

УДК 528:004

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/37>**Люльчик В.О.**

ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»

**Русіна Н.Г.**

ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»

**Петрова О.М.**

ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»

## ЛІДАРИ: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ

У статті розглянуто лідар як технологію отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відображення світла та його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах. Здійснено комплексний аналіз технології лазерного сканування, яке ґрунтується на використанні оптично спрямованих лідарних пучків для збору інформації про об'єкт у прямих 3D-вимірах. Це дає змогу системі траєкторії будувати зображення надійно і точно. Ефективність технології Lidar пояснюється її здатністю проникнення променів через рослинність для збору інформації про довкілля та глибини землі. Отримання інформації ґрунтується на принципах лазерного спектра. Лідарне знімання виконується для різних типів проєктів, залежно від поставлених завдань. Вирізнено основні напрями роботи лідарних режимів. Встановлено переваги використання безпілотних літальних апаратів: невелика висота знімання, точковість, мобільність, висока оперативність, екологічна чистота польотів. Маршрутизація та зйомка дронами забезпечують легку для розгортання платформу, яка враховує вимоги аерофотозйомки. Сьогодні є фактори, що обмежують використання безпілотних літальних апаратів – час експлуатації та розвиток державного правового регулювання. Визначено однофотонну технологію як новий технологічний прорив для аеродинамічного лазерного сканування. Для однофотонних систем потрібен лише один виявлений фотон порівняно із сотнями або навіть тисячами фотонів у звичайному лідарі. Як результат, щільність імпульсів може бути досягнута в десять-сто разів вищою порівняно зі звичайними датчиками. Системи лазерного сканування складаються з недорогих лазерних сканерів й інерційних одиниць вимірювання. Визначено базові прилади та інструменти лідарного знімання. Представлено приклади використання матеріалів лідарної зйомки в галузі землеустрою.

**Ключові слова:** лідар, лазерне сканування, 3D-вимірювання, режим Гейгера, наземне лазерне сканування, мобільне лазерне сканування, однофотонна технологія, зйомка безпілотними літаючими апаратами.

**Постановка проблеми.** З розвитком технологій безпілотні літальні апарати (далі – БПЛА) почали швидко використовувати в різноманітних сферах і в різних куточках світу. 3D-лазерне сканування, або «Lidar», є технологією безпілотних повітряних систем, яку успішно використовують для відображення та зйомки місцевості, картування і моніторингу навколишнього середовища. Це технологія, що змінила спосіб отримання й уточнення топографічних даних.

Спектр застосування системи дуже широкий – від побудови 3D-моделей, картування берегової лінії, вивчення процесів деградації земель, планування і контролю етапів сільськогосподарського виробництва, інвентаризації земель до оцінок наслідків різних впливів на навколишнє середовище.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Сучасні публікації в межах цієї предметної галузі робили наголос на різноманітних її аспектах, що підкреслювали перевагу вивчення землевпорядних об'єктів даними лідарного знімання. Наприклад, Г. Дацюк зазначила, що безпілотні літальні апарати – це важливий інструмент для мудрого і ефективного господарювання на землі. Основними замовниками спеціалізованого аерознімання стали такі: органи місцевого самоврядування – для проведення інвентаризації земель із метою наповнення бюджету, розроблення містобудівної документації для залучення інвесторів, врегулювання спірних питань, проєктування та планування території; новостворені ОТГ – для розуміння та ефективного управління своєю територією; різні установи

та організації – для отримання якісного картографічного матеріалу, який можна використовувати для землевпорядних, геодезичних і вимірювальних цілей; аграрні підприємства – як ефективний інструмент для управління бізнесом [1, с. 27].

С. Костріков і О. Чуєв у своєму дослідженні «Аналіз дворівневих урбогеосистем через засоби ГІС» презентували авторське спеціалізоване програмне забезпечення щодо аналізу інтернальних урбогеосистем на підставі LiDAR-технології дистанційного зондування. Науковці зазначають, що наявний ринковий попит на відповідний програмний продукт і виклики, що цей попит супроводжують, зумовлюються: великою кількістю швидко зростаючих населених пунктів, що функціонують як усе більш і більш ускладнені урбогеосистеми; необхідністю отримання високоточних цифрових моделей місцевості щодо менеджменту територій міст; потребою в автоматизованих засобах огляду, аналізу та візуалізації повної інфраструктури міста, і особливо – необхідністю отримання кількісних та якісних характеристик, наприклад, архітектурних змін у морфології міста, що відбулися за певний проміжок часу [2; 3].

Питання вибору оптимальних в інформаційному та вартісному сенсах моделей і методів аналізу даних у системах автономної навігації за умов апіорної невизначеності, ресурсних та інформаційних обмежень є не досить дослідженим і повною мірою досі не вирішеним, як зазначили В. Москаленко, А. Москаленко та А. Коробов. Дослідники запропонували модель автономної системи навігації малогабаритного БЛА, складовими частинами якої є згортковий екстрактор ознак, модель 4-х шарової згорткової мережі, яка приймає на вхід ряд послідовних кадрів, що інтерпретуються як канали одного зображення і скануються різномасштабними фільтрами, та метод навчання згорткових фільтрів без учителя на основі розріджено кодуємого нейронного газу, що дає змогу здійснювати навчання в процесі прямого поширення сигналу без використання методу зворотного поширення помилки [4].

Відповідно, програмне забезпечення ГІС має підтримувати імпорт, обробку та експорт даних у таких базових ГІС-форматах: векторних і растрових числових форматах (звичайні векторні дані, растрові «ґріди» та зображення, різноформатні 3D-моделі, TIN-моделі і т.д), форматах провідних розробників ПЗ ГІС (ESRI, MapInfo, ERDAS, Google Earth). У свою чергу, програмне забезпечення UrbanGeoTM побудовано на основі єдиної технологічної платформи, яка дає можливість

ефективно обробляти і відображати величезні набори даних високої роздільної здатності – зокрема LiDAR – дані, у форматі LAS. Останні можуть включати до мільярдів точок в єдиному файлі. Враховуючи це, ця геоінформаційна технологія матиме майже необмежені можливості з інтеграції даних і подальшої 2D/3D візуалізації різноформатної похідної інформації [5].

**Постановка завдання.** За мету в роботі було поставлено завдання дослідити використання застосування безпілотних систем під час вирішення завдань землеустрою та проаналізувати закордонний досвід використання даних лідарного знімання в галузі землеустрою.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відомо, що LiDAR (Light Induced, Detection and Ranging – англ.) – це технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відображення світла та його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах [5]. Така технологія з'явилася ще в 60-ті рр. минулого сторіччя, однак ефективно через ДДЗ та через програмне забезпечення ГІС використовується лише в останнє десятиріччя. LiDAR взагалі є як мінімум активним далекоміром оптичного діапазону. Тобто це активна сенсорна система, яка посилає дружній людському оку промінь із частотою випромінювання в межах інтервалу від 10 до 70 тис. сигналів у секунду, звичайно за синусоїдою, у напрямку, перпендикулярному до руху носія скануючого пристрою. Скануючі лайдар-засоби в системах машинного зору формують двовимірну або тривимірну картину навколишнього простору, що вдало коригується з можливостями ГІС-платформ надавати тривимірну візуалізацію у вигляді так званої 3D-Сцени [6].

Лазерне сканування ґрунтується на використанні оптично спрямованих лідарних пучків для збору інформації про об'єкт у прямих 3D-вимірах. Це дає змогу системі траєкторії будувати зображення надійно і точно. До середини 90-х рр. минулого століття технологія GNSS-IMU не була доступною для комерційного використання. Розвиток волоконно-оптичних гіроскопів (FOG), мікроелектромеханічних систем (MEMS) та створення загальнонаціональних мереж базових станцій GNSS сприяло успіху Lidar в геодезії та землеустрої.

Ефективність технології Lidar пояснюється її здатністю 3D-вимірювання та проникнення променів через рослинність для збору інформації про довкілля та глибини землі. Отримання інформації

ґрунтується на принципах лазерного спектра. Традиційний спосіб отримання даних – це подання лазерного імпульсу до об’єкта і збір сигналу зворотного розсіювання. Обробка сигналу передбачає виявлення об’єкта на основі різних діапазонів променя світла з використанням вибору спектральних довжин хвиль для передачі збору даних.

Лідарне знімання виконується для різних типів проєктів залежно від поставлених завдань. Наприклад, для картографування та цивільного будівництва використовують зйомки максимальної деталізації, дані якої отримують із низьких висот (50–300 м) на міліметровому рівні (наприклад, RIEGL VUX-240 або Optech ORION C300-1). Щільність даних цього рівня становить десятки або сотні точок на квадратний метр. Для дорожнього та міського планування часто застосовують сканування середньої висоти (400–1000 м), а щільність даних зазвичай становить близько двох десятків точок на квадратний метр. Картографічні польоти дрібних масштабів проводять на висоті 2000 м і вище. Щільність даних менше десяти точок на квадратний метр, як правило, 1–2. Сучасними приладами цього напрямку застосування на ринку є Leica Terrain Mapper, Optech ALTM Pegasus і RIEGL VQ-1560i [7; 8].

Зазначимо, що найбільш точний сигнал записується за допомогою повного сигналу Lidar. Політ

у режимі Гейгера та однофотонної технології відтворюють ряд дискретної матриці. Збільшення кута сканування впливає на сигнал відповідно до змінюваного напрямку світла через завіс (рис. 1).

У теперішніх умовах аерофотознімання виявилось нерентабельним і малоефективним у зв’язку з великими матеріальними затратами на утримання та експлуатацію літального апарата та всього знімального комплексу, собівартість застосування літаків і гелікоптерів у десятки разів більша. Враховуючи те, що оновлення даних про той чи інший об’єкт є досить затратним, альтернативою класичному аерофотозніманню з літаків є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), яке нині широко застосовують в Україні та світі [9–11].

Крім високої економічної ефективності (здешевлення в десятки разів), БПЛА мають додаткові переваги порівняно з традиційним аеро- та космічним зніманням [12]:

- невелика висота знімання – можливо виконувати знімання на висотах від 10 до 200 метрів для отримання надвисокого розрізнення (одиниці й десятки сантиметра) на місцевості;

- точковість – можливість детального знімання невеликих об’єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад в умовах міської забудови;

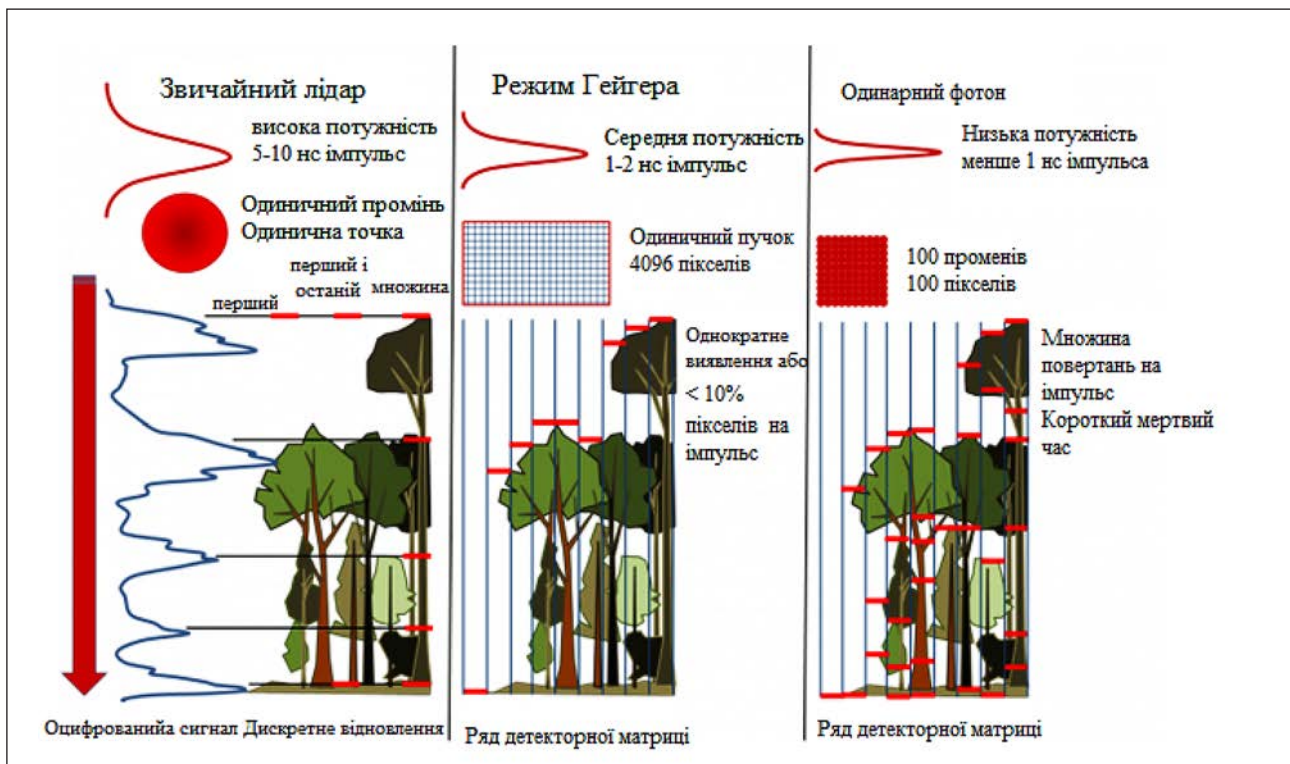


Рис. 1. Напрями роботи лідарних режимів [7]

– мобільність – не потрібні аеродроми або спеціально підготовлені злітні майданчики, БПЛА легко транспортуються легковими автомобілями (або переносяться вручну), відсутня складна процедура дозволів і узгодження польотів;

– висока оперативність – увесь цикл, від виїзду на знімання до одержання результатів, займає кілька годин;

– екологічна чистота польотів – використовуються малопотужні бензинові або безшумні електричні двигуни, забезпечується практично нульове навантаження на навколишнє середовище.

Маршрутизація та зйомка дронами забезпечують легку для розгортання платформу, яка враховує вимоги аерофотозйомки. Нині є фактори, що обмежують використання безпілотних літальних апаратів – час експлуатації та розвиток державного правового регулювання. Зазначимо, що зйомка території безпілотниками використовується для потреб у різних інженерних проєктах, містобудівних і наукових завданнях. Сьогодні для додатків UAS-Lidar розроблені різні типи невеликих датчиків, які залежать від розміру безпілотника, наприклад: RIEGL MiniVUX-1UAVi Velodyne Buck LITE – у звичайній категорії, а Septon SORA200 – у «твердотілій» розробці [7].

Малі, але високопродуктивні датчики та дані у реальному часі є найбільш актуальними потребами для безпілотних літальних апаратів. Сучасні системи не потребують наявності GNSS-IMU, а дані обробляються до локальної системи координат. Зазначимо, що все менші та більш спроможні GNSS-IMU, такі як NovAtel CPT7 або SBG Ellipse2-D, стають доступніші у використанні зі зниженням цін, прямого геопосилання та легкості наземного управління [7; 13].

Лазерне сканування без GNSS швидко розвивається. Системи складаються з недорогих лазерних сканерів й інерційних одиниць вимірювання. Дані Lidar використовуються, а в деяких випадках доповнюються візуальною одометрією від камер для компенсації миттєвих рухів датчиків, калібрування низькопродуктивних IMU і відстеження позиції датчика та / або платформи. Ці рішення для відображення забезпечують 3D-дані в режимі реального часу або в режимі реального часу для завдань із помірними потребами точності. Така розробка була можливою завдяки мініатюризації датчиків і SLAM, одометрії і картографії LIDAR (LOAM) і відповідних алгоритмів. Багатошарове сканування виявило достатню інформацію для оцінки руху платформи від одного сканування.

Такими прикладами є системи Gexcel HERON, GeoSLAM Zeb Horizon і Kaarta Stencil, основою яких є сканер Lydar Puck компанії Velodyne. Зазначимо, що багато компаній планують вивести подібні сенсорні продукти на ринок, серед яких є пристрої від RoboSense і Ouster [7; 14].

Зазначимо, що однофотонна технологія є новим технологічним проривом для аеродинамічного лазерного сканування. Для однофотонних систем потрібен лише один виявлений фотон порівняно із сотнями або навіть тисячами фотонів у звичайному лідарі. Як результат, щільність імпульсів може бути досягнута в десять-сто разів вищою порівняно зі звичайними датчиками. Сучасні однофотонні датчики – Leica SPL100 і Harris Geiger-mode Lidar. Операційні відмінності показані на рисунку 1 у порівнянні зі звичайними. Обидві доступні однофотонні системи базуються на використанні зеленого світла (532nm), що робить їх придатними для використання і батиметричного відображення [7].

Підкреслимо, що зміни в обчислювальних хмарах і спектральні дані значно збільшують обсяги виробництва. Збільшена частота вимірювання та щільність хмари точок забезпечує ефективну та високого рівня деталізацію зображення. Поява державних кампаній із лазерного сканування в таких країнах, як Нідерланди, Швеція та Фінляндія, підкреслює необхідність автоматизованих методів обробки.

У більш обмеженому масштабі багатовимірні хмари точок застосовують для виявлення змін – як у міських районах, так і в природному довкіллі – для управління земельними ресурсами та боротьби з небезпеками, ефективно показуючи потенціал багатовимірних 3D-даних. Періодична повторюваність сканування територій на загальнодержавному рівні дасть змогу виявити різний спектр проблем і геометричні зміни в довкіллі.

Крім того, у міських умовах автоматизована генерація простих будівельних моделей стала типовим підходом для 3D-моделювання міста. Введено кілька алгоритмів детального моделювання будівлі, що потенційно підвищує рівень деталізації в автоматизованому моделюванні. Подібним чином були введені алгоритми для моделювання об'єктів дорожнього середовища з густих мобільних ділянок точок лазерного сканування. У природному середовищі та лісовому господарстві набори даних хмари точок застосовуються як для отримання інформації про хід процесів на великих територіях (наприклад, для гідравлічного моделювання

та аналізу повеней, так і для вивчення процесів вічної мерзлоти), а також детальне моделювання окремих дерев для оцінки лісових ресурсів і біомаси.

**Висновки.** Сучасні топографічні бази даних зазвичай базуються на аерофотознімках і підтримуються національними картографічними агентствами із значним обсягом ручної праці. Розробки в галузі лазерного сканування й обробки хмари точок могли б забезпечити значну економію коштів за допомогою автоматизації процесів картографування з поліпшеною продуктивністю та якістю даних.

Мультимодальні дані Lidar усе більше будуть використовуватися в майбутньому завдяки розробленню та доступності високотехнологічних датчиків. Більш невеликі системи з подібними або поліпшеними характеристиками забезпечуватимуть застосування практично будь-якої платформи для керування Lidar для відображення та

зйомки. Літаки, безпілотні літальні апарати, транспортні засоби та портативні системи картографування слугують засобом збирання додаткових даних практично для будь-якого уявного завдання.

Нові однофотонні технології мають найбільший потенціал як сенсорне рішення для забезпечення щільних точкових хмар із низькими витратами на придбання даних на рівні держави. Мультимодальне лазерне сканування забезпечує більш детальними даними досліджених об'єктів.

Щільні хмари точок із мультиспектральною інформацією забезпечують дані для автоматизованого моделювання робочих процесів і додатків прямої візуалізації, формуючи майбутні топографічні бази даних, що є важливим інструментом підвищення ефективності управління земельними ресурсами та інфраструктурою міських територій, а також стануть основою для проведення майбутніх досліджень.

#### Список літератури:

1. Дацюк Г. Безпілотні літальні апарати – це важливий інструмент для мудрого і ефективного господарювання на землі. *Землевпорядний вісник*. 2019. № 9. С. 26–34.
2. Костріков С. Аналіз дворівневих урбогеосистем через засоби ГІС. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія*. 2016. Вип. 44. С. 98–109.
3. Дрон – що це таке, та навіщо він потрібен у сільському господарстві URL: <https://www.agro.dn.gov.ua/dron-shho-tse-take-ta-navishho-vin-potriben-u-silskomu-gospodarstv> (дата звернення: 03.10.2019).
4. Москаленко В., Москаленко А., Коробов А. Моделі і методи інтелектуальної інформаційної технології автономної навігації для малогабаритних безпілотних апаратів *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 3. С. 68–77.
5. Костріков С., Кулаков Д., Сегіда К. Програмне забезпечення ГІС для LiDAR-технології дистанційного зондування в цілях аналізу урбогеосистем. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2014. Вип. 19. С. 45–52.
6. Костріков С. Геоінформаційне моделювання природно-антропогенного довкілля : монографія. Харків : Вид-во ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2014. 484 с.
7. Kukko A., Kaartinen H., Nyypä J. Technologies for the Future: A Lidar Overview. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/technologies-for-the-future-a-lidar-overview-2> (дата звернення: 03.10.2019).
8. Road Resurfacing with Drones URL: <https://www.gim-international.com/content/article/road-resurfacing-with-drones?output=pdf> (дата звернення: 03.10.2019).
9. Лозинський В. Аналіз сучасних методів отримання даних для визначення об'ємів відходів та донних відкладів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2015. Вип. 2. С. 87–97.
10. Антонов А. Сканирующие лазерные дальномеры (LIDAR) *Современная электроника*. 2016. № 1. С. 10–16.
11. Пасічник В., Савчук В., Єгорова О. Мобільні інформаційні технології навігації користувача в приміщеннях. URL: [http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/36334/1/30\\_236-240.pdf](http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/36334/1/30_236-240.pdf).
12. Глотов В., Гуніна А. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2014. Вип. II (28). С. 65–70.
13. Використання системи LIDAR з метою охорони природи у національних парках світу. URL: <http://www.50northspatial.org/ua/using-lidar-system-nature-protection-national-parks-world>.
14. Сканирующие лазерные дальномеры (LIDAR). URL: <http://blog.myelectronics.com.ua/сканирующие-лазерные-дальномеры-lidar>.

**Liulchyk V.O., Rusina N.G., Petrova O.M. LIDARS: MODERN TECHNOLOGY  
IN THE SPHERE OF GEODESY AND LAND MANAGEMENT**

*The article considers the lidar as a technology for obtaining and processing information about remote objects by means of active optical systems using light reflection phenomenon and its scattering in transparent and translucent environments. The complex analysis of laser scanning technology, based on the optical lidar beam directed to collect object information in direct 3D measurements. This allows the trajectory system to build the image reliably and accurately. The effectiveness of Lidar technology due to its ability to penetrate rays through vegetation to gather information about the environment and depth of the earth. Getting information is based on the principles of the laser spectrum. Lidar removal is performed for different projects, depending on the tasks. The main directions of operation of the lidar regimes are defined. The advantages of using unmanned aerial vehicles (drones) are established: low shooting height, accuracy, mobility, high efficiency, environmental friendly flights. Drone routing and shooting provide an easy-to-deploy platform that takes into account aerial photography requirements. Nowadays, there are factors limiting the use of drones: operating time and the development of state legal regulation. Single-photon technology is identified as a new technological breakthrough for aerodynamic laser scanning. Single-photon systems require only one detected photon, compared to hundreds or even thousands of photons in a conventional lidar. As a result, the pulse density can be achieved in ten or a hundred times higher than conventional sensors. Laser scanning systems consist of inexpensive laser scanners and inertial measurement units. Basic instruments and tools for lidar shooting have been identified. Examples of materials lidar surveys in the field of land management are presented.*

**Key words:** *lidar, laser scanning, 3D-measurements, Geiger mode, ground laser scanning, mobile laser scanning, single-photon technology, unmanned aerial vehicle shooting.*