

УДК 630*587.6

С. С. Цай

Белорусский государственный технологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ УЧАСТКОВ ЛЕСНОГО ФОНДА, ПОЛУЧЕННЫХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ НАКЛОНА МЕСТНОСТИ

В рамках производства опытных работ по использованию беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для целей лесного хозяйства и лесоустройства в 2022 г. выполнялась лидарная съемка участков лесного фонда, имеющих выраженный рельеф местности. Целью работ являлось выявление участков лесного фонда, на которых углы наклона рельефа местности имели критические значения, ограничивающие использование лесозаготовительной техники. Программа опытных работ предусматривала следующие этапы: формирование полетного задания и определение оптимальных параметров лидарной съемки участков лесного фонда; выполнение лидарной съемки (с использованием БЛА) участков лесного фонда с выраженным рельефом; предварительную фильтрацию полученных сырых данных и формирование облака точек в общедоступном формате; программную обработку сформированного облака точек и формирование цифровой модели рельефа на исследуемый участок; определение углов наклона местности по цифровой модели рельефа; выявление участков местности с критическими значениями углов наклона, где использование лесозаготовительной техники запрещено. Лидарная съемка участков лесного фонда проводилась на территории Горецкого лесхоза Мстиславского и Пervомайского лесничеств. В работе рассмотрена методика обработки сырых лидарных данных покрытых лесом участков местности с целью формирования цифровой модели рельефа и выявления углов наклона этих участков. С ее помощью можно определять участки лесного фонда с критическими значениями углов наклона местности, на которых использование лесозаготовительных машин запрещено в связи с требованиями по эксплуатации.

Ключевые слова: лидарная съемка, цифровая модель рельефа, беспилотный летательный аппарат, БЛА, определение углов наклона рельефа местности.

Для цитирования: Цай С. С. Использование материалов лидарной съемки участков лесного фонда, полученных с беспилотных летательных аппаратов, для определения углов наклона местности // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 30–37.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-4.

S. S. Tsai

Belarusian State Technological University

USING LIDAR DATA OF FOREST AREAS RECEIVED FROM DRONE FOR DETERMINATION OF TERRAIN ANGLES

As part of the pilot work on the use of drones for forestry and forest management purposes, lidar surveys of forest areas with pronounced terrain were carried out in 2022. The purpose of the work was to identify areas of the forest where the angles of inclination of the terrain had critical values limiting the use of logging equipment. The experimental work program included the following stages: the formation of the flight task and the determination of the optimal parameters of lidar survey of forest areas; performing lidar surveys (using UAVs) of forest areas with pronounced relief; preliminary filtering of the raw data obtained and the formation of a point cloud in a common format; software processing of the formed point cloud and the formation of a digital terrain model for the studied area; determining terrain angles using a digital terrain model; identifying terrain areas with critical tilt angles. Lidar survey of forest areas was carried out on the territory of the Goretsky forestry of the Mstislavsky and Pervomaisky forestry districts. The paper considers a technique for processing raw lidar data of forest areas in order to form a digital relief model and identify the angles of inclination of these areas. With its help, it is possible to identify forest areas with critical values of terrain inclination angles that limit the use of logging machines.

Keywords: lidar survey, digital terrain model, drone, UAV, determination of terrain angles.

For citation: Tsai S. S. Using lidar data of forest areas received from drone for determination of terrain angles. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 30–37 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-4.

Введение. Использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в различных отраслях экономики непрерывно увеличивается, находя новые сферы применения [1]. Это связано с улучшением технических характеристик самих БЛА, внедрением автоматизированных алгоритмов пилотирования, расширением видов навесного оборудования, а также совершенствованием возможностей этого оборудования вследствие уменьшения веса и линейных размеров, увеличения функциональности.

Несомненно, использование беспилотных комплексов в интересах лесной отрасли также перспективно и находит широкое применение для решения ряда практических задач лесного хозяйства и лесоустройства [2–5].

Рассматриваемая работа посвящена вопросам использования материалов лидарной съемки с беспилотных летательных аппаратов для целей определения на участках лесосечного фонда углов наклона местности, ограничивающих использование комплекса лесных машин по заготовке и трелевке древесины на рубках леса. Использование лидарной съемки для целей изучения рельефа местности, гидрологии, строения структуры древостоев [6–8] в последнее время получило широкое распространение и является перспективным направлением в геодезии, земельном кадастре [9, 10], лесном хозяйстве [11] и земледелии [12, 13].

Рельеф местности на большей части Республики Беларусь характеризуется преобладанием

плоских и полого-волнистых равнин и низменностей, речных долин [14]. Тем не менее встречаются также и грядово-бугристые комплексы различного размера и конфигурации. В ряде случаев имеют место участки рельефа с углами наклона более 15° , что уже ограничивает использование ряда лесозаготовительных машин. Использование в процессе лесозаготовок различного по своим характеристикам лесозаготовительного оборудования делает актуальным проблему определения углов наклона местности на различных участках лесосечного фонда. Это необходимо для оптимального распределения лесозаготовительной техники по объектам лесозаготовок, а также для ее безопасного использования.

Объекты исследования. В качестве объектов, на которых проводились работы по выполнению лидарной съемки, выступали участки лесосечного фонда с выраженным рельефом на территории Горецкого лесхоза: Мстиславского лесничества (кв. 40, выделы 1, 4, 13, 14; кв. 146, выделы 6–11, 31–33, 35) (рис. 1) и Первомайского лесничества (кв. 90, выделы 1–10, 12, 44–46, 61–63) (рис. 2). В большинстве случаев указанные участки лесосечного фонда представлены одноярусными спелыми древостоями с преобладанием хвойных древесных видов (сосна, ель); характеризуются достаточно богатыми условиями местопроизрастания (кисличные, орляковые, мшистые типы леса) и относительными полнотами 0,7–0,8.

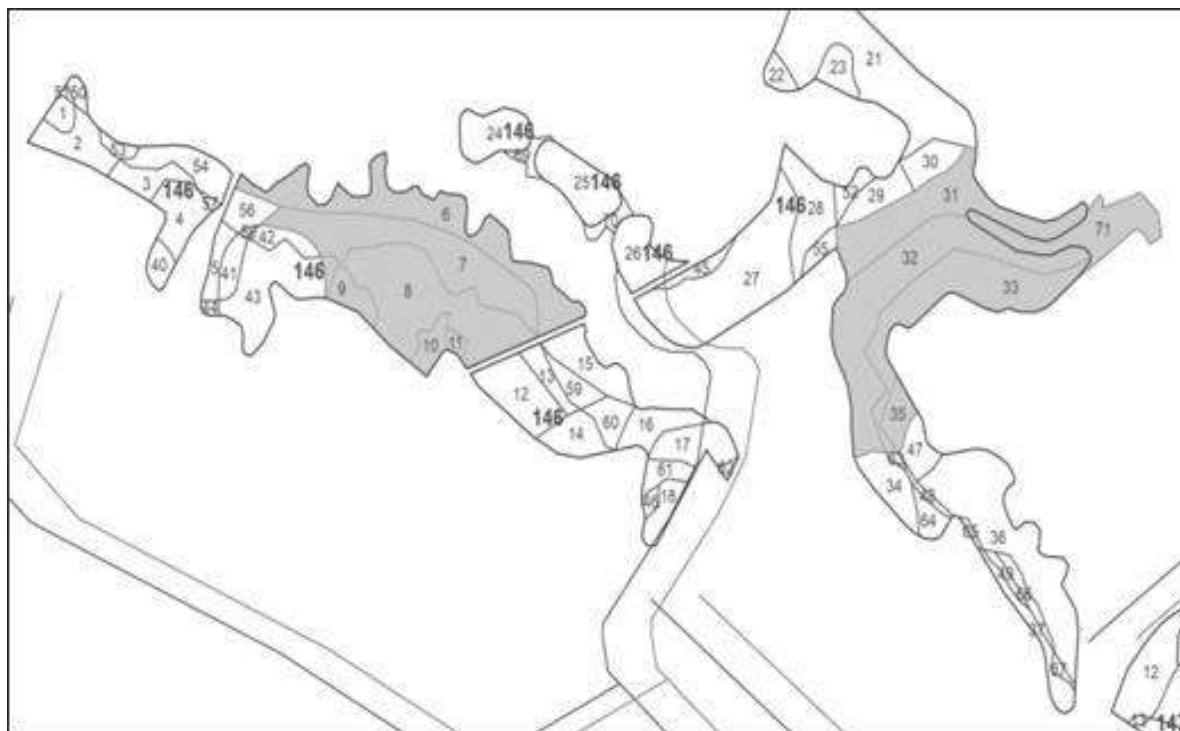


Рис. 1. Расположение участков лесосечного фонда с выраженным рельефом на территории Мстиславского лесничества Горецкого лесхоза



Рис. 2. Расположение участков лесосечного фонда с выраженным рельефом на территории Первомайского лесничества Горецкого лесхоза

У специалистов Горецкого лесхоза возникли обоснованные подозрения о невозможности использования лесозаготовительной техники на вышеприведенных участках. С целью уточнения крутизны склонов этих участков было решено провести лидарную съемку силами специалистов отдела дистанционного зондирования и мониторинга лесов РУП «Белгослес».

Используемое оборудование. В качестве летательного аппарата использовался беспилотник DJI Matrice 300RTK, на котором посредством 3-осевого стабилизированного подвеса закреплялось навесное оборудование для выполнения лидарной съемки – лидар DJI Zenmuse L1 (рис. 3). Данное устройство обладает уникальными характеристиками [15], поскольку является одним из первых в истории лидарных датчиков, устанавливаемых на беспилотные летательные аппараты.



Рис. 3. Лидар для БЛА DJI Zenmuse L1

При весе около 0,9 кг прибор обладает техническими характеристиками, позволяющими в

процессе съемки получать данные геодезической точности. Это оборудование (лидар DJI Zenmuse L1) было любезно предоставлено компанией «Хобби-парк».

Для выполнения высокоточной привязки материалов съемки БЛА DJI Matrice 300RTK оснащен GNSS-оборудованием, позволяющим в режиме реального времени получать корректирующие поправки и определять координаты с сантиметровой точностью.

Для первичной обработки материалов лидарной съемки использовался программный комплекс DJI Terra, поставляемый в комплекте с беспилотным летательным аппаратом. Данный программный комплекс также предназначен для обработки цифровой оптико-электронной съемки.

Основная часть. Первым этапом проведения лидарной съемки являлись подготовительные работы, в ходе которых в камеральных условиях выполнялось уточнение границ участка съемочных работ по предварительным данным, которые были переданы работниками Горецкого лесхоза.

Для этого в геоинформационной системе (ГИС) ArcMap был подготовлен проект Горецкого лесхоза, содержащий цифровые лесоустроительные картографические материалы по указанному лесхозу (слои кварталов и выделов). На основании сформированного проекта в ГИС ArcMap были определены границы участков для съемки и сформированы векторные полигональные слои полетных заданий, которые в дальнейшем были загружены в контроллер беспилотного летательного аппарата.

В соответствии с полетным заданием лидарная съемка участков выполнялась на высотах 80–100 м.

Параметры для проведения лидарной съемки устанавливались из соображения необходимости получения цифровой модели земной поверхности под пологом леса, поэтому настройка плотности точек на 1 м² была установлена достаточно большая – порядка 100 точек/м².

Съемка проводилась методом линейного сканирования в режиме Repetitive с использованием только одиночного отклика. Величина перекрытия соседних полос составила 50%.

Обработка материалов лидарной съемки выполнялась с использованием вышеупомянутого программного комплекса DJI Terra и геоинформационной системы Global Mapper.

Первоначальные данные лидарной съемки обрабатывались в программном приложении DJI Terra, с помощью которого была проведена фильтрация данных и сформирован файл облака точек с расширением Las.

Дальнейшая обработка данных проводилась в геоинформационной системе Global Mapper, обладающей обширным набором функций для

работы с лидарными данными. С помощью этой ГИС была произведена классификация облака точек и выделены только точки, отраженные от земной поверхности. На основе классифицированных точек в этой же ГИС была построена и визуализирована цифровая модель рельефа исследуемых участков (рис. 4).

В геоинформационной системе Global Mapper имеется возможность поверх визуализированной модели рельефа наложить векторные слои лесных кварталов и выделов, что и было сделано (рис. 4). Кроме того, на этом же рисунке линиями с буквенными обозначениями *A*, *B* и *C* указаны направления, вдоль которых планировалось построение продольных профилей земной поверхности.

Построение продольных профилей земной поверхности вдоль указанных направлений (*A*, *B*, *C*) также выполнялось с использованием инструментария геоинформационной системы Global Mapper. Для этого необходимо, выбрав соответствующий инструмент, указать требуемое направление на предварительно созданной 3-D модели. В результате программа сформирует продольный профиль земной поверхности по заданному направлению в отдельном окне (рис. 5).

Поскольку величина угла наклона вдоль ската земной поверхности может меняться в широком диапазоне, то для оптимизации работ по

построению продольных профилей предварительно выполнялась визуализация 3-D модели рельефа выбранного участка с целью определения наиболее крутых его склонов путем вращения этой модели вдоль основных осей и масштабирования ее отдельных фрагментов. В результате определялись наиболее крутые склоны, для которых и выполнялось построение продольных профилей земной поверхности.

Таким образом были сформированы продольные профили земной поверхности по каждому исследуемому участку. С целью лучшей визуализации угла наклона земной поверхности горизонтальный масштаб принимался в несколько раз мельче, чем вертикальный.

Следующим этапом работ было определение углов наклона для каждого участка, отраженного на продольном профиле. Для этого в окошке с продольным профилем при помощи специализированного инструмента строилась линия вдоль профиля земной поверхности, незначительно сглаживающая его неровности (рис. 5). После построения линии программа автоматически определяла угол наклона и ее длину.

Определив искомые значения углов наклона земной поверхности на исследуемых участках, несложно принять решение относительно возможности использования того или иного вида лесозаготовительной техники.

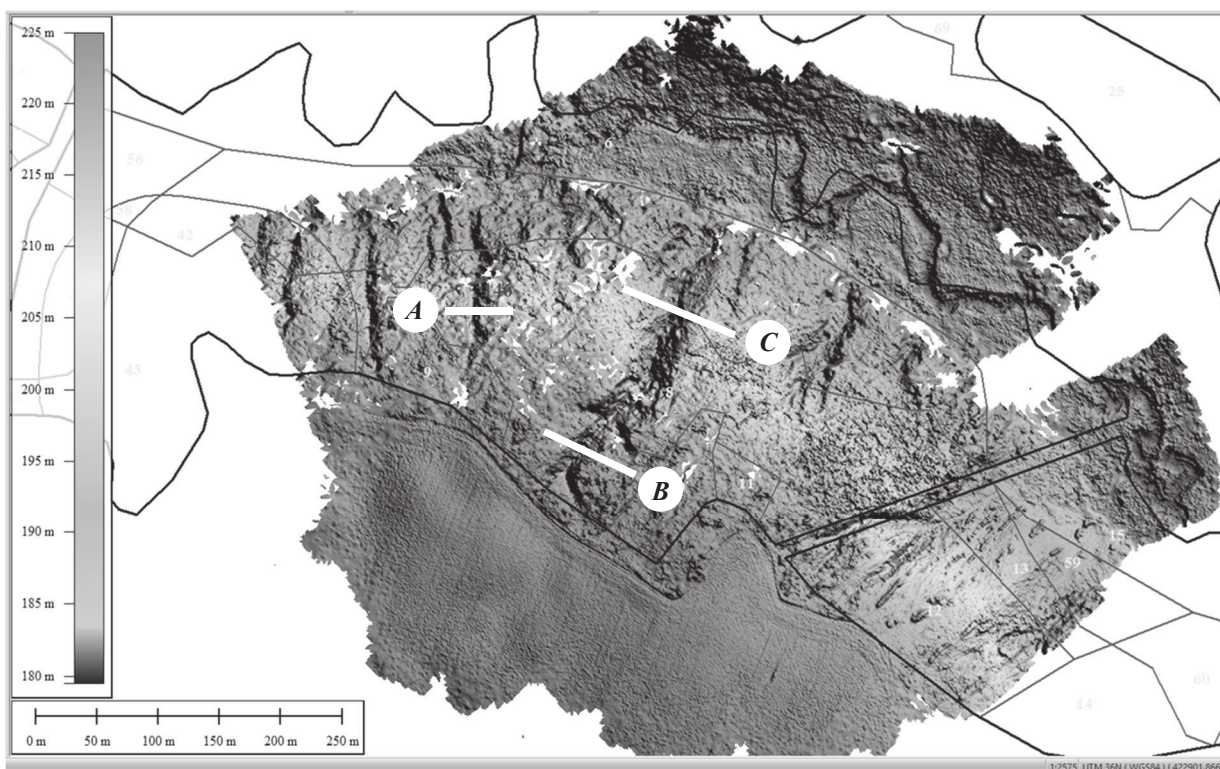


Рис. 4. Изображение 3-D модели рельефа земной поверхности для участка лесосечного фонда (кв. 146, выделы 31–35) Мстиславского лесничества Горецкого лесхоза

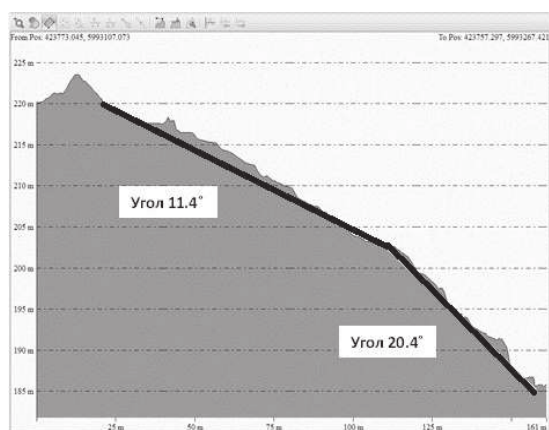


Рис. 5. Продольный профиль земной поверхности (Горещкий лесхоз, Мстиславское лесничество, кв. 146)

В случае если угол наклона местности на участке превышает максимально допустимое значение угла, которое указано в руководстве по эксплуатации и при котором обеспечивается поперечная устойчивость лесных машин, то их использование на данном участке запрещено.

Ниже в таблице представлены максимально допустимые значения угла наклона местности, при которых обеспечивается поперечная статическая устойчивость для комплекса лесозаготовительных машин производства ОАО «Амкодор – управляющая компания холдинга».

Максимально допустимые значения угла наклона местности

Наименование техники	Значение угла
Харвестер «Амкодор 2551»	20°
Форвардер «Амкодор 2661-01»	20°
Машина трелевочная «Амкодор 2242В»	20°

Как видно из таблицы, большая часть лесозаготовительной техники белорусского производства («Амкодор») имеет максимально допустимый угол, равный 20°, при котором еще обеспечивается статическая поперечная устойчивость [16].

Полученные значения углов наклона местности участков лесосечного фонда на территории Мстиславского и Первомайского лесничеств Горещкого лесхоза достаточно часто составляли 15° и более, что в ряде случаев ограничивало использование лесозаготовительной техники данного производителя.

Результаты и обсуждение. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что материалы лидарной съемки с беспилотных летательных аппаратов могут использоваться для определения углов наклона местности на участках лесосечного фонда.

Тем не менее возникает вопрос об экономической целесообразности применения лидарной съемки для указанных целей, поскольку используемое оборудование (лидар, БЛА) на сегодняшний день весьма недешевы. Альтернативным вариантом может выступать использование переносных GNSS-приемников для проведения съемки рельефа местности.

В пользу альтернативной технологии определения углов наклона местности на участках лесного фонда можно привести следующие аргументы:

- относительно недорогое оборудование в сравнении со стоимостью лидара и БЛА;
- не требуется высокая квалификация специалистов для работы с GNSS-приемником;
- при выполнении работ на лесных участках с малой площадью (до 1,5–2 га), где количество проводимых измерений незначительно, проведение съемки с использованием GNSS-приемника экономически выгоднее в сравнении с использованием лидарной съемки с БЛА.

К недостаткам технологии, основанной на использовании переносных GNSS-приемников, можно отнести следующее:

- низкая производительность работ по съемке рельефа местности средних и больших по площади лесных участков;
- необходимость выполнять съемочные работы непосредственно в лесу (сложность перемещения при густом подросе и подлеске, а также вследствие заболоченной почвы и захламленности леса валежником);
- проблематичность определения направления максимального уклона рельефа местности (для проведения съемки в этом направлении) без проведения предварительной рекогносцировки;
- необходимость дополнительных съемочных работ в натуре для получения векторных границ лесных участков с выраженным рельефом;
- невозможность отображения рельефа участка в целом, так как наклон рельефа местности определяется только в тех местах, где проводилась съемка, т. е. по изначально выбранным направлениям.

К достоинствам технологии, использующей лидарную съемку, полученную с БЛА, можно отнести следующее:

- высокая производительность работ по съемке рельефа местности лесных участков;
- отсутствие работ непосредственно в лесу (исключение травматизма);
- возможность построения 3-D моделей рельефа и на их основе определения углов наклона рельефа местности в любом месте и направлении;
- легкость получения границ участков с выраженным рельефом (в векторном цифровом формате) с целью дальнейшего нанесения на цифровые лесные карты.

К недостаткам технологии, использующей лидарную съемку, полученную с БЛА, можно отнести следующее:

- необходимость приобретения дорогостоящего оборудования (лидар, специализированное программное обеспечение, БЛА);

- потребность в высококвалифицированных специалистах, способных выполнять съемочные работы с использованием БЛА, проводить обработку полученных данных.

Из вышесказанного очевидно, что при выполнении большого объема работ по определению углов наклона рельефа местности использование материалов лидарной съемки на базе БЛА является наиболее предпочтительным вариантом.

Еще одним альтернативным способом определения угла наклона местности является использование наземной лидарной съемки непосредственно исполнителем [6]. Но в этом случае значительно уменьшается производительность работ (будет приблизительно такая же, как и при использовании GNSS-приемников) при достаточно высокой стоимости оборудования.

Заключение. В целях оптимизации планирования рубок леса с применением комплекса лесных машин, а также предупреждения травма-

тизма и аварийных ситуаций при их проведении предлагаются следующие мероприятия:

- проводить лидарную съемку с беспилотных летательных аппаратов участков лесного фонда с выраженным рельефом с целью построения цифровых моделей рельефа этих участков;

- на основе сформированных цифровых моделей рельефа определять те участки или их части – зоны, где имеются превышения допустимых значений углов наклона рельефа местности, ограничивающих использование лесозаготовительной техники;

- определять векторные границы таких участков (зон) и наносить их на лесные цифровые картографические материалы;

- при проектировании рубок леса с использованием лесозаготовительной техники помечать такие участки (зоны) как невозможные для механизированной (машинной) заготовки леса;

- цифровые модели рельефа на участки с выраженным рельефом хранить в базе данных. При изменении технических характеристик лесных машин границы ограничительных зон могут быть легко пересчитаны на основе имеющихся в базах данных цифровых моделей рельефа.

Список литературы

1. Лазарев А. С., Чуев А. А., Перьков Н. А. Виды и области применения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф., Курск, 13–15 апр. 2023 г. Курск, 2023. С. 254–258.
2. Цай С. С., Гормаш М. С. Использование материалов лидарной съемки для целей определения высот насаждений // Лесное хоз-во: материалы 86-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 12 февр. 2022 г. Минск, 2022. С. 351–352.
3. Демидов В. Э. Применение воздушного лазерного сканирования для картирования рельефа, поиска следов антропогенного воздействия и изучения растительного покрова на территории Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника // Труды Мордовского гос. природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2021. № 28. С. 74–82.
4. Шульга Е. А., Толкач И. В. Распределение облака точек лидарной съемки в полого и под пологом древостоев // Лесное хоз-во: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 478–481.
5. Звягинцев В. Б., Малашевич Д. Г., Жданович С. А. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве для проведения лесозащитных мероприятий // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2023. № 2 (274). С. 43–49. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-6.
6. Госьков Е. А., Воробьева Т. С., Воробьев И. Б. Лазерное сканирование в исследовании структуры древостоев верхней границы леса на Южном Урале // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 2 (81). С. 4–10. DOI: 10.51318/FRET.2022.63.84.001.
7. Орлова Е. В., Кузнецов В. Н. Применение лидарной съемки в гидрологических исследованиях // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2023. Т. 4, № 1. С. 185–191. DOI: 10.33764/2618-981X-2023-4-1-185-191.
8. Лагута А. А., Погорелов А. В. Исследование динамики берегов Краснодарского водохранилища методом лидарной съемки // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Владикавказ, 4–8 окт. 2023 г. М., 2023. С. 539–546. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.93.99.071.
9. Опыт применения комплекса «Геоскан 401 Лидар» в качестве беспилотной топографической системы воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки / М. В. Курков [и др.] // Геопрофи. 2021. № 6. С. 17–23.

10. Анализ развития технологий беспилотных летательных аппаратов в области геодезии и кадастра / С. Б. Ожигина [и др.] // Вестн. Акад. граждан. авиации. 2021. № 4 (23). С. 8–14. DOI: 10.53364/24138614_2021_23_4_8.

11. Стариков А. В., Малышев В. В., Батурин К. В. Об использовании беспилотных летательных аппаратов в технологиях лесного хозяйства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 5-2 (16-2). С. 121–125. DOI: 10.12737/15986.

12. Алиева Н. В., Сердюченко А. С. Использование беспилотного летательного аппарата в точном земледелии // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Шумаковские чтения» с междунар. участием, Новочеркасск, 6–23 нояб. 2018 г. Вып. 16. Ч. 2. Новочеркасск, 2018. С. 3–5.

13. Мещанинова Е. Г., Постоялко А. Г. Использование БПЛА для решения задач рационального использования земель // Теория и практика экономики и предпринимательства: материалы XVI Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф., Симферополь – Гурзуф, 18–20 апр. 2019 г. Симферополь; Гурзуф, 2019. С. 148–150.

14. Брилевский М. Н. Физическая география Беларуси. Минск: БГУ, 2022. 119 с.

15. Многофункциональная камера Zenmuse L1 с модулем лидара LiVOX // Авторизованный магазин DJI. URL: https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves_s_kameroyu_dji_zenmuse_l1 (дата обращения: 12.03.2024).

16. Эксплуатационная документация АМКОДОР // ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга. URL: <https://amkodor.by/services/ekspluatatsionnaya-dokumentatsiya> (дата обращения: 13.03.2024).

References

1. Lazarev A. S., Chuev A. A., Per'kov N. A. Types and areas of application of small-sized unmanned aerial vehicles. *Infokommunikatsii i kosmicheskiye tekhnologii: sostoyaniye, problemy i puti resheniya: materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Information communications and space technologies: state, problems and solutions: materials of VII All-Russian scientific and practical conference]. Kursk, 2023, pp. 254–258 (In Russian).

2. Tsai S. S., Gormash M. S. Using lidar surveying materials to determine the heights of forest stands. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 86-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry: materials of 86th scientific and technical conference]. Minsk, 2022, pp. 351–352 (In Russian).

3. Demidov V. E. Lidar 3d laser scanning of the prioksko-terrasny nature reserve territory for the purpose of terrain mapping, searching for areas of anthropogenic impact, vegetation structure studies. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika imeni P.G. Smidovicha* [Proceedings of Mordovian State Nature Reserve named after P. G. Smidovicha], 2021, no. 28, pp. 74–82 (In Russian).

4. Shul'ga E. A., Tolkach I. V. Distribution of the lidar sensor point cloud in the position and under the canopy of tree stands. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry: materials of 87th scientific and technical conference]. Minsk, 2023, pp. 478–481 (In Russian).

5. Zvyaginets V. B., Malashevich D. G., Zhdanovich S. A. Prospects for the use of unmanned aerial vehicles in forestry for forest protection measures. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue V, Economics and Management, 2023, no. 2 (274), pp. 43–49. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-6 (In Russian).

6. Gos'kov E. A., Vorob'eva T. S., Vorob'ev I. B. Laser scanning in the study of the structure of forest stands of the upper forest boundary in the Southern Urals. *Lesnaya Rossiya i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and economy in them], 2022, no. 2 (81), pp. 4–10. DOI: 10.51318/FRET.2022.63.84.001 (In Russian).

7. Orlova E. V., Kuznecov V. N. Application of lidar survey in hydrological studies. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia], 2023, vol. 4, no. 1, pp. 185–191. DOI: 10.33764/2618-981X-2023-4-1-185-191 (In Russian).

8. Laguta A. A., Pogorelov A. V. Study of the dynamics of the shores of the Krasnodar reservoir using the lidar survey method. *Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza: materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Modern problems of geology, geophysics and geocology of the North Caucasus: materials of VIII All-Russian scientific and technical conference]. Moscow, 2023, pp. 539–546. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.93.99.071 (In Russian).

9. Kurkov M. V., Klestov D. A., Brusilo V. A., Kurkov V. M., Kiseleva A. S. Experience in using the Geoscan 401 Lidar complex as an unmanned topographic system for airborne laser scanning and aerial photography. *Geoprofi* [Geoprofi], 2021, no. 6, pp. 17–23 (In Russian).

10. Ozhigina S. B., Shpakov P. S., Dolgonosov V. N., Zhamantai A. B., Abulkalikova M. E. Technology development analysis unmanned aircraft in the field of geodesy and inventory. *Vestnik Akademii grazhdanskoj aviatsii* [Bulletin of Civil Aviation Academy], 2021, no. 4 (23), pp. 8–14. DOI: 10.53364/24138614_2021_23_4_8 (In Russian).
11. Starikov A. V., Malyshev V. V., Baturin K. V. On the use of unmanned aerial vehicles in technologies of forestry. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, vol. 3, no. 5-2 (16-2), pp. 121–125. DOI: 10.12737/15986 (In Russian).
12. Alieva N. V., Serdyuchenko A. S. Use of an unmanned aerial vehicle in precision farming. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Shumakovskiy chteniye"* [Reclamation and water management: materials of All-Russian scientific and practical conference "Shumakov readings"]. Novocherkassk, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 3–5 (In Russian).
13. Meshchaninova E. G., Postoyalko A. G. Using UAVs to solve problems of rational land use. *Teoriya i praktika ekonomiki i predprinimatel'stva: XVI Vserossiyskaya s mezhdunarodnym uchastiyem nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Theory and practice of economics and entrepreneurship: materials of XVI All-Russian scientific and practical conference]. Simferopol, Gurzuf, 2019, pp. 148–150 (In Russian).
14. Brilevskij M. N. *Fizicheskaya geografiya Belarusi* [Physical geography of Belarus]. Minsk, BSU Publ., 2022. 119 p. (In Russian).
15. Zenmuse L1 multifunctional camera with LiVOX lidar module. Available at: https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves_s_kameroy_dji_zenmuse_l1 (accessed 13.03.2024) (In Russian).
16. Operational documentation of AMKODOR. Available at: <https://amkodor.by/services/ekspluatatsionnaya-dokumentatsiya> (accessed 13.03.2024) (In Russian).

Информация об авторе

Цай Сергей Сергеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tsai@belstu.by

Information about the author

Tsai Siarhey Siarheevich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tsai@belstu.by

Поступила 13.03.2024