

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ОБЛІКУ ТА ОЦІНКИ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ SLAM-ТЕХНОЛОГІЇ (НА ПРИКЛАДІ БОТАНІЧНОГО САДУ НУБІП УКРАЇНИ)

Євсюков Тарас¹, Куценко Олексій^{2*}

¹ Кафедра геодезії та картографії, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, *e-mail: kutsenkijob@gmail.com

Анотація. У роботі розглянуто інноваційні підходи до обліку та оцінки лісових ресурсів із використанням сучасних технологій. Дослідження спрямоване на забезпечення збалансованого розвитку земель лісогосподарського призначення шляхом посилення їхніх екологічних, соціальних та економічних функцій, а також охорони, раціонального використання і відтворення лісів. Особливу увагу приділено застосуванню технології мобільного 3D-сканування на основі SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) для збору просторових даних, що можуть бути інтегровані у лісовий кадастр та використані для таксації та інвентаризації лісів. На прикладі модельного об'єкта – Ботанічного саду НУБіП України площею 47,5 га – продемонстровано можливості SLAM-сканування для формування високоточної хмари точок і побудови тривимірних моделей лісових насаджень. Отримані результати підтвердили ефективність та точність мобільного лазерного сканування, що відкриває нові перспективи для удосконалення системи обліку та моніторингу лісових ресурсів в Україні.

Ключові слова: 3D сканування, SLAM, хмара точок, лісовий кадастр, інвентаризація лісів.

Актуальність теми дослідження

Важливою складовою підвищення екологічного та ресурсного потенціалу лісів і ведення лісового господарства є формування достовірної, повної і своєчасної інформації про лісовий фонд України. Сучасні виклики, пов'язані з інтенсивною антропогенною діяльністю, кліматичними змінами та воєнними діями, зумовлюють необхідність переходу від традиційних методів таксації та обліку лісів до використання новітніх технологій. Зокрема, надзвичайно важливим є впровадження інноваційних рішень у сфері кадастрових робіт, що дозволяють не лише визначати чіткі межі лісових ділянок, а й формувати їх тривимірні просторові моделі. У цьому контексті перспективним напрямом є застосування технології мобільного 3D-сканування на основі SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), що забезпечує швидкий і точний збір просторових даних навіть у складних умовах лісових територій. Використання цієї технології сприятиме удосконаленню процесів інвентаризації та моніторингу лісів, інтеграції даних у геоінформаційні системи, а також створенню лісового кадастру, що відповідає міжнародним стандартам сталого управління природними ресурсами.

Методика

Сучасні супутникові та геоінформаційні технології істотно трансформували систему збору й опрацювання кадастрових даних. Використання матеріалів дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності забезпечує детальний рівень просторової інформації, що може слугувати основою для створення кадастрових карт та

картографування лісових територій. Поєднання ГІС і GPS відіграє ключову роль у розробленні методів інвентаризації, визначенні меж лісових масивів і складанні лісових карт (Vogiatzis, 2014). Аналіз останніх наукових праць свідчить про активний розвиток підходів до збалансованого використання та реформування лісового господарства, зокрема щодо організації територій та впровадження ГІС-технологій (Barba et al., 2019; Lendel, Zhulkanych, 2018; Kozka, 2020a, b). У дослідженні Hong (2016) було запропоновано комплексний метод поєднання даних БПЛА та ГІС для підвищення ефективності виділення меж лісових ділянок, який набув широкого поширення у сфері просторового аналізу.

З інтенсивним розвитком технологій тривимірного моделювання та геодезичного обладнання перспективним напрямом стала технологія мобільного 3D-сканування на основі SLAM. Вона дає змогу швидко й точно збирати дані про рельєф, будівлі та елементи інфраструктури в режимі реального часу завдяки використанню високопродуктивних лазерних сканерів (Kovtun et al., 2024).

Отримані геопросторові дані забезпечують можливість ідентифікації місця розташування, властивостей та меж природних і антропогенних об'єктів на поверхні Землі. Основною перевагою використання інноваційних методів, зокрема SLAM-технологій, є можливість підтримувати інформацію про стан лісового фонду в актуальному вигляді, що значно підвищує ефективність обліку та моніторингу лісових ресурсів.

Виклад основного матеріалу

Об'єктом дослідження обрано територію Ботанічного саду Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП), що розташований у м. Києві. Це структурний підрозділ університету, у складі якого функціонує шість наукових лабораторій: дендрології та лісової селекції, плодово-овочевих культур, квітникарства, екології рослин, зоології та зеленого будівництва.

З огляду на значну площу території Ботанічного саду було прийнято рішення використати мобільний лазерний сканер ALPHAGEO SLAM 100 для отримання просторових даних. Однією з ключових переваг застосування приладу ALPHAGEO SLAM R100 стало суттєве скорочення тривалості польових робіт: процес сканування всієї території тривав близько 50 хвилин, що на порядок швидше за виконання аналогічного обсягу робіт традиційними методами із залученням геодезистів, електронного тахеометра, GNSS-приймача та лазерної рулетки.

Пост опрацювання отриманих даних здійснювалася у програмному середовищі LixelStudio, де виконувалися такі операції: очищення хмари точок від шумів; прив'язка даних до системи координат; видалення «мувів» (усіх рухомих об'єктів – людей, тварин, рухомих механізмів тощо); кольоризування хмари точок (рис. 1а).

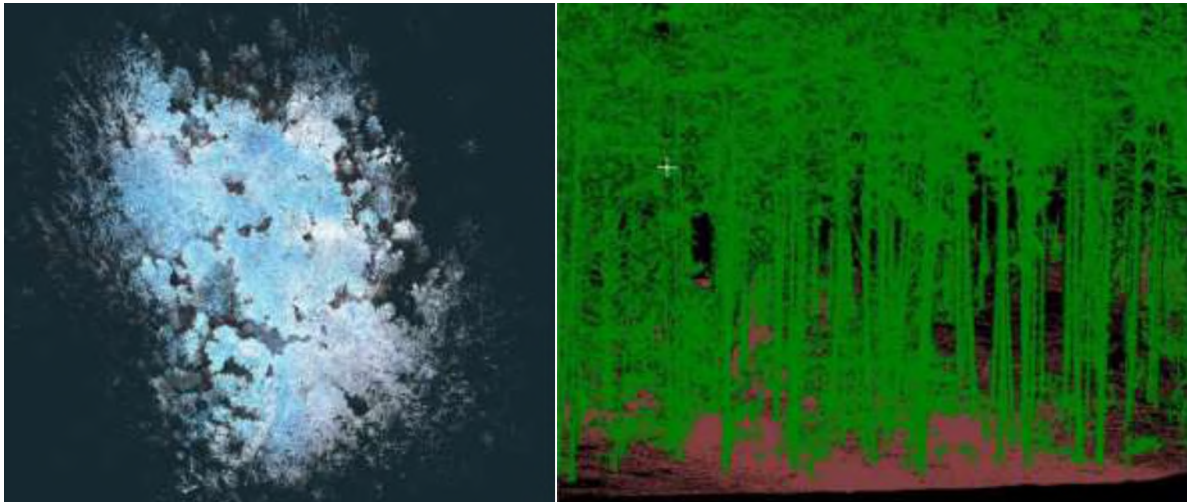


Рисунок 1. а) Кольоризована хмара точок; б) Відкласифікована хмара точок
(відокремнено землю + рослинність).

На наступному етапі опрацювання отриманих даних виконувалося у програмному застосунку TerraSolid, який має широкий функціонал для роботи з великими масивами геопросторової інформації. За допомогою макросів було виконано: класифікацію хмари точок; побудову горизонталей; відокремлення рослинності та дерев (рис. 1б); подеревне знімання з визначенням координат та діаметрів стовбурів (рис. 2а, б).

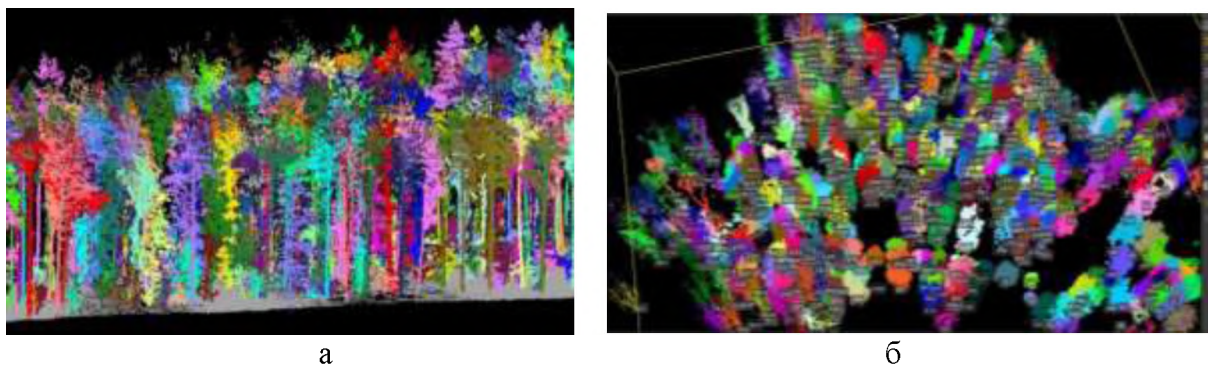


Рисунок 2. а) Подеревна класифікація дерев хмари точок; б) Обрахунок кількості дерев.

Отримані результати підтвердили ефективність використання технології SLAM для високоточного збору інформації про лісові насадження, що відкриває нові перспективи у сфері інвентаризації та кадастрового обліку лісових ресурсів.

Висновки

Інтеграція технології SLAM у геоінформаційні системи кадастрів є одним із найперспективніших напрямів модернізації сучасних кадастрових процесів. Проведені випробування на модельному об'єкті – території Ботанічного саду НУБіП України як цінної природної території (віднесеної до особливо цінних земель) – підтвердили високу ефективність цієї технології для створення детальних тривимірних моделей як нерухомих об'єктів, так і природних комплексів.

Застосування приладу ALPHAGEO SLAM 100 дозволило отримати високоточні і детальні хмари точок із мінімальними часовими витратами. Це значно оптимізувало процес збору даних у порівнянні з традиційними геодезичними методами, які

потребують більше часу та ресурсів. Порівняльний аналіз показав, що технологія SLAM має суттєві переваги у складних умовах зйомки: на ділянках із густою рослинністю, нерівним рельєфом та у зонах з обмеженим доступом до супутникових сигналів. Таким чином, SLAM відкриває нові можливості для проведення інвентаризації та оцінки лісових ресурсів, а також для вдосконалення кадастрового обліку.

Разом з тим, широке впровадження SLAM у практику стримується недостатнім нормативно-правовим забезпеченням, що потребує доопрацювання та адаптації відповідних стандартів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку методичних рекомендацій, створення єдиних технічних регламентів та інтеграцію SLAM у систему державного земельного та лісового кадастру.

Перелік літературних джерел

- Barba, S., Barbarella, M., Di Benedetto, A., Fiani, M., Gujski, L., & Limongiello, M. (2019). Accuracy assessment of 3D photogrammetric models from an unmanned aerial vehicle. *Drones*, 3(4), 79. <https://doi.org/10.3390/drones3040079>
- Kozka, O. V. (2020a). Forest management. As it is conducted in Ukraine and in Poland. <https://www.lisproekt.gov.ua/post/5627>.
- Lendyel, M. O., & Zhulkanych, V. O. (2018). Peculiarities of sustainable management of development of the timber industry complex of Zakarpattia region. *Nauk. Visnyk Mukachivskoho derzhavnoho un-tu*, 1 (9), 105-110. [https://doi.org/10.31339/2313-8114-2018-1\(9\)-105-110](https://doi.org/10.31339/2313-8114-2018-1(9)-105-110)
- Vogiatzis, M. (2014). A forest lands information system in support of sustainable management and use of forests. In *IUFRO World Congress, Salt Lake City, Utah, USA*.
- Kovtun V., Gera O., Dorosh L. & Pylypiuk R. (2024, October). Possibilities of SLAM scanning implementation in martial law conditions. In *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024»* (Vol. 2024, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.
- Hong, S. E. (2016). Boundary Line Extraction of Forest Land for Cadastral Resurvey Using UAV and GIS. *Indian J. Sci. Technol*, 9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i41/103952