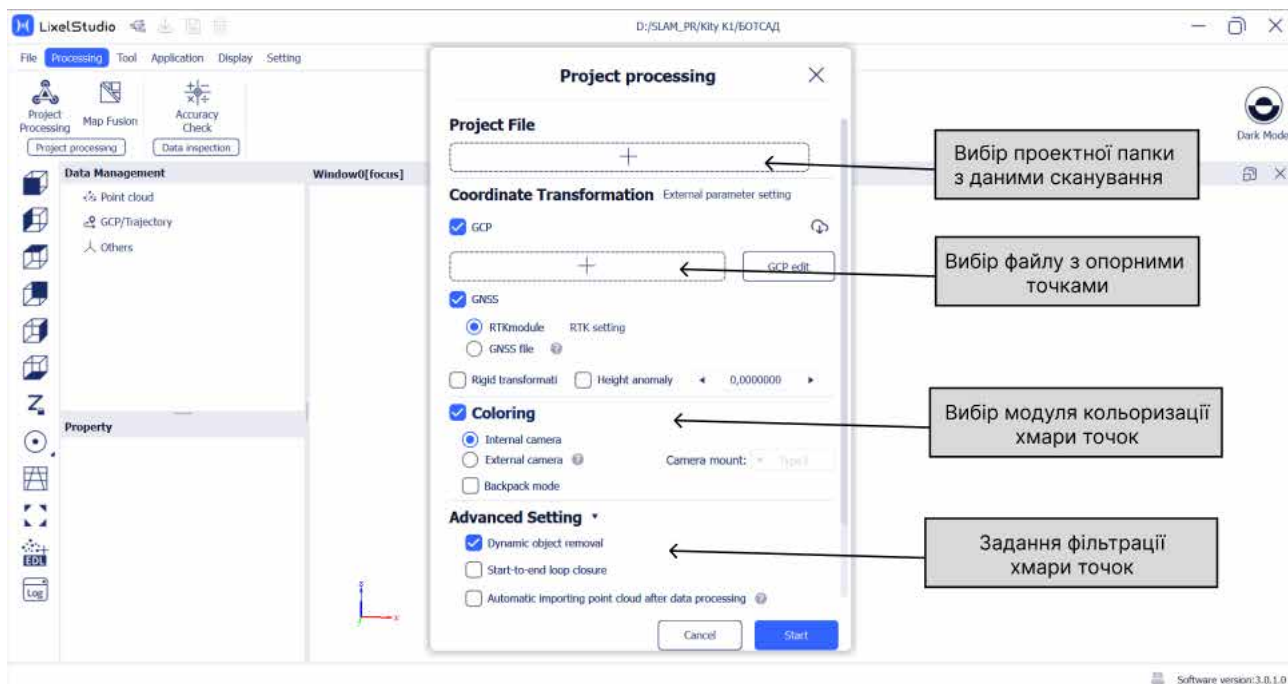


Рис. 3.7 Етапи опрацювання польових даних сканування в програмному засобі LixelStudio. (власне зображення)

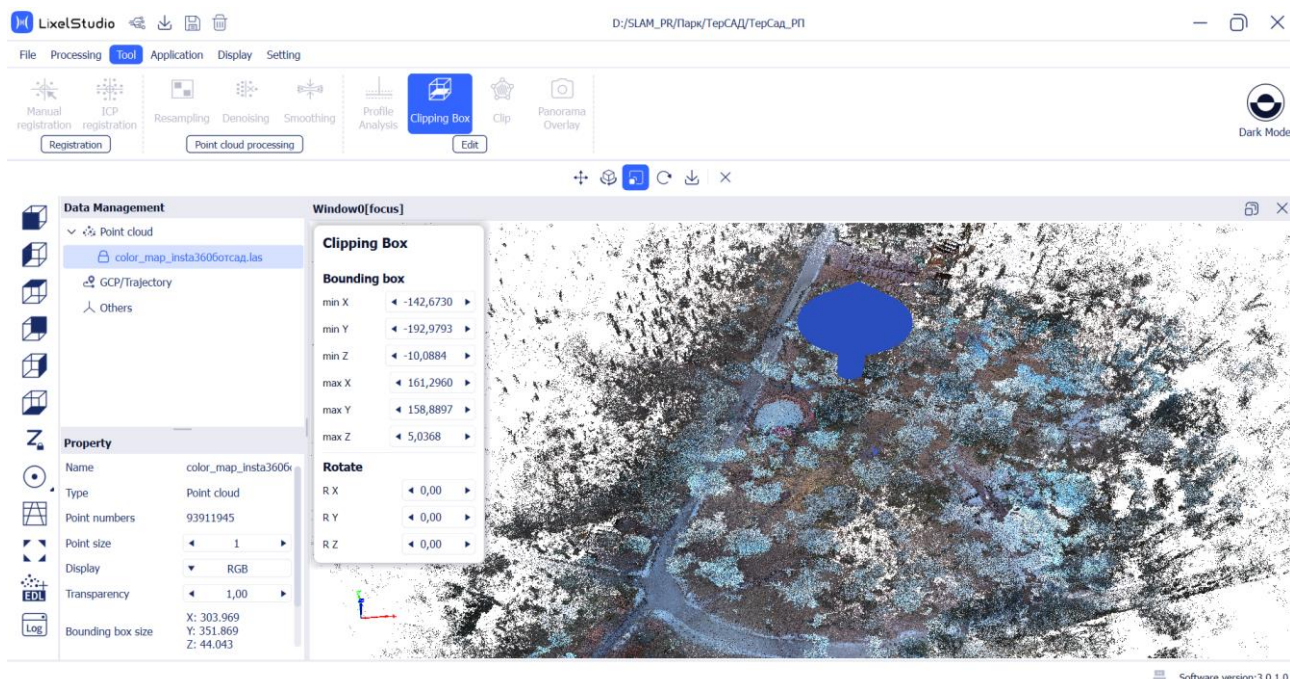


Рис. 3.8 Хмара точок в програмному застосунку LixelStudio після опрацювання (власне зображення)

Отримана хмара точок без подальшої обробки є корисним джерелом даних, ми можемо відобразити хмару в різних режимах: RGB хмара, Height-хмара, LiDAR intensity.

RGB хмара: Швидка інвентаризація МАФ і покриттів за текстурою/кольором. Зручна комунікація – ілюстрації для реєстру, стенди, Підвищує точність класифікації (поєднання геометрії та кольору).

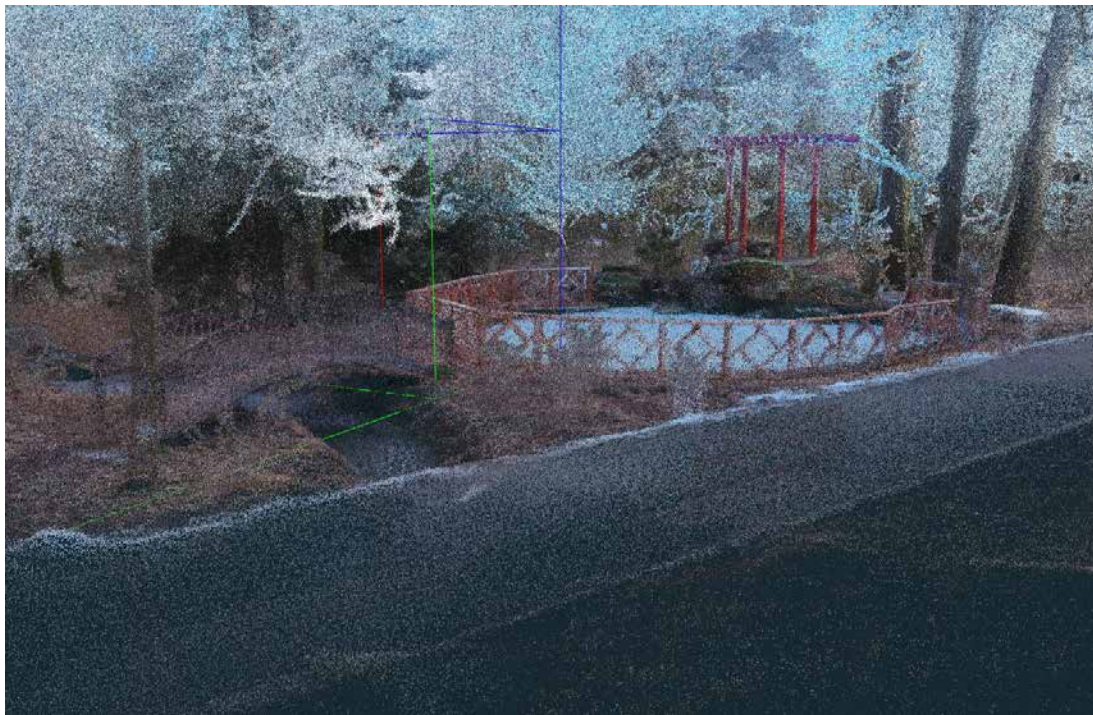


Рис. 3.9 Хмара точок з способом відображення RGB (власне зображення)

Height-хмара: Дозволяє оперативно виділити форм рельєфу та перепадів висот без побудови контурів. Підґрунтя для аналізу ухилів, експозицій, буферів ризику біля укосів і берегів. Добре працює для планування маршрутів доступності, водовідведення, розміщення чутливих колекцій.

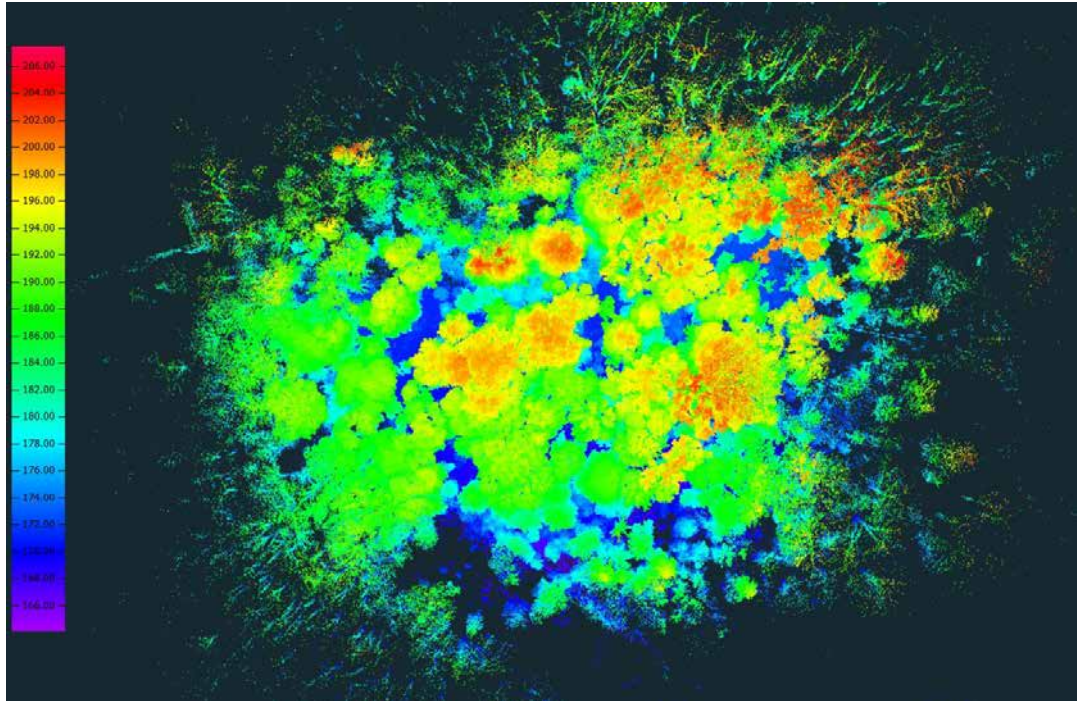


Рис. 3.10 Хмара точок з способом відображення Height (власне зображення)

LiDAR intensity: точки зафарбовані за силою поверненого сигналу: тверді/яскраві й гладкі поверхні (бетон, метал, дорожня розмітка) дають вищу інтенсивність; темні ґрунти, м'яка листова маса – нижчу.

Даний вид відображення полегшує виявлення лінійних об'єктів із контрастним відбиттям, навіть за слабкого освітлення. Краще читання меж водойм, доріжок. Забезпечує незалежність від освітлення робить режим корисним для контролю якості зйомок, виконаних у різний час.

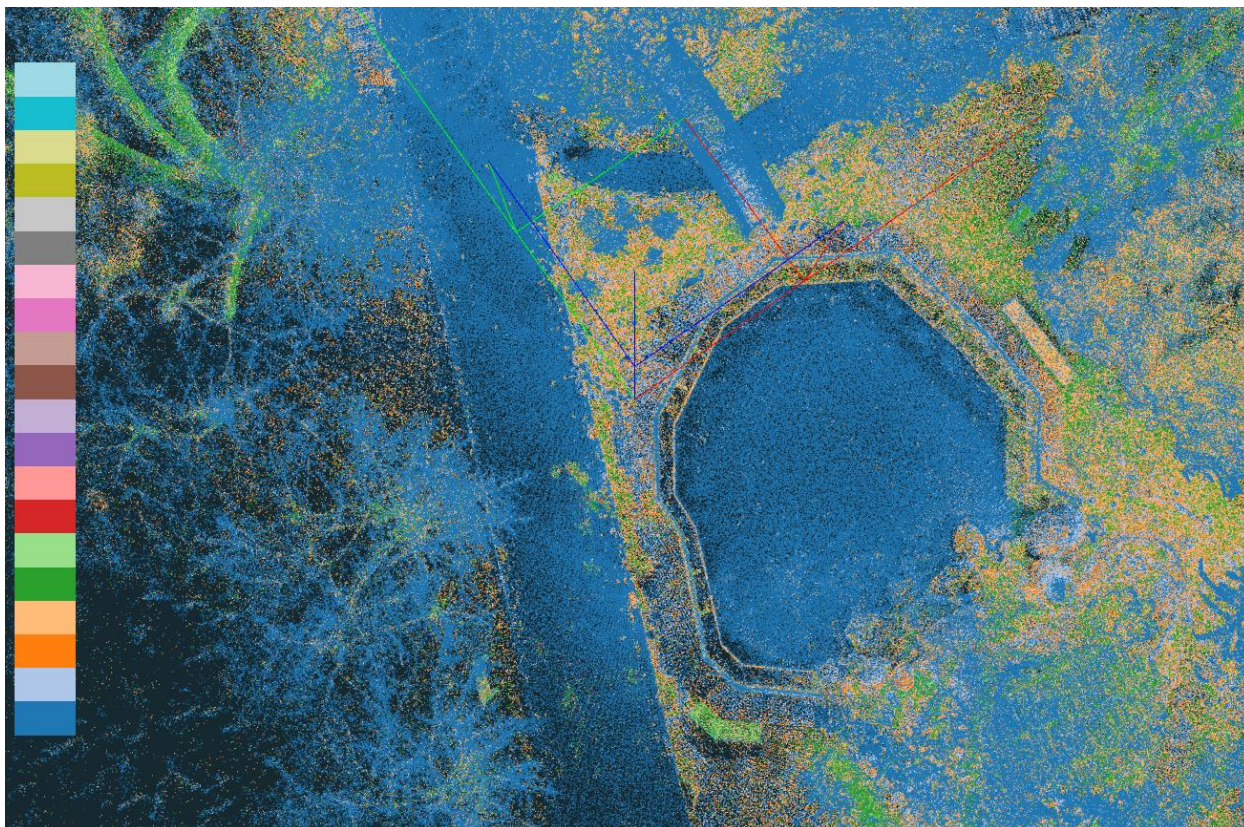


Рис. 3.11 Хмара точок з способом відображення Intensity (власне зображення)

### **3.5 Використання опрацьованих даних при створенні реєстру природоохоронних територій**

#### **3.5.1 Таксація деревних насаджень Ботанічного саду НУБіП України на основі SLAM-сканування**

Таксація дерев у ботанічному саду НУБіП – це не формальна інвентаризація зелених насаджень, а основа керованої, доказової охорони колекцій і території. Вона створює повний реєстр деревних особин із прив'язкою до координат, біологічними та розмірними показниками, історією догляду й оцінкою ризиків. Це дозволяє створити систему об'єктів із чіткою відповідальністю, прогнозованими потребами в утриманні та зрозумілими пріоритетами охорони. Для саду, який одночасно є науковою базою, навчальним полігоном і природоохоронною територією, така база даних дає можливість ухвалювати рішення не інтуїтивно, а на підставі вимірювань і динаміки стану кожного дерева.[42]

Таксація фіксує те, що неможливо якісно замінити жодною загальною оцінкою: видовий склад і походження таксонів; вікову, висотну та діаметрну структуру насаджень; здоров'я і життєвий стан, включно з дефектами стовбура, пошкодженнями крони, нахилом, ознаками грибних уражень чи порожнинами; взаємодію дерев із інфраструктурою – доріжками, бордюрами, підземними мережами – та потенційний вплив цієї взаємодії на безпеку відвідувачів. Усе це, доповнене датами обстежень і методиками вимірювань, формує історію кожної особини і дозволяє відстежувати зміни не загальною по кварталу, а адресно – у точці.[43]

Планування догляду, санітарних рубок, формувальних і санітарних обрізок, підсадок і замін починається не з вільних припущень, а з карти ризиків і переліку дерев із високим пріоритетом втручання. [43]

Хмара точок дозволяє відновити вісь стовбура і в автоматизованому режимі оцінити висоту, перевірити геометрію крони, уточнити діаметр заданій висоті через циліндричне наближення. Поєднання DTM/DSM, побудованих із класифікованої хмари точок, з польовими атрибутами дерева дає подвійний контроль якості: у геометрії – через RMSE координат і різницю висот, у біометрії – через похибки відносно наземних вимірів. [44]

За допомогою отриманої хмари точок ми можемо отримати наступні якісні і кількісні характеристики:

Саме для бот саду корисно отримати інформацію про: кількість дерев, їх параметри (висота, діаметр крони, діаметр стовбура, планове й висотне положення). Ці дані ми можемо отримати за допомогою програмного забезпечення TerraSolid TerraScan. [45]

Ми імпортуємо отриману хмару точок на робочу область і виконуємо наступні етапи класифікації:

1. Класифікація земної поверхні (розділення всіх інших об'єктів від земної поверхні), далі дані про земну поверхню можуть використовуватись для аналізу території об'єкту, обрахунку земляних мас і тд.



Рис 3.12 Виконання класифікації земної поверхні, вид збоку (власне зображення)

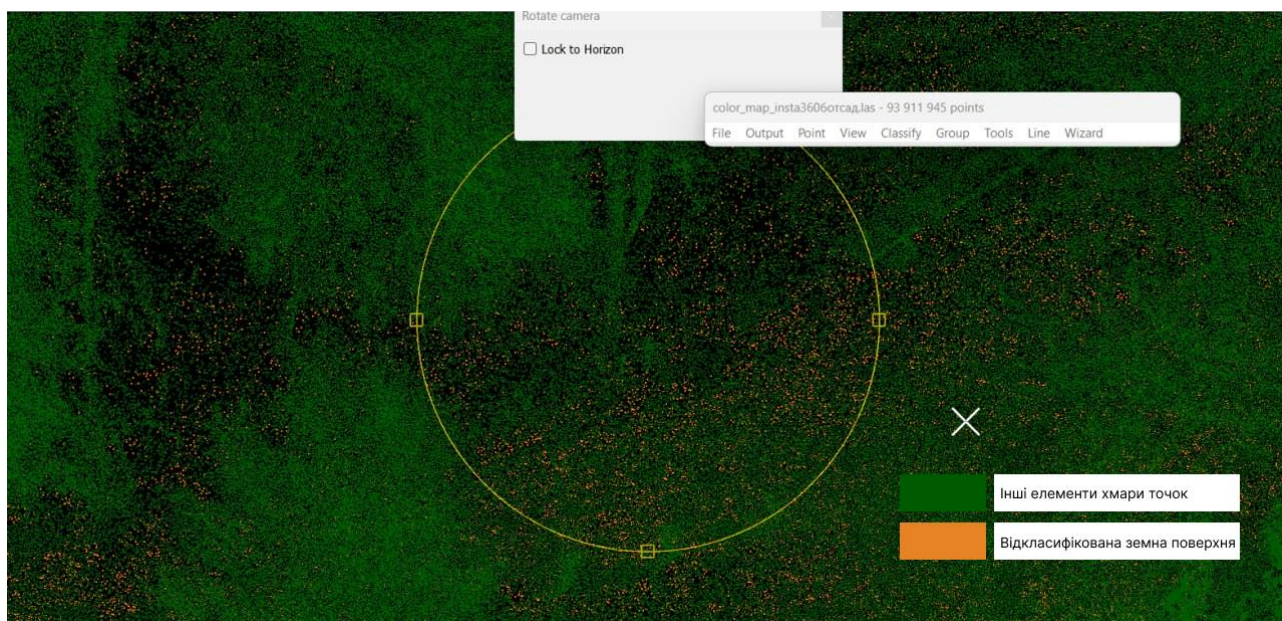


Рис 3.13 Виконання класифікації земної поверхні (власне зображення)

2. Наступним етапом є класифікації об'єктів низької і високої рослинності, під час якого дерева і високотрав'я буде розділено на окремі шари.
3. Далі ми виконуємо подеревну класифікацію, під час якої розділяємо кожне дерево один від одного

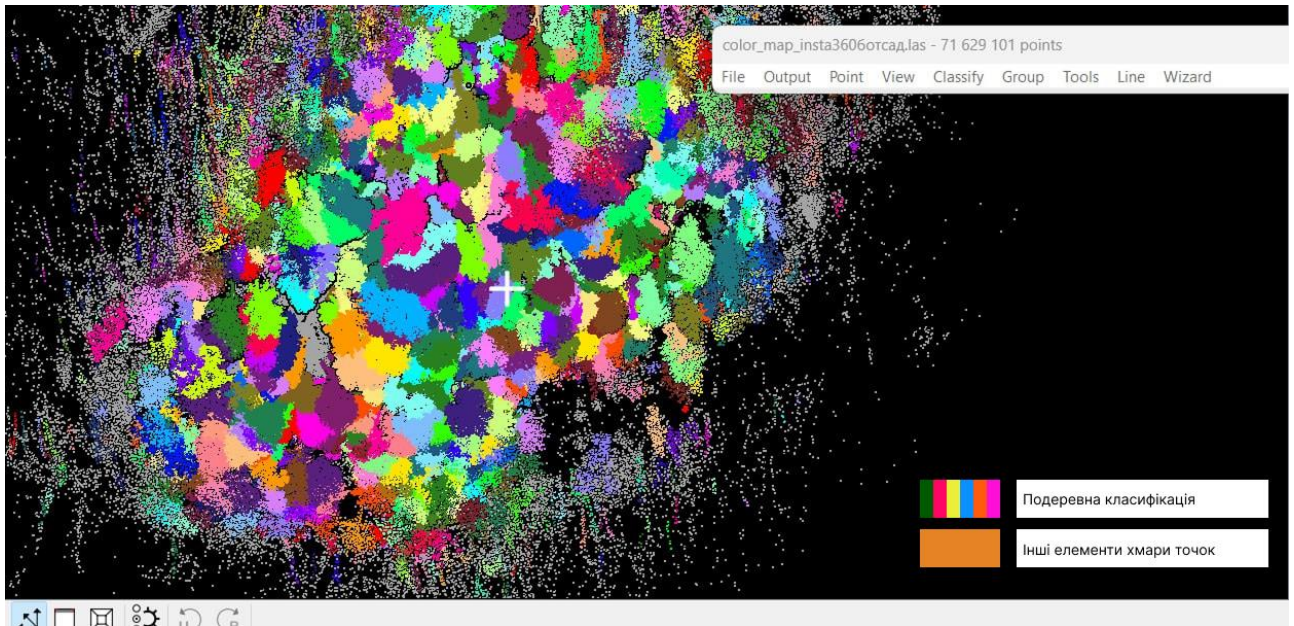


Рис 3.14 Виконана подеревна класифікація частини території ботанічного саду НУБіП України (власне зображення)

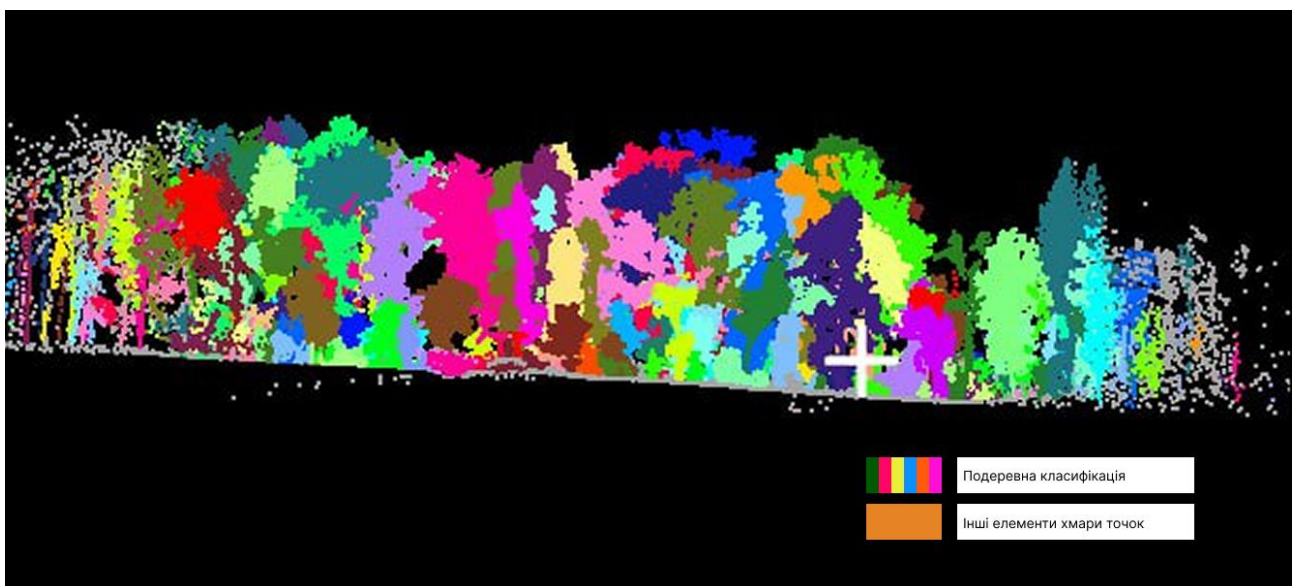


Рис 3.15 Виконана подеревна класифікація частини території ботанічного саду НУБіП України, вид збоку (власне зображення)

4. Формуємо звіт в якому отримуємо якісну інформацію про кожне дерево, яка може бути використана для ведення інвентаризації дерев використовуватись в реєстрі.

Координата Y ↓	Координата X ↓	Висотна відмітка ↓	Висота дерева ↓	Ширина крони ↓	Діаметр стовбура ↓
311099.255	5588459.700	106.245	12.285	4.9	0.00
311085.905	5588455.599	104.899	6.397	7.4	0.15
311098.579	5588460.203	105.003	9.931	5.6	0.00
311100.263	5588490.767	104.501	8.868	6.3	0.00
311097.560	5588493.504	104.553	13.636	9.5	0.37
311101.867	5588493.226	104.580	15.478	8.6	0.35
311059.458	5588515.821	103.816	9.817	7.7	0.24
311111.670	5588475.369	104.524	12.580	11.6	0.33
311108.529	5588473.288	104.609	13.908	10.0	0.00
311107.529	5588474.534	104.635	13.294	11.1	0.26
311090.561	5588527.838	103.835	14.092	10.2	0.31
311099.706	5588492.035	104.494	15.808	12.0	0.37
311099.643	5588496.379	104.581	7.785	6.8	0.00
311090.473	5588522.465	103.795	8.631	6.9	0.24
311059.252	5588478.210	104.332	9.566	9.5	0.00
311062.417	5588478.161	104.639	13.607	13.2	0.39
311066.393	5588503.840	104.567	14.173	8.8	0.40

Рис 3.16 Приклад отриманого звіту подеревної класифікації з наявними якісними характеристиками дерев (власне зображення)

### 3.5.2 Побудова цифрової моделі рельєфу території за даними SLAM

Цифрова модель рельєфу (DTM/DSM), побудована для території Ботанічного саду, є базовою просторовою опорою реєстру: вона надає метричний «каркас» висот, на який накладаються межі ділянок, інвентаризовані дерева, доріжки, інженерні мережі та водні об'єкти. Завдяки DTM з'являється можливість не лише фіксувати планове положення об'єктів, а й оцінювати їх у вертикальному вимірі – обчислювати абсолютні відмітки, різниці висот, профілі схилів, нахили та експозиції. Це безпосередньо впливає на якість управлінських рішень: на основі класів ухилу та експозиції визначаються ділянки з підвищеними ризиками ерозії й зсувів, місця потенційного вітровалу, зони, де

потрібні підпірні елементи, настили або зміна покриття стежок, а також оптимальні локації для підсадок і розміщення чутливих колекцій. [46]

Рельєф відкриває для реєстру повноцінний гідрологічний аналіз: за напрямками та накопиченням стоку виділяються вододіли, тимчасові протоки, пониження та зони можливого підтоплення після злив, що критично для догляду за біотопами днищ балок і прибережних смуг ставків. З технічного боку DTM/DSM інтегруються з даними SLAM як у побудові самих моделей, так і в контролі якості, а у базі даних реєстру фіксуються як окремі ресурси з метаданими. При повторних зйомках у різні роки різниці DTM/DSM та їхніх похідних перетворюються на інструмент моніторингу: фіксуються появи промоїн, просідання покриттів, зміни структури рослинності.[47]

Створити цифрову модель рельєфу допомагає програмне забезпечення 3DSurvey - це спеціалізований програмний комплекс для задач геодезії, картографії та землеустрою, який надає повний інструментарій для опрацювання просторових даних, побудови цифрових моделей рельєфу та їх подальшого аналізу.[48]

3DSurvey забезпечує формування високоточних ортофотопланів з аерофото-знімків із сантиметровим рівнем детальності, що робить їх придатними для широкого кола інженерно-геодезичних робіт, зокрема для планування будівництва та моніторингу стану земельних ділянок. ПЗ підтримує імпорт і повноцінну роботу з хмарами точок, отриманими як методом лазерного сканування, так і фотограмметрії, з можливістю їх фільтрації, редагування та класифікації для виокремлення будівель, рослинності, ґрунтових поверхонь тощо. Наявні інструменти автоматичної й ручної класифікації дозволяють розподіляти точки за класами, що значно спрощує подальше моделювання ЦМР/DTM та створення інших картографічних продуктів. [49]

Імпортуємо отриману хмару після класифікації земної поверхні, яка виконувалась, як етап таксації дерев. Створюємо 3D модель земної поверхні.

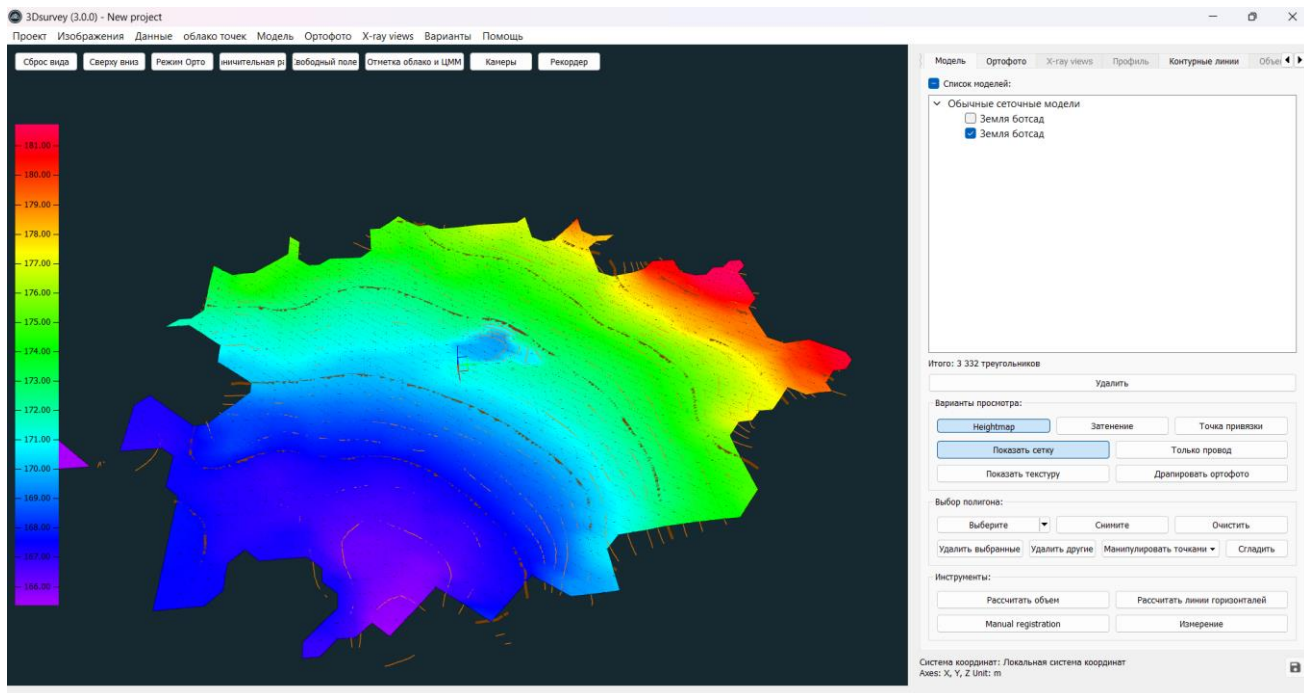


Рис 3.20 Результат створення цифрової моделі рельєфу частини ботанічного саду НУБіП України за допомогою програмного забезпечення 3DSurvey (власне зображення)

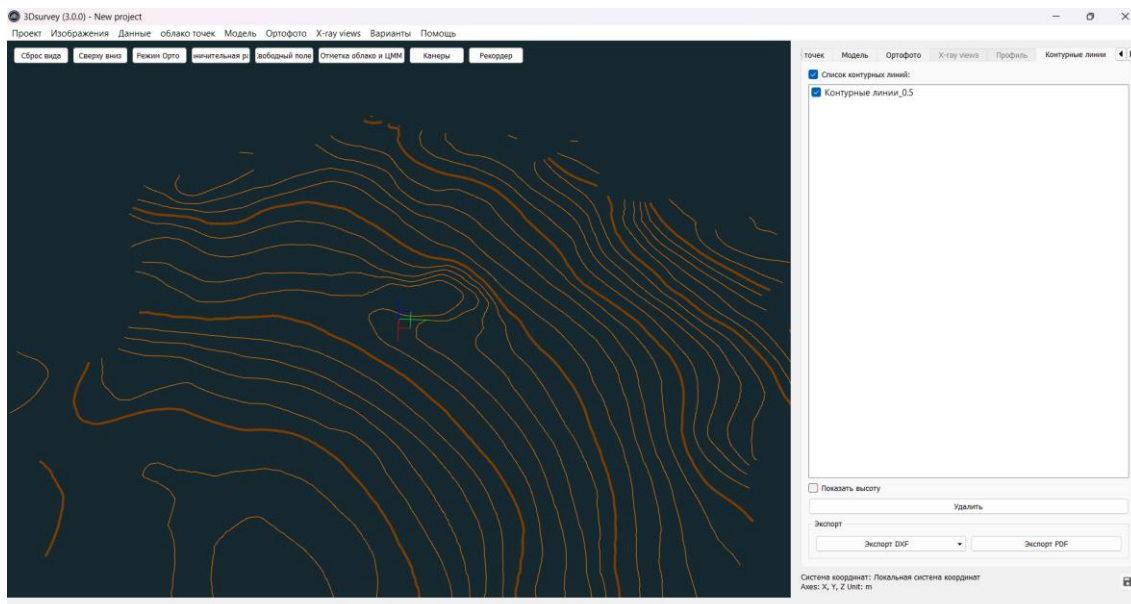


Рис 3.21 Побудова горизонталей на основі створеної цифрової моделі рельєфу частини ботанічного саду НУБіП України за допомогою програмного забезпечення 3DSurvey (власне зображення)

### 3.5.3 Використання технології 3DGS для створення інтерактивних 3D-турів Ботанічного саду НУБіП України

Технологія Gaussian Splatting (3DGS) дає змогу створювати фотореалістичні 3D-подання складних природних сцен на основі звичайного відео або серій зображень, якщо відомі параметри зйомки та траєкторія камери. У випадку ботанічного саду основою для цієї траєкторії виступає SLAM-сканування: саме воно забезпечує стабільні позиціонування і орієнтації, які перетворюють відеозйомку на метрично узгоджену, відтворювану в просторі послідовність. [50]

У ході оптимізації 3DGS навчає набір анізотропних «гаусіан» (напівпрозорих еліпсоїдів із кольором та щільністю), що колективно відтворюють освітленість і геометрію сцени; при рендерінгу це дає плавне й швидке зображення складних об'єктів – крони дерев, листя, трав'янистих площ – без важких полігональних сіток і без артефактів. [51]

У практичному сенсі така методика закриває саме ті проблеми, які найскладніше розв'язати традиційною фотограмметрією чи чистим лідарами. Листяне полотно дерев і кущів, дрібні гілки, напівпрозорі структури та складні тіні утворюють «тонку геометрію», що погано реконструюється трикутними сітками. Gaussian Splatting будує суцільну поверхню – натомість моделює оптичну густину сцени, тому листяні масиви виглядають природно. Для ботанічного саду це означає реалістичні віртуальні ділянки колекцій. [52]

Результат корисний у трьох напрямках. По-перше, комунікація та освіта: веб-тури ботсаду стають «живими», з природною передачею рослинних структур, гри світла й тіні, сезонних особливостей. Для відвідувача це не просто ортофото чи хмара точок, а візуально сцена, яка запускається в браузері за кілька секунд і дає можливість оглянути колекції з позиції пішохода. [53]

По-друге, включення в реєстр ПЗФ: кожна 3DGS-сцена розглядається як продукт даних із власними метаданими – геоприв'язкою, датою, сезоном, освітніми умовами. [53]

По-третє, моніторинг і наука: зберігаючи серії 3DGS-сцен за різні пори року та роки, можна аналізувати зміни облиствлення, приріст крон, втрату/додавання особин у кварталах; індексні метрики (площа видимої крони, оптична густина в заданому сегменті) стають проксі-показниками для екосистемних оцінок, доповнюючи «жорсткі» таксаційні виміри. [53]

При цьому важливо підкреслити, Gaussian Splatting не є «вимірювальним інструментом» у традиційному сенсі, тому для точних лінійних вимірів і профілів надалі необхідно використовувати DTM/DSM та вектори, одержані з лідара/SLAM. [54]

Дану 3DGS-сцену ми можемо отримати за допомогою програмного забезпечення Lixel Cyber Color.



Рис 3.17 Приклад опрацьованого 3D туру за допомогою Lixel Cyber Color з локаціями ботанічного саду НУБіП України (власне зображення)

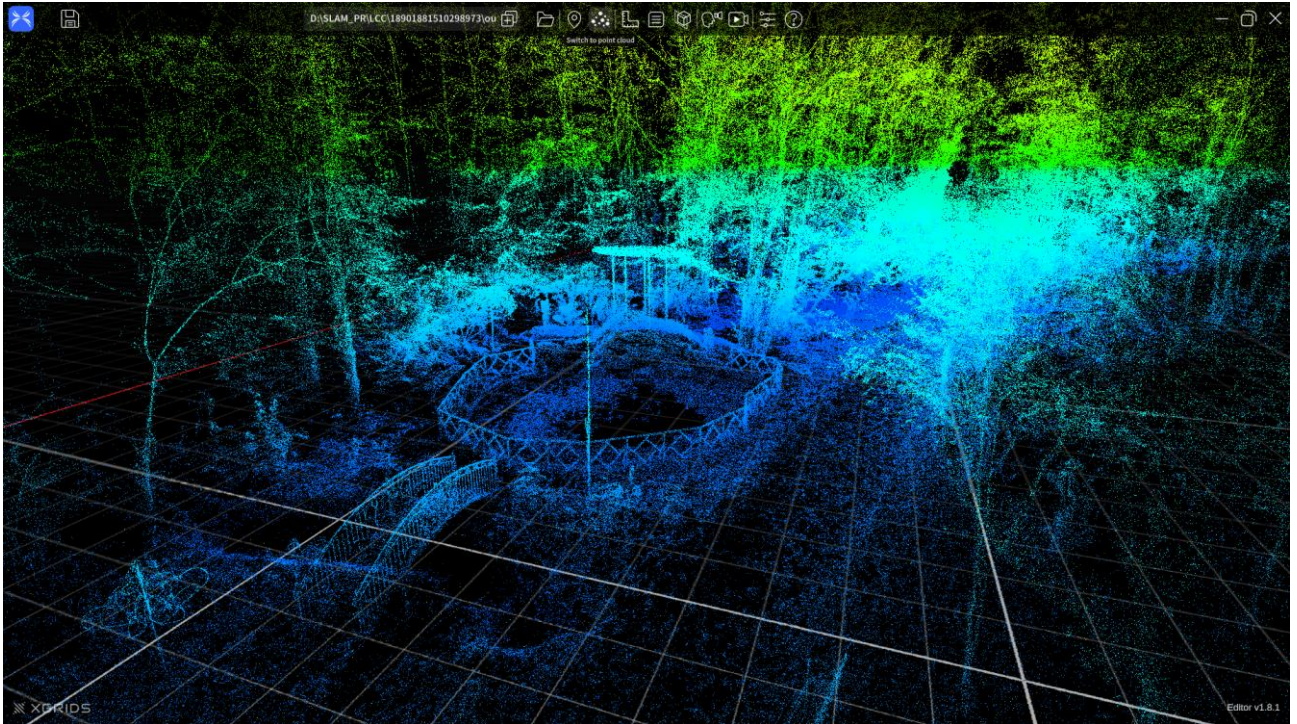


Рис 3.18 Приклад «каркасу» хмари точок, який необхідний для створення 3DGS за допомогою Lixel Cyber Color з локаціями ботанічного саду НУБіП України (власне зображення)

Lixel Cyber Color – це програмне забезпечення розроблене китайською компанією XGRIDS на базі Multi-SLAM + 3D Gaussian Splatting (3DGS) для швидкого створення фотореалістичних 3D-сцен із мобільних проходів. Акцент робиться на реалістичну візуалізацію великих територій і об’єктів із можливістю вимірювань та публікації 3D турів.[55]

Ботанічний сад НУБіП є відомим місце має 3D-тур виконаний за допомогою знімків 360 ° у Google Maps/Street, але за допомогою програмного забезпечення Lixel Cyber Color тур можна розширити за допомогою додаванням інтерактивної нотатки з інформацією про об’єкти саду, таксони, це робить екскурсію більш інформативною і якіснішою.

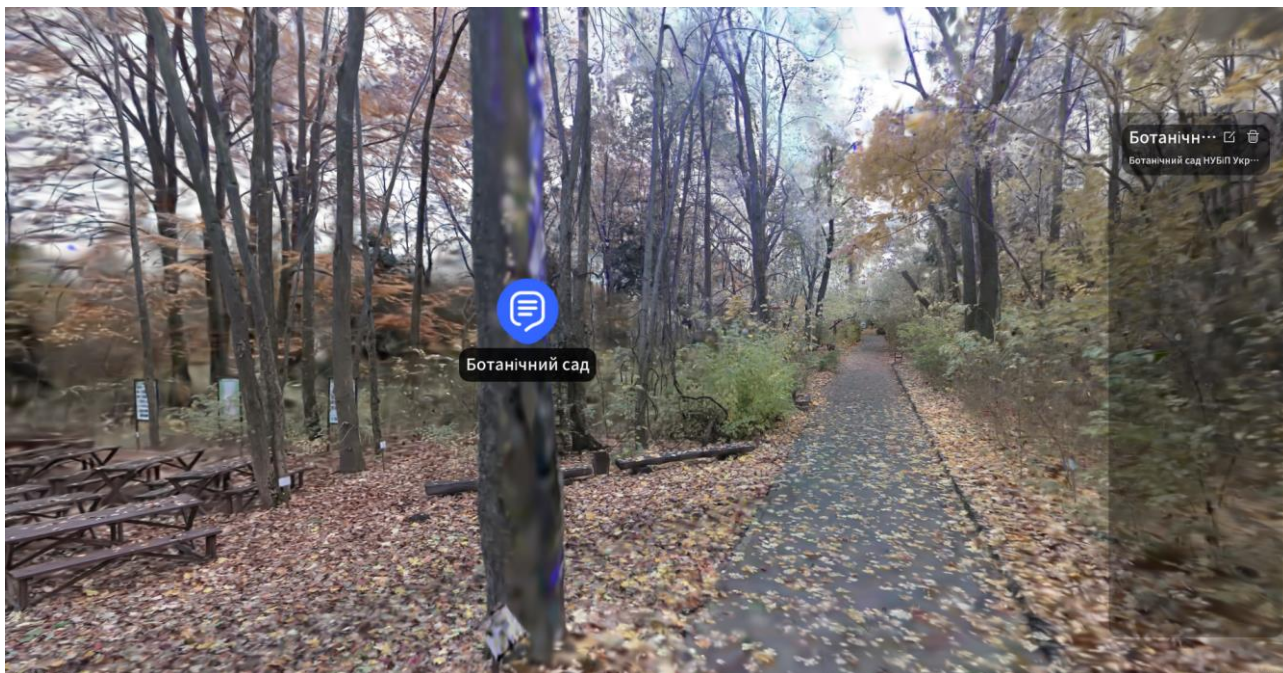


Рис 3.19 Приклад додавання інтерактивної нотатки на об'єкт ботанічного саду НУБіП України (власне зображення)

### 3.5.4 Створення інтерактивних карт і топографічних планів для реєстру територій природно-заповідного фонду

Використання технології SLAM для створення топографічних планів і інтерактивних карт у межах реєстру об'єктів природно-заповідного фонду дає змогу швидко та безпечно отримувати детальну геометрію складних територій – лісопарків, ботанічних садів, ярів, прибережних зон – там, де класична аерофотозйомка нераціональна а тахеометрична зйомка не ефективна. [56]

У польових умовах оператор проходить запроєктованими маршрутами з ручним SLAM-сканером, формуючи щільну хмару точок із прив'язаною траєкторією. Прив'язка до державної системи координат забезпечується через контрольні точки (GNSS/тахеометр), закладені на відкритих ділянках.

Згідно з Порядком з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, та 1:500, середні квадратичні похибки в положенні на плані предметів та контурів місцевості із чіткими контурами відносно найближчих точок знімальної основи не повинні перевищувати 0,6 мм, а в гірських та лісових районах - 0,9 мм у масштабі плану. На територіях з капітальною і багатоповерховою забудовою

середні квадратичні похибки у взаємному положенні на плані точок найближчих контурів (капітальних споруд, будинків тощо) не повинні перевищувати 0,5 мм.[57]

Виходячи із вимог Порядку з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, та 1:500, опубліковані оцінки точності сучасних SLAM-сканерів (AlphaGeo, NavVis VLX, Leica BLK2GO тощо) показують сантиметрові похибки (типово ~5–30 мм у приміщеннях, до кількох сантиметрів на відкритому просторі за правильної прив'язки й контролю), що істотно жорсткіше за наведену нормативну межу для 1:500[58]

Опрацювання даних відбувається в програмному засобі Autodesk AutoCAD - це система автоматизованого проектування та креслення для роботи у дво- і тривимірному середовищі, створена компанією Autodesk. Перша версія з'явилася у 1982 році. Програма й побудовані на її основі спеціалізовані модулі широко застосовуються в машинобудуванні, будівництві, архітектурі та суміжних галузях. Випущений у грудні 1982-го, AutoCAD став однією з перших САПР, що працювали на персональних комп'ютерах тоді як більшість альтернативних CAD-рішень того часу функціонували на великих ЕОМ. [59]

Починаючи з 2018 року має підтримку в роботі з хмарами точок. Програма дозволяє працювати з хмарию: змінювати стилі відображення, змінювати прозорість хмари, виконувати обрізку даних, змінювати деталізацію, всі ці інструменти допомагають краще ідентифікувати елементи території сканування і дають більшу повноту даних в порівнянні з традиційними методами знімання.

В середовище програми імпортується хмара точок, де за допомогою САД інструментів та додаткового плагіну з набором умовних знаків відбувається побудова плану.

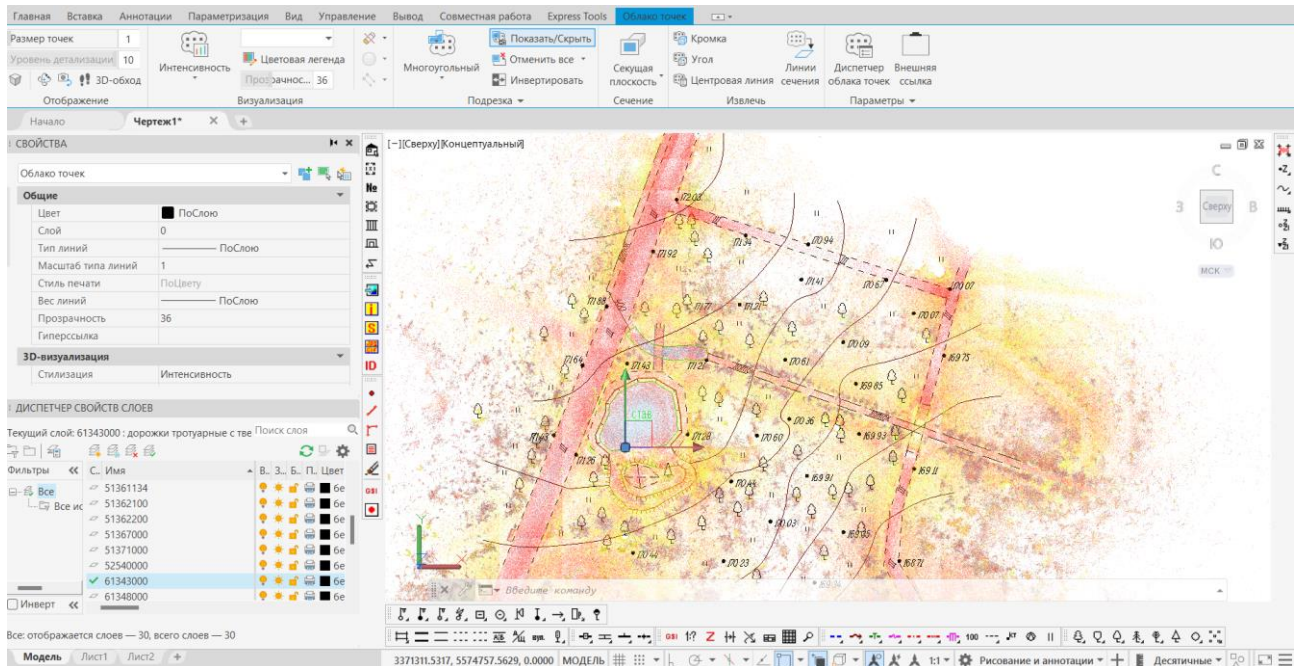


Рис 3.21 Приклад роботи з хмарою точок в програмному засобі Autodesk AutoCAD (власне зображення)

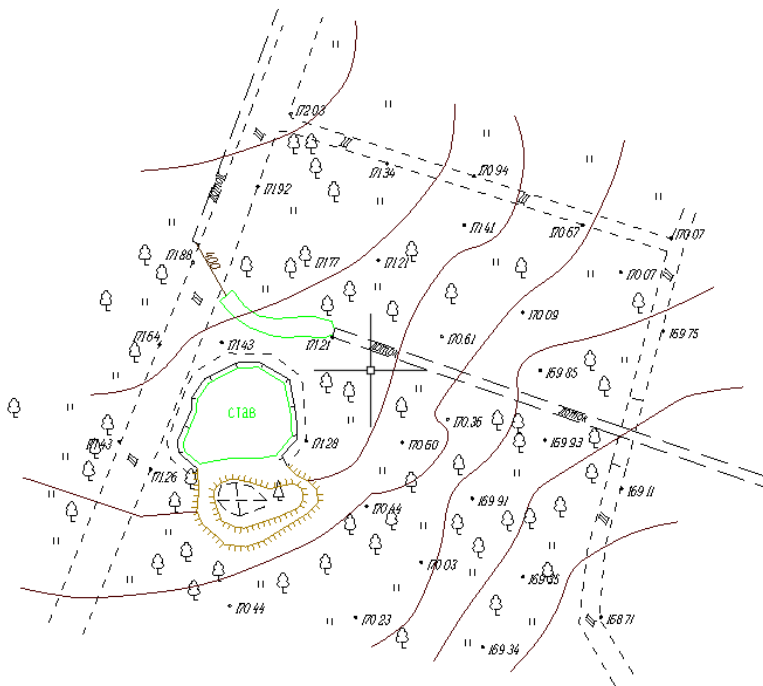


Рис 3.22 Приклад частини топографічного плану масштабу 1:500 отриманого з даних SLAM сканування. (власне зображення)

### 3.6 Оцінка ефективності та перспективи застосування технології SLAM у системі геоданих природоохоронних територій

Технологію SLAM доречно застосовувати до для різних категорій територій та об'єктів природно-заповідного фонду. SLAM вирішує швидше й безпечніше, ніж традиційні підходи, інвентаризаційні вектори, 3D-паспорти об'єктів, безпосередньо поповнюють реєстр ПЗФ.[60]

Нижче наведено короткі характеристики для кожної категорії, які фокусуються на трьох аспектах:

- типові цілі знімання (картування, таксація, аудит доступності/безпеки, гідрологія тощо);
- очікувані вихідні дані та їх практичне застосування;
- переваги SLAM у складних умовах під пологом насаджень, у зонах із розвиненим мікрорельєфом та насиченою малою інфраструктурою.

Комплексна пам'ятка природи (03.03.01.12).

SLAM забезпечує швидке суцільне 3D-знімання різномірних компонентів (рельєф, скельні виходи, рослинність, малі споруди) з побудовою DTM/DSM, інвентаризацією стежок і елементів охорони. Оптимально для базового картування, зонування та моніторингу змін.

Ботанічна пам'ятка природи (03.03.01.13).

Доцільний для таксаційно-просторового обліку дерев і кущів під пологом, визначення кроніметрії, щільності насаджень, маршрутів відвідування та оцінки доступності. Допоміжно - аналіз мікрорельєфу й локальних ризиків ерозії.

Зоологічна пам'ятка природи (03.03.01.14).

Підходить для інвентаризації стежок, бар'єрів, укриттів, точок спостереження й контролю доступу. Придатний для створення «тихих» маршрутів і оцінки видимості/інсоляції в місцях гніздувань; біотопну структуру рослинності фіксує опосередковано.

Гідрологічна пам'ятка природи (03.03.01.15).

Ефективний для високоточного DTM, виділення ліній стоку, понижень, прибережних бровок, мостів і гідротехнічних малих споруд. Корисний для карт ризику підтоплення та проектування настилів/берегоукріплень.

Геологічна пам'ятка природи (03.03.01.16).

SLAM доречний для детальної геометрії відслонень, гротів, валунів, створення 3D-паспортів геоспотів і аналізу безпеки маршрутів (укоси, уступи). Рельєфні профілі та ухили формуються без великої кількості стаціонарних стоянок.

Заповідне урочище (03.03.01.17).

Метод вибору №1 для великомасштабного картування під пологом: швидка зйомка стежкової мережі, інвентаризація МАФ/огорож, DTM/DSM/nDSM, карти ризиків (ерозія, зсуви), контроль «було/стало» без інвазивних робіт.

Ботанічний сад (03.03.02.01).

Максимально придатний: таксація дерев (позиція, висота, кроніметрія), інвентар стежок і покриттів, доступність (ширини/пороги), 3D-паспорт експозицій, мікрогідрографія для поливу/дренажу, регулярний моніторинг колекцій.

Дендрологічний парк (03.03.02.02).

Оптимальний для інвентаризації деревних колекцій та інфраструктури, оновлення план-схем експозицій і оцінки тіньового режиму. Додатково - аналіз локальних ухилів для догляду й безпеки відвідувачів.

Зоологічний парк (03.03.02.03).

Доречний для точних планів вольєрів, доріжок, бар'єрів, сервісних зон, перевірки габаритів і оглядовості маршрутів. Дає 3D-основу для планування безпеки та потоків відвідувачів.

Таблиця 3.2 Оцінка ефективності застосування технології SLAM для різних видів територій природно-заповідного фонду

Код	Вид ОЦЗ (місцевого значення)	Межі та фактичні контури	DTM/D SM, ухили, експозиції	Мікрогідрографія (лотки, пониження, стік)	Дерева/рослинність (позиція, кроніметрія)	Стежки, покриття, МАФ, огорожі	Доступність і безпека (ширини, пороги, бровки)	Ризики ерозії/зсувів/підтоплення	3D-паспорт об'єктів (моделі/сцени)	Моніторинг змін у часі
03.03.01.12	Комплексна пам'ятка природи	+	+	+	+	+	+	+	+	+
03.03.01.13	Ботанічна пам'ятка природи	+	+	◇	+	+	+	◇	+	+
03.03.01.14	Зоологічна пам'ятка природи	+	+	◇	◇	+	+	◇	+	+
03.03.01.15	Гідрологічна пам'ятка природи	+	+	+	◇	+	+	+	+	+
03.03.01.16	Геологічна пам'ятка природи	+	+	◇	◇	+	+	+	+	+
03.03.01.17	Заповідне урочище	+	+	+	+	+	+	+	+	+
03.03.02.01	Ботанічний сад	+	+	+	+	+	+	+	+	+
03.03.02.02	Дендрологічний парк	+	+	◇	+	+	+	◇	+	+
03.03.02.03	Зоологічний парк	+	+	◇	◇	+	+	◇	+	+

## ВИСНОВКИ

У підсумку дослідження підтверджено, що технологія SLAM є дієвим інструментом оптимізації всього циклу збору геоданих для створення реєстру особливо цінних природоохоронних територій. На прикладі ботанічного саду НУБіП продемонстровано, що правильно спроектована SLAM-зйомка, яка загалом тривала ~50-60 хвилин (3 сесії по 20 хвилин), було відскановано площу 7 га, для реєстрації хмари точок використовувалось 6 опорних точок в системі координат УСК-2000 (МСК-80). Процес сканування відбувався з замиканням петель. Етап пост опрацювання зайняв по 40 хв на кожну сесію сканування, в результаті попереднього опрацювання хмари точок було отримано дані придатні як для інженерних обмірів, так і для публічної комунікації результатів. Цей підхід суттєво скорочує витрати часу й повторних виїздів порівняно з традиційними методами (метод ГНСС-зйомки, тахеометрії).

Отримана хмара точок стала джерелом базових реєстрових продуктів: цифрової моделі рельєфу (DTM) і моделі поверхні (DSM), які були створені за допомогою програмного забезпечення 3DSurvey.

Ключовим результатом стала інтеграція таксації дерев із геометрією SLAM. З програмним засобом TerraSolid у реєстрі кожне дерево з використанням технології SLAM може отримати паспорт із координатами, біометричними показниками, класом стану, ризиками й медіа-посиланнями, що підвищило прозорість управлінських рішень і якість наукових спостережень.

Окремим досягненням є фотореалістична подача матеріалу через Gaussian Splatting на базі SLAM-траєкторій створена за допомогою LixelCyberColor. Час опрацювання якої становив 4 години. Поєднання метричної основи із 3DGS-сценами дало можливість створити легкі для WEB порталів, візуально правдиві представлення природних ділянок. Це підсилило освітню й комунікаційну складові реєстру (інтерактивні тури, поп-апи з паспортами об'єктів, демонстрація сезонності).

Обладнання та програмне забезпечення, застосований у роботі, довів практичну придатність для виробничих сценаріїв. Комбінація мобільного 3D-лідара з круговим FOV, інерціальних та GNSS-вимірювань, а також сучасних пакетів постобробки і класичних CAD/GIS-засобів забезпечила повний цикл – від збору до публікації.

З огляду на отримані результати доцільно рекомендувати інституційне закріплення методики з використанням технології SLAM: регламент сезонних оновлень, підтримка опорної мережі GCP, створення ЦМР, інтеграція веб-карт у комунікацію з відвідувачами, а також поступова автоматизація сегментації об'єктів на основі накопичених хмар точок. Це забезпечить масштабованість рішення й довгострокову сталість реєстру як інструмента охорони, моніторингу та обґрунтованого управління природною спадщиною.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Земельний кодекс України від 12.09.2025 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення: 12.09.2025).
2. Про природно-заповідний фонд України: Закон України від 16.06.1992 р. № 2456-ХІІ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> (дата звернення: 30.09.2025).
3. Emerald Network of Areas of Special Conservation Interest. Bern Convention: веб-сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.coe.int/en/web/bern-convention/emerald-network> (дата звернення: 12.09.2025).
4. Євсюков Т., Краснолуцький О. Концептуальні засади створення Державного реєстру особливо цінних земель // Землевпорядний вісник. – 2014. – № 12. – С. 23–30. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zv\\_2014\\_12\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zv_2014_12_8).
5. Про затвердження Інструкції про зміст та складання документації державного кадастру територій та об'єктів природно-заповідного фонду: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 20.09.2024 р. № 1175 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1724-24#n468> (дата звернення: 14.09.2025).
6. Про національну інфраструктуру геопросторових даних: Закон України від 13.04.2020 р. № 554-ІХ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20> (дата звернення: 14.09.2025).
7. Bennett R., Rajabifard A., Kalantari M., Wallace J., Williamson I. Cadastral Futures: Building a New Vision for the Nature and Role of Cadastres [Електронний ресурс]. – FIG, 2011. – Режим доступу: <https://www.fig.net> (дата звернення: 14.09.2025).
8. Голосіївський район Києва. Київ плюс: веб-сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kyivplus.info/golosiyivskij-rajon/> (дата звернення: 14.09.2025).

9. Мовчан М. М. Природно-заповідний фонд Києва: довідник. – Київ, 2001. – 64 с.
10. Клімат і рельєф Київської області. Історія міст і сіл Української РСР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrskr.com.ua/kiyivska/klimat-i-relyef-kiyivskoyi-oblasti-istoriya-zaselennya-kiyivshhini> (дата звернення: 14.09.2025).
11. Топографічна карта Голосіївський район: Топографічні мапи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://topographic-map.com> (дата звернення: 18.09.2025).
12. Національний природний парк «Голосіївський»: Ландшафти НПП «Голосіївський» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nppg.gov.ua/uk/node/43> (дата звернення: 30.10.2025).
13. Шевченко О. В., Ковальчук І. П., Стадник І. Ю. Ландшафтна структура та природоохоронна цінність Голосіївського лісового масиву м. Києва // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Географія». – 2019. – № 73. – С. 42–49.
14. Національний природний парк «Голосіївський» // Вікіпедія: вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=Національний\\_природний\\_парк\\_«Голосіївський»&oldid=40751461](https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=Національний_природний_парк_«Голосіївський»&oldid=40751461) (дата звернення: 18.09.2025).
15. Національний природний парк «Голосіївський» | Природно-заповідний фонд міста Києва [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pzf.kyiv.ua> (дата звернення: 18.09.2025).
16. Фауна. Національний природний парк «Голосіївський»: веб-сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nppg.gov.ua/uk/node/70> (дата звернення: 18.09.2025).
17. Природно-заповідний фонд Києва // Вікіпедія: вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Природно-заповідний\\_фонд\\_Києва](https://uk.wikipedia.org/wiki/Природно-заповідний_фонд_Києва) (дата звернення: 18.09.2025).

18. Ботанічний сад НУБіП України. Національний університет біоресурсів і природокористування України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nubip.edu.ua/botanichnyy-sad-nubip-ukrayiny> (дата звернення: 18.09.2025).

19. Про затвердження Положення про ботанічний сад загальнодержавного значення Національного університету біоресурсів і природокористування України: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 28.05.2012 р. № 277 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0277737-12#Text> (дата звернення: 18.09.2025).

20. Ботанічний сад Національного університету біоресурсів і природокористування України // Вікіпедія: вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Ботанічний\\_сад\\_Національного\\_університету\\_біоресурсів\\_і\\_природокористування\\_України](https://uk.wikipedia.org/wiki/Ботанічний_сад_Національного_університету_біоресурсів_і_природокористування_України) (дата звернення: 18.09.2025).

21. Кадастрова карта України: веб-сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kadastrova-karta.com/dilyanka/8000000000:79:306:0025> (дата звернення: 30.10.2025).

22. Wilson J. P., Gallant J. C. (eds.). Digital Terrain Analysis in Practice: The Science and Art of Using Digital Elevation Models. – Wiley, 2020.

23. Червона книга України. Рослинний світ / За ред. Я. П. Дідуха. – К.: Глобалконсалтинг, 2009.

24. Siafali E., Polychronos V., Tsioras P. A. Fusion of Airborne, SLAM-Based, and iPhone LiDAR for Accurate Forest Road Mapping in Harvesting Areas // Land. – 2025. – Vol. 14, No. 8. – Art. 1553. – DOI: 10.3390/land14081553.

25. Kerbl B., Kopanas G., Leimkühler T., Drettakis G. 3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering // ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH). – 2023.

26. Білявський Н. Д. (та ін.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2025/jun/39484/bilyavskyynazariydanyliv-5-16.pdf> (дата звернення: 18.09.2025).
27. What is LiDAR? IBM веб-сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ibm.com/think/topics/lidar> (дата звернення: 18.09.2025).
28. EOSDA: Лідер у галузі супутникової зйомки та геопросторової аналітики. EOS Data Analytics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eos.com/uk/> (дата звернення: 18.09.2025).
29. vSLAM – MATLAB & Simulink. MathWorks [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/vision/visual-simultaneous-localization-and-mapping-slam.html> (дата звернення: 18.09.2025).
30. Інерційний вимірювальний пристрій // Вікіпедія: вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Інерційний\\_вимірювальний\\_пристрій](https://uk.wikipedia.org/wiki/Інерційний_вимірювальний_пристрій) (дата звернення: 18.09.2025).
31. Inertial Measurement Unit (IMU) – An Introduction. Advanced Navigation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.advancednavigation.com/tech-articles/inertial-measurement-unit-imu-an-introduction/> (дата звернення: 18.09.2025).
32. Тривимірні хмари точок: що це таке і навіщо потрібно? – SystemNET – «Систем Солюшнс» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://systemnet.com.ua/novini/trivimirni-xmari-tochok-shho-ce-take-i-navishho-potribno/> (дата звернення: 18.09.2025).
33. Анисенко О. В. Сучасні геодезичні прилади, їх значення і роль у геодезичних вимірюваннях // Інвестиції: практика та досвід. – 2019. – № (економічна наука). – С. 81–82.

34. XGRIDS – 3D Reconstruction – Spatial Computing – Handheld Scanner [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.xgrids.com/lixelk1?utm\\_source=](https://www.xgrids.com/lixelk1?utm_source=) (дата звернення: 18.09.2025).
35. Livox Mid-360. LiDAR Sensors – Livox [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.livoxtech.com/mid-360> (дата звернення: 18.09.2025).
36. XGRIDS – Support – LixelGO: downloadable materials [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.xgrids.com/support/download?page=LixelGO&utm\\_source=](https://www.xgrids.com/support/download?page=LixelGO&utm_source=) (дата звернення: 18.09.2025).
37. XGRIDS – LixelStudio [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.xgrids.com/lixelstudio?utm\\_source=](https://www.xgrids.com/lixelstudio?utm_source=) (дата звернення: 18.09.2025).
38. Геодезичний приймач ГНСС AlphaGEO NetBOX2. GEOSHOP: інтернет-магазин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geoshop.com.ua/products/geodezichnij-prijmach-gnss-alphageo-netbox2> (дата звернення: 18.09.2025).
39. Розширення програмного забезпечення AlphaGEO SurPro 6 GNSS до FULL. GEOSHOP: інтернет-магазин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.geoshop.com.ua/products/rozshirennya-programnogo-zabezpechennya-alphageo-surpro-6-gnss-do-full> (дата звернення: 18.09.2025).
40. Ковтун В. М., Дорош Л.І., Куценко О. О., Матвійчук Д. Ю. Innovative approaches to creating a register of especially valuable nature protection territories [Електронний ресурс] // Open Review Hub. – 2024. – Режим доступу: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2024/innovative-approaches-creating-register-especially-valuable-nature-protection> (дата звернення: 06.11.2025).
41. What is RTK VRS: A Guide on the Technology. Global GPS Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://globalgpssystems.com/gnss/what-is-rtk-vrs-a-guide-on-the-technology/#:~:text=RTK%20VRS...> (дата звернення: 18.09.2025).

42. Лісова таксація – невід’ємна складова процесу управління лісами! Державне агентство лісових ресурсів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://forest.gov.ua/news/lisova-taksatsiia-nevidiemna-skladova-protsesu-upravlinnia-lisamy> (дата звернення: 10.10.2025).

43. Лісова таксація і лісовпорядкування: електронний підручник. МЛТК [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mltkcloud.lcloud.in.ua/ebook/442> (дата звернення: 10.10.2025).

44. Аналіз даних хмари точок: методи та застосування. Гео-Плюс [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geo-plus.com/uk/аналізування-точкових-хмарних-даних/> (дата звернення: 10.10.2025).

45. Create a macro. Terrasolid – Software for Point Cloud and Image Processing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://terrasolid.com/guides/tscan/macreate.html> (дата звернення: 10.10.2025).

46. Use a DSM to derive DTM values – ArcGIS Pro Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/use-a-dsm-to-derive-dtm-values.htm> (дата звернення: 10.10.2025).

47. U.S. Geological Survey. Use of slope, aspect, and elevation maps derived from digital elevation model data in making soil surveys [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.usgs.gov/publications/use-slope-aspect-and-elevation-maps-derived-digital-elevation-model-data-making-soil> (дата звернення: 10.10.2025).

48. Best-in-Class Point Cloud. 3Dsurvey [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3dsurvey.si/products/3dsurvey/mapping-processing/#point-cloud> (дата звернення: 10.10.2025).

49. 3D Survey Photogrammetry Software Perpetual License. 3D Mapping Tools [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3dmappingtools.com/products/3d-survey-processing-software-perpetual-license> (дата звернення: 10.10.2025).

50. 3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering. Test Page for the HTTP Server on Fedora [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://repo-sam.inria.fr/fungraph/3d-gaussian-splatting/> (дата звернення: 10.10.2025).

51. 3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering. arXiv.org [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2308.04079> (дата звернення: 10.10.2025).

52. A Survey on 3D Gaussian Splatting. arXiv.org e-Print archive [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/html/2401.03890v3> (дата звернення: 10.10.2025).

53. Use a DSM to derive DTM values – ArcGIS Pro Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/use-a-dsm-to-derive-dtm-values.htm> (дата звернення: 10.10.2025).

54. Gaussian splatting // Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian\\_splatting](https://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian_splatting) (дата звернення: 10.10.2025).

55. XGRIDS – LCC – 3D Reconstruction – Spatial Computing – Handheld Scanner [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://xgrids.com/lcc> (дата звернення: 10.10.2025).

56. Everything you need to know about topographic surveying with SLAM scanners. NavVis [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.navvis.com/technology/topographic-surveying> (дата звернення: 24.10.2025).

57. Про затвердження Порядку з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 17.04.2025 р. № 1675 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0868-25#Text> (дата звернення: 24.10.2025).

58. Assessment of NavVis VLX and BLK2GO SLAM Scanner Accuracy for Outdoor and Indoor Surveying Tasks // Remote Sensing. – MDPI, 2025. – 16(17): 3256 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/17/3256> (дата звернення: 24.10.2025).

59. AutoCAD // Вікіпедія: вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/AutoCAD> (дата звернення: 24.10.2025).

60. Fusion of Airborne, SLAM-Based, and iPhone LiDAR for Accurate Forest Road Mapping in Harvesting Areas. MDPI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2073-445X/14/8/1553> (дата звернення: 24.10.2025).