

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 1 (96). С. 29–39.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 1 (96). P. 29–39.

Научная статья

УДК: 630.232:630.587:528.88

DOI: 10.51318/FRET.2026.96.1.003

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ БПЛА В УСЛОВИЯХ АЛТАЕ-НОВОСИБИРСКОГО РАЙОНА ЛЕСОСТЕПЕЙ И ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ

Алексей Евгеньевич Осипенко¹, Регина Александровна Осипенко²,
Артем Игоревич Чермных³, Семен Александрович Медведев⁴

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ osipenkoae@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>

² osipenkora@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3359-3079>

³ chermnyhai@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5573-0092>

⁴ medvedevsa@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4211-605X>

Аннотация. Проведено сравнение таксационных характеристик культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), определенных методами наземного обследования и аэрофотосъемки с использованием беспилотного летательного аппарата в условиях юго-западной части ленточных боров Алтайского края. Исследование выполнено на семи участках лесных культур, созданных на крупноплощадных гарях, со средним биологическим возрастом культивируемых растений от 3 до 11 лет. На пробных площадях фиксировались возраст, густота, высота растений и диаметр их крон. Аэрофотосъемка выполнялась БПЛА DJI Phantom 4 Pro+ на высотах 50 и 85 м при пространственном разрешении 1,36–2,32 см/пикс. На ортофотопланах идентифицировались культивируемые растения с определением площади проекций их крон и эквивалентного диаметра. Метод аэрофотосъемки выявил в среднем на 18,7 % меньше растений. Не удалось зафиксировать преимущественно мелкие растения 2–3-летнего возраста, высаженные при дополнениях лесных культур. Средние диаметры крон по данным аэрофотосъемки в четырех из семи случаев были статистически значимо выше по сравнению с результатами наземных измерений (на 4,9–18,1 см), особенно велики различия оказались в культурах третьего года роста. Для культур пятого и десятого года роста различия не превышали 2,6–8,2 см и значимых различий между методами измерений в большинстве случаев выявлено не было. Сделан вывод о возможности применения апробированной методики при инвентаризации лесных культур пятого года роста и при отнесении несомкнувшихся лесных культур к землям, на которых расположены леса. Рекомендовано снизить высоту полета до 30–40 м при обследовании культур первого и третьего года роста, проводить съемку в период отсутствия зеленой травянистой растительности при солнечной погоде. Предложено увеличить густоту посадки лесных культур на крупноплощадных гарях района исследований до 5–6 тыс. шт./га.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна обыкновенная, беспилотный летательный аппарат, ортофотоплан, крона, высота, густота

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-00009, <https://rscf.ru/project/24-76-00009/>

Для цитирования: Инвентаризация лесных культур с применением БПЛА в условиях Алтай-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров / А. Е. Осипенко, Р. А. Осипенко, А. И. Чермных, С. А. Медведев // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 1 (96). С. 29–39.

Original article

FOREST CROPS INVENTORY USING UAV IN THE ALTAI-NOVOSIBIRSK REGION OF THE FOREST STEPPES AND RIBBON FORESTS

Alexey E. Osipenko¹, Regina A. Osipenko², Artyom I. Chermnykh³,
Semyon A. Medvedev⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ osipenkoae@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6148-1747>

² osipenkora@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3359-3079>

³ chermnyhai@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5573-0092>

⁴ medvedevsa@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0009-0004-4211-605X>

Abstract. A comparison of the taxation characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest crops, obtained by ground survey and aerial photography using an unmanned aerial vehicle (UAV) in the southwestern part of the ribbon forests of the Altai Krai was conducted. The research was conducted on seven forest crops plots established on large-scale burnt forest plots with an average biological age of the cultivated plants from 3 to 11 years. On the sample plots, age, density, tree height, and crown diameter were recorded. Aerial photography was performed by DJI Phantom 4 Pro+ UAV at altitudes of 50 and 85 m with a spatial resolution of 1,36–2,32 cm/pixel. Cultivated plants were identified on image maps determining the projected area of their crowns and their equivalent diameter. The aerial photography method detected, on average, 18,7 % fewer plants. Predominantly small 2–3-year-old plants planted during supplements to forest crops could not be reliably recorded. The average crown diameters derived from the aerial data were statistically higher in 4 of the 7 cases, by 4,9–18,1 cm, compared with ground measurements, with the largest discrepancies observed in third-year forest crops. For fifth- and tenth-year growth forest crops, differences did not exceed 2,6–8,2 cm, and significant differences between measurement methods were not detected in most cases. The research concluded that the tested methodology could be applied for inventory of fifth-year growth forest crops and for classifying non-closed forest crops as lands bearing forests. It is recommended to reduce flight altitude to 30–40 m when surveying first- and third-year growth forest crops and to conduct imaging in periods without green herbaceous vegetation. It was proposed to increase the planting density of forest crops on large-scale burnt forest plots in the research area to 5,000–6,000 trees per hectare.

Keywords: forest crops, Scots pine, unmanned aerial vehicle, orthophotomap, crown, height, density

Funding: the research was supported by the Russian Science Foundation grant № 24-76-00009, <https://rscf.ru/project/24-76-00009/>

For citation: Forest crops inventory using UAV in the Altai-Novosibirsk region of the forest steppes and ribbon forests / A. E. Osipenko, R. A. Osipenko, A. I. Chermnykh, S. A. Medvedev // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 1 (96). P. 29–39.

Введение

В последние годы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно внедряются в практику лесного хозяйства России и зарубежных стран, становясь важным инструментом мониторинга состояния лесов (UAV-Based..., 2019; Филатов и др., 2022; Potential of..., 2024). Их применение существенно повышает оперативность получения и точность информации о различных лесных участках, а также сокращает трудозатраты при выполнении полевых работ (Опыт применения..., 2020; Перевод лесных культур..., 2022).

Исследования показывают, что БПЛА успешно применяются для оценки процесса формирования молодняков на вырубках и гарях (Ольхин и др., 2023; Оценка..., 2022; Денисов и др., 2016), для инвентаризации и оценки опытных лесных культур (Опыт применения..., 2020), а также для анализа структуры и состояния подроста и молодняков (Филатов и др., 2022). Использование беспилотных систем позволяет проводить пространственный анализ и строить цифровые модели насаждений и крон отдельных деревьев для получения данных о видовом составе, высоте, полноте, густоте, площади крон и других таксационных показателях (Determining tree..., 2016; Опыт применения..., 2017; Демидов, 2021; Использование..., 2025; Применение..., 2023).

В зарубежных работах исследования направлены на повышение точности построения фотограмметрических моделей для определения высоты деревьев и структуры древостоев (Automated inventory..., 2022; UAV Photogrammetry..., 2023; Potential..., 2024). Кроме того, БПЛА применяются для оценки состояния плантаций (Corbin, Bataineh, 2024; UAV-enabled..., 2025), автоматического распознавания отдельных деревьев (Tree recognition..., 2021), а также для мониторинга санитарного состояния насаждений (Иванчина и др., 2018; The use of..., 2025). Особое значение при дистанционной оценке имеет измерение параметров крон деревьев (диаметр, форма, высота, площадь проекции), так как они тесно связаны с таксационными показателями и физиологическим состоянием растений (Фомин и др., 2015; Determining tree..., 2016; UAV-Based..., 2019; Unmanned aerial..., 2021).

Анализ современных исследований показывает, что применение БПЛА для инвентаризации и оценки лесных культур является одним из наиболее динамично развивающихся направлений лесной науки. Вместе с тем число работ, в которых результаты аэрофотосъемки непосредственно сопоставляются с данными наземных измерений, остается ограниченным, а исследования, выполненные в условиях Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров, отсутствуют.

Цель, методика и объекты исследования

Цель исследования – сравнение таксационных характеристик лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), определенных по данным наземного обследования и аэрофотосъемки с использованием БПЛА в условиях Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров.

Обследование лесных культур проведено в июле 2024 г. на территории Ракитовского лесничества Алтайского края. Объектом исследования являлись культуры сосны обыкновенной 1–9-го года роста, созданные на крупноплощадных гарях в условиях типа леса сухой бор пологих всхолмлений. Для лесовосстановления использовались семена с открытой (участки 1–3) и закрытой корневыми системами (участки 4–7). Возраст посадочного материала составлял 1 год – для ПП 5 и 6 и 2 года для остальных участков. Посадка осуществлялась в дно борозд с использованием меча Колесова и лесопосадочной трубы Pottiputki. Густота посадки составляла от 2,4 на ПП 5 до 6,0 тыс. шт./га на ПП 1.

Для проведения измерений на территории опытных участков закладывались пробные площади (ПП) прямоугольной формы площадью не менее 0,25 га. Контуры ПП обозначались кольями и сигнальными метками из цветной ткани, что обеспечивало их точную идентификацию на местности и на ортофотопланах.

На каждой ПП выполнялся сплошной учет живых экземпляров сосны с разделением по происхождению (искусственное, естественное). Для характеристики таксационных показателей проводились измерения высоты деревьев, диаметров

крон (поперек и вдоль рядов культур) и ширины междурядий. Для каждого показателя выполнялось не менее 30 измерений. Все измерения осуществлялись измерительной рулеткой с точностью до 1 см.

Аэрофотосъемка опытных участков выполнялась с использованием БПЛА DJI Phantom 4 Pro+, управляемого через приложение PIX4Dcapture Pro. Съемка проводилась на высотах 50 и 85 м со средней скоростью полета 3,8 и 4,6 м/с соответственно. Применялась камера DJI FC6310 с фокусным расстоянием 9 см. Параметры съемки: продольное и поперечное перекрытие – 80 %, угол наклона камеры 90°. Снимки сохранялись в формате JPEG с разрешением 5472×3648 пикселей. Пространственное разрешение (GSD) составляло 1,36 и 2,32 см/пикс.

Создание ортофотопланов осуществлялось в программе Agisoft PhotoScan Professional 1.4.3.6488 путем объединения снимков, полученных с двух высот. Идентификация деревьев и выделение контуров крон проводились по результатам дешифрирования ортофотопланов.

Средний диаметр кроны по данным БПЛА определялся в программе ArcGIS Pro 3.5.3 на основании расчета площади проекции кроны. После выделения контура (периметра) кроны вычислялись площадь и длина периметра, а затем в программе MS Excel определялся эквивалентный диаметр по площади d_A по формуле

$$d_A = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}},$$

где S – площадь проекции кроны;

π – математическая константа.

Статистическая обработка результатов выполнялась в программе IBM SPSS Statistics 27. Проверка нормальности распределения данных о среднем диаметре крон проводилась с использованием критериев Колмогорова – Смирнова (с коррекцией значимости по Лильефорсу) и Шапиро – Уилка.

Для сравнения средних значений парных наборов данных, полученных методами наземных измерений и с применением БПЛА, использовались следующие критерии: t -критерий Стьюдента – при нормальном распределении данных в обеих

выборках; U -критерий Манна – Уитни – при отклонении хотя бы одной выборки от нормальности. Однородность дисперсий проверялась тестом Левене.

Результаты и их обсуждение

Результаты наземного обследования лесных культур и дешифрирования ортофотопланов приведены в табл. 1. Пример ортофотоплана с обведенными границами пробной площади (желтый цвет) и контурами проекций крон культивируемых растений (красный цвет) представлен на рис. 1.

В соответствии с действующими правилами лесовосстановления (Приказ Минприроды России от 29.12.2021 г. № 1024) в Алтае-Новосибирском районе лесостепей и ленточных боров в условиях лишайниковой группы типов леса, к которой относится исследуемый тип леса, к сосновым молоднякам, площади которых подлежат отнесению к землям, на которых расположены леса, предъявляются следующие требования: средний возраст (давность посадки) – не менее 6 лет; густота – не менее 2,5 тыс. шт./га; средняя высота – не менее 0,9 м.

Указанным требованиям соответствуют только лесные культуры на ПП 1, где давность посадки составляла 10 лет. На ПП 2–4 обследовались культуры пятого года роста, а на ПП 5–6 – третьего года роста. Однако в связи с неоднократным дополнением исследуемых лесных культур более молодыми растениями средний биологический возраст растений на всех ПП, кроме 5 и 6, оказался на 1–2 года ниже ожидаемого. При этом установлено, что густота лесных культур на участках 2–7 не соответствует требованиям правил лесовосстановления, что указывает на необходимость очередного приема дополнения культур.

Согласно результатам аэрофотосъемки, на всех пробных площадях количество выявленных культивируемых растений оказалось в среднем на 18,7 % меньше по сравнению с данными наземного обследования. На ортофотоплане не были отражены преимущественно мелкие растения 2–3-летнего возраста, высаженные при дополнениях лесных культур.

Таблица 1
Table 1

Средние таксационные показатели культур сосны обыкновенной
Average taxation indicators of Scots pine forest crops

№ ПП № SP	Возраст биологический, лет Biological age, years	Густота, тыс. шт./га Density, thousand trees/ha	Приживаемость (сохранность), % Survival rate, %	Высота, м Height, m	Диаметр кроны, см Crown diameter, cm	Проективное покрытие крон, % Crown cover, %
По данным наземного обследования From ground survey data						
1	11	4,7	78	1,97 ± 0,15	83,7 ± 7,0	26,34
2	6	2,3	53	0,57 ± 0,03	46,8 ± 2,5	4,00
3	5	1,1	37	0,29 ± 0,03	25,3 ± 2,4	1,56
4	5	1,7	52	0,36 ± 0,03	34,1 ± 2,9	0,57
5	4	1,7	71	0,17 ± 0,01	15,3 ± 0,9	0,32
6	4	1,4	47	0,18 ± 0,01	16,4 ± 1,1	0,29
7	3	0,3	9	0,13 ± 0,01	10,6 ± 1,2	0,02
По данным аэрофотосъемки From aerial survey data						
1	11	3,8	63	1,34 ± 0,02	76,4 ± 0,7	18,54
2	6	2,3	52	0,71 ± 0,01	49,4 ± 0,6	4,66
3	5	0,7	24	0,60 ± 0,03	43,4 ± 1,3	1,21
4	5	1,3	39	0,57 ± 0,02	42,3 ± 0,8	2,02
5	4	1,3	54	0,20 ± 0,01	20,5 ± 0,5	0,52
6	4	1,2	41	0,20 ± 0,01	21,3 ± 0,5	0,49
7	3	0,1	5	0,27 ± 0,02	25,9 ± 1,4	0,08

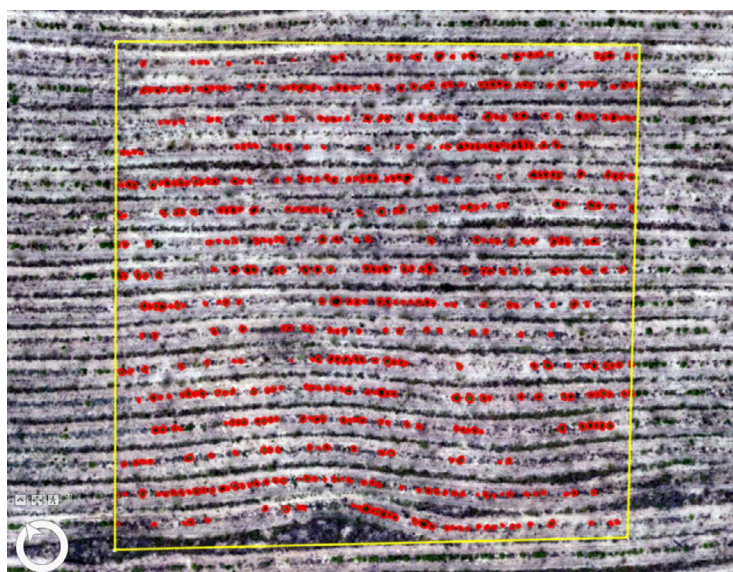


Рис. 1. Ортофотоплан участка лесных культур (ПП 2) с обозначением границ ПП и контуров проекций крон культивируемых растений
Fig. 1. Orthophotomap of the forest crops plot (Sample Plot 2) with its boundaries SP and the crown projection contours of the cultivated plants

Выявленные различия обусловлены совокупностью факторов. Во-первых, недостаточная детализация исходных снимков приводит к слиянию мелких семян с травянистой растительностью, что затрудняет их идентификацию. Во-вторых, при построении ортофотоплана часть информации теряется вследствие объединения снимков, при котором размер пикселя на местности увеличивается примерно на 5–15 %. В-третьих, близкое расположение некоторых деревьев приводит к наложению крон, что визуально формирует единую проекцию и снижает точность подсчета.

С целью оценки высоты культивируемых растений по данным ортофотоплана на основе результатов наземных измерений и их статистического обобщения была установлена зависимость между высотой деревьев и диаметром их крон (рис. 2).

В табл. 2 приведены результаты проверки нормальности распределения диаметров крон сосны обыкновенной, полученные на основе данных наземного обследования и аэрофотосъемки.

Анализ нормальности распределения диаметров крон показал, что в большинстве случаев нет оснований для отклонения нулевой гипотезы. В случае аэрофотосъемки отклонения могут быть

обусловлены потерей части растений при дешифрировании. На ПП 2 распределение, по данным аэрофотосъемки, несмотря на разнонаправленные результаты тестов, было признано нормальным. При больших выборках (>200) тест Колмогорова – Смирнова чрезмерно чувствителен, поэтому в подобных случаях целесообразно использовать тест Шапиро – Уилка.

Результаты проверки значимости различий средних значений диаметров крон сосны, полученных по данным наземного обследования и аэрофотосъемки, приведены в табл. 3.

Метод обследования статистически значимо повлиял на средние диаметры крон в четырех из семи случаев, при этом значения, полученные по данным аэрофотосъемки, были завышены. Существенные различия выявлены преимущественно для растений возрастом до 4 лет, тогда как результаты обмера более старших растений (5 лет и более) разными методами сопоставимы для большей части ПП. При значимых различиях аэрофотосъемка давала превышение средних диаметров на 4,9–18,1 см (30–144 %), максимум зафиксирован на ПП 7 (возраст растений – 3 года). При отсутствии статистически значимых различий разница составила 2,6–8,2 см (<25 %).

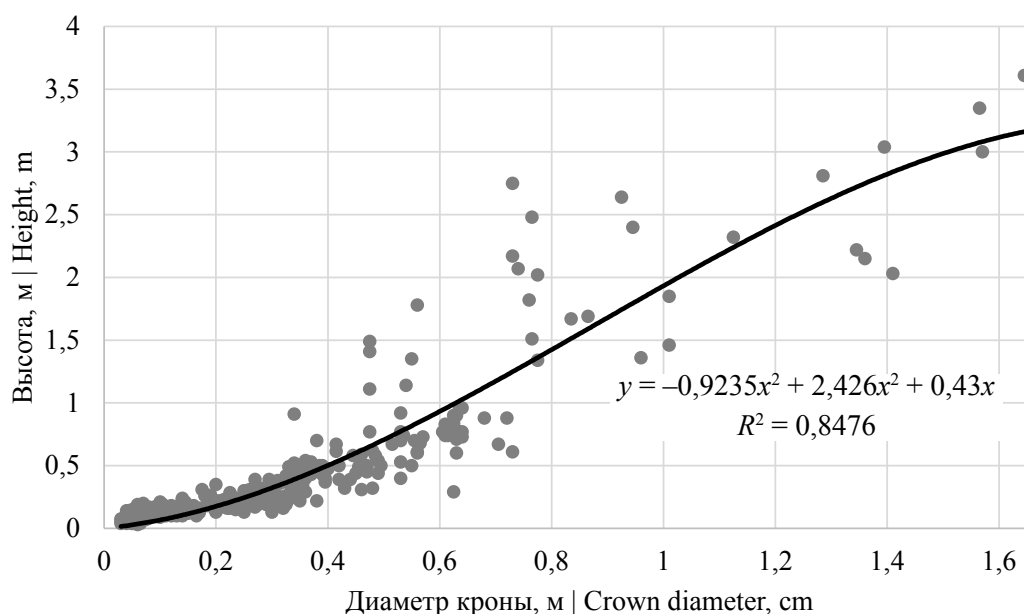


Рис. 2. Зависимость высоты деревьев сосны обыкновенной от диаметра кроны на участках лесных культур

Fig. 2. Dependence of Scots pine tree height on crown diameter in the forest crops plots

Таблица 2

Table 2

Проверка нормальности распределения диаметров крон сосны
Normality test for the distribution of Scots pine crown diameters

№ ПП № SP	Количество учтенных растений, шт. Number of recorded plants, pcs.	Критерий Колмогорова – Смирнова Kolmogorov–Smirnov test		Критерий Шапиро – Уилка Shapiro – Wilk test	
		<i>D</i>	<i>p</i>	<i>W</i>	<i>p</i>
По данным наземного обследования From ground survey data					
1	30	0,186	0,012	0,908	0,016
2	30	0,135	0,165	0,945	0,124
3	52	0,121	0,056	0,930	0,005
4	32	0,086	0,200*	0,966	0,389
5	94	0,230	< 0,001	0,842	< 0,001
6	64	0,214	< 0,001	0,897	< 0,001
7	30	0,241	< 0,001	0,834	< 0,001
По данным аэрофотосъемки From aerial survey data					
1	977	0,045	< 0,001	0,983	< 0,001
2	568	0,051	0,001	0,995	0,059
3	180	0,079	0,009	0,971	< 0,001
4	330	0,040	0,200*	0,994	0,256
5	338	0,140	< 0,001	0,924	< 0,001
6	315	0,120	< 0,001	0,931	< 0,001
7	35	0,097	0,200*	0,949	0,108

Примечание. 0,200* – нижняя граница истинного *p*-значения; жирным шрифтом выделены *p*-значения, при которых распределение признается нормальным.

Note. 0,200* – denotes lower bound of the true *p*-value; bold font indicates *p*-values at which the distribution is considered normal.

Таблица 3

Table 3

Проверка значимости различий средних значений диаметров крон сосны
по данным наземного обследования и аэрофотосъемки
Test of differences in the average crown diameter values of Scots pine according
to ground survey and aerial photography

№ ПП № SP	<i>U</i> -критерий Манна – Уитни Mann – Whitney <i>U</i> test		<i>t</i> -критерий <i>t</i> -test		Различие значимо Significant difference
	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	
1	0,300	< 0,764	–	–	Нет No
2	–	–	0,949	0,343	Нет No
3	–5,000	< 0,001	–	–	Да Yes
4	–	–	0,396	0,692	Нет No
5	–5,471	< 0,001	–	–	Да Yes
6	–4,566	< 0,001	–	–	Да Yes
7	–5,789	< 0,001	–	–	Да Yes

Выводы

1. Апробированная методика инвентаризации лесных культур с применением БПЛА показала высокую эффективность при обследовании культур со средним возрастом культивируемых растений 5 лет и старше, но не обеспечила достоверных результатов для более молодых растений.

2. Значительная часть сеянцев, высаженных при дополнении лесных культур на исследуемых участках, не была идентифицирована на ортофотопланах, что существенно снизило точность измерений с применением БПЛА.

3. Для повышения точности обследования культур 1-го и 3-го года роста рекомендуется снижать высоту полета БПЛА до 30–40 м и проводить

съемку в весенний или осенний периоды при солнечной погоде, что улучшит дешифрирование за счет отсутствия зеленой травянистой растительности и наличия теней.

4. На обследованных участках лесных культур густота посадки 2,4–4,4 тыс. шт./га не обеспечила количество растений, достаточное для отнесения несомкнувшихся культур к землям, на которых расположены леса. В связи с этим рекомендуется увеличить густоту посадки на крупноплощадных гарях района исследований до 5–6 тыс. шт./га.

5. Дальнейшие исследования могут быть направлены на испытание алгоритмов машинного обучения для автоматического распознавания мелких сеянцев на снимках сверхвысокого разрешения.

Список источников

- Демидов Д. Н. Исследование алгоритма оценки параметров предполетной ориентации средств управления беспилотного летательного аппарата при мониторинге молодых лесных насаждений // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 4 (44). С. 100–111. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/9
- Денисов С. А., Домрачев А. А., Елсуков А. С. Опыт применения квадрокоптера для мониторинга возобновления леса // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. : Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 4 (32). С. 34–46. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34
- Иванчина Л. А., Залесов С. В., Калугина Д. В. Использование квадрокоптера для изучения устойчивости еловых древостоев в различных условиях местопроизрастания // Актуальные вопросы биогеографии : матер. Междунар. конф. СПб. : СПб. гос. ун-т, 2018. С. 158–160.
- Использование оптико-электронных материалов съемки с беспилотных летательных аппаратов для контроля качества несомкнувшихся лесных культур хвойных пород / С. С. Цай, М. А. Ильючик, И. В. Толкач, Е. А. Шульга // Труды БГТУ. Сер. 1 : Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 5–13. DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-1
- Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 декабря 2021 г. № 1024. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403417664/?ysclid=mivp35d1u818866750> (дата обращения: 10.10.2025).
- Ольхин Ю. В., Гаврилова О. И., Грязькин А. В. Использование беспилотного летательного аппарата для оценки процесса формирования молодняков на вырубках // Resources and Technology. 2023. Т. 20. № 3. С. 60–75. DOI: 10.15393/j2.art.2023.7163
- Опыт применения беспилотного летательного аппарата для инвентаризации и оценки опытных лесных культур Лисинской части учебно-опытного лесничества Ленинградской области / А. С. Алексеев, Ю. И. Данилов, А. А. Никифоров [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2020. № 2. С. 46–58. DOI: 10.21178/2079-6080.2020.2.46
- Опыт применения квадрокоптера для создания трехмерной модели лесных насаждений / А. Е. Осипенко, Я. Коукал, И. А. Панин [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2017. № 4 (63). С. 16–22.

- Оценка естественного возобновления леса на гари с использованием данных, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата / *А. В. Кабонен, О. И. Гаврилова, А. В. Грязькин, К. А. Пак* // Сибирский лесной журнал. 2022. № 2. С. 11–20. DOI: 10.15372/SJFS20220202
- Перевод лесных культур в покрытую лесом площадь с использованием беспилотных летательных аппаратов / *Ю. В. Ольхин, О. И. Гаврилова, А. В. Грязькин, А. В. Кабонен* // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 89–103. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.89-103
- Применение ГИС-технологий при обследовании состояния лесных культур в зеленой зоне г. Астаны / *А. Н. Кабанов, А. С. Оспангалиев, С. А. Кабанова* [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. : Агронимия и животноводство. 2023. Т. 18, № 3. С. 361–372. DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-361-372
- Филатов А. А., Грязькин А. В., Гаврилова О. И.* Оценка структуры и состояния молодняков с использованием беспилотных летательных аппаратов и наземным методом // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 4. С. 21–28. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-21-28
- Фомин В. В., Залесов С. В., Магасумова А. Г.* Методики оценки густоты подроста и древостоев при за­растании сельскохозяйственных земель древесной растительностью с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения // Аграрный вестник Урала. 2015. № 1 (131). С. 25–29.
- Automated Inventory of Broadleaf Tree Plantations with UAS Imagery / *A. Chandrasekaran, G. Shao, S. Fei* [et al.] // Remote Sens. 2022. № 14 (8). P. 1931. DOI: 10.3390/rs14081931
- Corbin T., Bataineh M.* Examination of Drone Usage in Estimating Hardwood Plantations Structural Metrics // Wetlands. 2024. Vol. 44, № 51. P. 1–12. DOI: 10.1007/s13157-024-01807-6
- Determining Tree Height and Crown Diameter from High-Resolution UAV Imagery / *D. Panagiotidis, A. Abdollahnejad, P. Surový, V. Chiteculo* // International Journal of Remote Sensing. 2016. № 38 (8–10). P. 2392–2410. DOI: 10.1080/01431161.2016.1264028
- Potential of Lightweight Drones and Object-Oriented Image Segmentation in Forest Plantation Assessment / *J. Dixit, A. K. Bhardwaj, S. K. Gupta* [et al.] // Remote Sens. 2024. № 16. P. 1554. DOI: 10.3390/rs16091554
- The use of UAV-based systems in monitoring forest health: Potentials and challenges / *A. Manase, A. Manyevere, M. A. M Abd Elbasit, C. V. Mashamaite* // Scientific African. 2025. Vol. 28. P. e02724. DOI: 10.1016/j.sciaf.2025.e02724
- Tree Recognition on the Plantation Using UAV Images with Ultrahigh Spatial Resolution in a Complex Environment / *X. Guo, Q. Liu, R.P. Sharma* [et al.] // Remote Sens. 2021. Vol. 13, № 20. P. 4122. DOI: 10.3390/rs13204122
- UAV Photogrammetry for Estimating Stand Parameters of an Old Japanese Larch Plantation Using Different Filtering Methods at Two Flight Altitudes / *J. Karthigesu, T. Owari, S. Tsuyuki, T. Hiroshima* // Sensors (Basel). 2023. Vol. 18, № 23 (24). P. 9907. DOI: 10.3390/s23249907
- UAV-Based Photogrammetric Tree Height Measurement for Intensive Forest Monitoring / *S. Krause, T. G. M. Sanders, J.-P. Mund, K. Greve* // Remote Sensing. 2019. № 11 (7). P. 758. DOI: 10.3390/rs11070758
- UAV-enabled evaluation of forestry plantations: A comprehensive assessment of laser scanning and photogrammetric approaches / *R. J. L. Hartley, S. Jayathunga, J. S. Elleouet* [et al.] // Science of Remote Sensing. 2025. Vol. 12. P. 100245. DOI: 10.1016/j.srs.2025.100245
- Unmanned aerial vehicles (UAV)-based canopy height modeling under leaf-on and leaf-off conditions for determining tree height and crown diameter (case study: Hyrcanian mixed forest) / *V. Nasiri, A. A. Darvishsefat, H. Arefi* [et al.] // Canadian Journal of Forest Research. 2021. № 51 (7). P. 962–971. DOI: 10.1139/cjfr-2020-0125

References

- Application of GIS technologies in surveying the state of forest crops in the green zone of Astana / *A. N. Kabanov, A. S. Ospangaliev, S. A. Kabanova* [et al.] // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry. 2023. Vol. 18, № 3. P. 361–372. DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-361-372 (In Russ.)
- Assessment of natural forest regeneration after fire using data obtained with UAV / *A. V. Kabonen, O. I. Gavrilova, A. V. Gryazkin, K. A. Pak* // Siberian Forest Journal (Sib. J. For. Sci.). 2022. № 2. P. 11–20. DOI: 10.15372/SJFS20220202 (In Russ.)
- Automated Inventory of Broadleaf Tree Plantations with UAS Imagery / *A. Chandrasekaran, G. Shao, S. Fei* [et al.] // Remote Sens. 2022. № 14 (8). P. 1931. DOI: 10.3390/rs14081931
- Corbin T., Bataineh M.* Examination of Drone Usage in Estimating Hardwood Plantations Structural Metrics // Wetlands. 2024. Vol. 44, № 51. P. 1–12. DOI: 10.1007/s13157-024-01807-6
- Demidov D. N.* Investigation of the algorithm for estimating the parameters of the preflight orientation of the controls of an unmanned aerial vehicle when monitoring young forest stands // Forestry Engineering journal. 2021. Vol. 11, № 4 (44). P. 100–111. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/9 (In Russ.)
- Denisov S. A., Domrachev A. A., Elsuikov A. S.* Quadcopter Practical Application for Forest Regeneration Monitoring // News of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2016. № 4 (32). P. 34–46. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34 (In Russ.)
- Determining Tree Height and Crown Diameter from High-Resolution UAV Imagery / *D. Panagiotidis, A. Abdollahnejad, P. Surový, V. Chiteculo* // International Journal of Remote Sensing. 2016. № 38 (8–10). P. 2392–2410. DOI: 10.1080/01431161.2016.1264028
- Experience in unmanned air vehicle application for inventory and assessment of experimental forest plantations in Lisino part of training and experimental forest district of Leningrad region / *A. S. Alekseev, Yu. I. Danilov, A. A. Nikiforov* [et al.] // Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute. 2020. № 2. P. 46–58. DOI: 10.21178/2079-6080.2020.2.46 (In Russ.)
- Filatov A. A., Gryazkin A. V., Gavrilova O. I.* Unmanned aerial vehicles and land technique assessment of young forest stands // Forest news / Forestry Bulletin. 2022. Vol. 26, № 4. P. 21–28. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-21-28 (In Russ.)
- Fomin V. V., Zalesov S. V., Magasumova A. G.* Methods of tree stands density assessment of agricultural land reforestation with the use of satellite images with high spatial resolution // Scientific Agrarian Journal. 2015. № 1 (131). P. 25–29. (In Russ.)
- Ivanchina L. A., Zalesov S. V., Kalugina D. V.* Using a quadcopter to study the stability of spruce stands under various forest growth conditions // Topical Issues of Biogeography : Proceedings of the International Conference. Saint Petersburg : Saint Petersburg State University. 2018. P. 158–160. (In Russ.)
- On approval of the Rules of Reforestation, the form, composition, procedure for approving the reforestation project, the grounds for refusal to approve it, as well as the requirements for the format in electronic form of the reforestation project : Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated December 29, 2021. № 1024. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403417664/?ysclid=mivp35d1u818866750> (accessed 10.10.2025).
- Olkhin Yu. V., Gavrilova O. I., Gryazkin A. V.* The use of unmanned aerial vehicles to assess young trees formation in clean cutting areas // Resources and Technology. 2023. Vol. 20, № 3. P. 60–75. DOI: 10.15393/j2.art.2023.7163 (In Russ.)
- Potential of Lightweight Drones and Object-Oriented Image Segmentation in Forest Plantation Assessment / *J. Dixit, A. K. Bhardwaj, S. K. Gupta* [et al.] // Remote Sens. 2024. № 16. P. 1554. DOI: 10.3390/rs16091554

- The experience of quadrupter using for three dimentional modelof forest growing stocus / *A. E. Osipenko, J. Koukal, I. A. Panin* [et al.] // *Forests of Russia and economy in them*. 2017. № 4 (63). P. 16–22. (In Russ.)
- The use of UAV-based systems in monitoring forest health: Potentials and challenges / *A. Manase, A. Manyevere, M. A. M Abd Elbasit, C. V. Mashamaite* // *Scientific African*. 2025. Vol. 28. P. e02724. DOI: 10.1016/j.sciaf.2025.e02724
- Transfer of artificial reforestftion to a forested area using unmanned aerial vehicles / *Yu. V. Olkhin, O. I. Gavrilova, A. V. Gryazkin, A. V. Kabonen* // *Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy*. 2022. Vol. 239. P. 89–103. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.89-103 (In Russ.)
- Tree Recognition on the Plantation Using UAV Images with Ultrahigh Spatial Resolution in a Complex Environment / *X. Guo, Q. Liu, R.P. Sharma* [et al.] // *Remote Sens*. 2021. Vol. 13, № 20. P. 4122. DOI: 10.3390/rs13204122
- UAV Photogrammetry for Estimating Stand Parameters of an Old Japanese Larch Plantation Using Different Filtering Methods at Two Flight Altitudes / *J. Karthigesu, T. Owari, S. Tsuyuki, T. Hiroshima* // *Sensors (Basel)*. 2023. Vol. 18, № 23 (24). P. 9907. DOI: 10.3390/s23249907
- UAV-Based Photogrammetric Tree Height Measurement for Intensive Forest Monitoring / *S. Krause, T. G. M. Sanders, J.-P. Mund, K. Greve* // *Remote Sensing*. 2019. № 11 (7). P. 758. DOI: 10.3390/rs11070758
- UAV-enabled evaluation of forestry plantations: A comprehensive assessment of laser scanning and photogrammetric approaches / *R. J. L. Hartley, S. Jayathunga, J. S. Elleouet* [et al.] // *Science of Remote Sensing*. 2025. Vol. 12. P. 100245. DOI: 10.1016/j.srs.2025.100245
- Unmanned aerial vehicles (UAV)-based canopy height modeling under leaf-on and leaf-off conditions for determining tree height and crown diameter (case study: Hyrcanian mixed forest) / *V. Nasiri, A. A. Darvishsefat, H. Arefi* [et al.] // *Canadian Journal of Forest Research*. 2021. № 51 (7). P. 962–971. DOI: 10.1139/cjfr-2020-0125
- Using optical-electronic materials from unmanned aerial vehicles for quality control of unclosed coniferous forest crops / *S. S. Tsai, M. A. Ilyuchik, I. V. Tolkach, E. A. Shulga* // *Proceedings of BSTU. Issue 1 : Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*. 2025. № 2 (294). P. 5–13. DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-1 (In Russ.)

Информация об авторах

Алексей Евгеньевич Осипенко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
Регина Александровна Осипенко – кандидат сельскохозяйственных наук;
Артем Игоревич Чермных – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
Семен Александрович Медведев – магистрант.

Information about the authors

Alexey E. Osipenko – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;
Regina A. Osipenko – Candidate of Agricultural Sciences;
Artyom I. Chermnykh – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;
Semyon A. Medvedev – Master's student.

Статья поступила в редакцию 20.10.2025; принята к публикации 25.11.2025.

The article was submitted 20.10.2025; accepted for publication 25.11.2025.
