

## ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ И СОСТОЯНИЯ МОЛОДНЯКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И НАЗЕМНЫМ МЕТОДОМ

Филатов<sup>1</sup>, А.В. Грязькин<sup>1✉</sup>, О.И. Гаврилова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер, д. 5, литера У

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», 185096, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33

lesovod@bk.ru

Представлены материалы по оценке структуры и состояния молодняков смешанного состава, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов и классического наземного метода. Съёмка лесного участка осуществлялась квадрокоптерами. Наземным методом проведена оценка структуры и состояния молодняков, подлеска и живого напочвенного покрова на круговых учетных площадках по 10 м<sup>2</sup>. На каждом объекте закладывали по 48 учетных площадок. Объекты исследования — молодняки естественного и искусственного происхождения. Установлено, что молодняки естественного происхождения сформировались на вырубке 2006 г., на площади 7 га. В их составе сосна, ель, береза, осина и ольха. Лесные культуры ели созданы в 2012 г. на площади 12 га. Показано, что нижние ярусы растительности и мелкий подрост с квадрокоптера не «читаются», при этом классический метод дает их детальные характеристики. Приведены дополнительные характеристики молодняков, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов. Показано, что результаты, полученные двумя методами, сопоставимы, ошибка по основным характеристикам не превышает 10 %. Сочетание двух методов дает более полную информацию по лесному участку. При этом у каждого из применяемых методов есть свои достоинства и свои недостатки.

**Ключевые слова:** структура, состояние, молодняки, беспилотный летательный аппарат, метод исследований

**Ссылка для цитирования:** 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

Область применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стремительно расширяется [1–4]. В коммерческих целях они используются уже более трех десятков лет [4]. Беспилотные летательные аппараты много лет применяются в сельском хозяйстве [5–7], дорожном строительстве [8], для мониторинга состояния окружающей среды [7, 9, 10] и во многих других областях хозяйственной деятельности. К тому же БПЛА успешно внедряют и в лесохозяйственное производство для выявления очагов вредителей и болезней [8, 12–14], лесных пожаров на ранней стадии их распространения [6, 9]. Кроме того, с помощью БПЛА дают оценку ущербу, нанесенному лесными пожарами, наводнениями и т. д. [8, 9], осуществляют инвентаризацию лесных культур [1, 11], оценивают состояние молодняков [6, 11, 15], а также применяют при посевных работах в труднодоступных участках леса при их большой площади [10, 13].

Оценки приживаемости и сохранности лесных культур, состояния и структуры молодняков традиционным методом — задача трудоемкая, требующая больших затрат времени [8, 11]. Объективная оценка состояния и структуры молодняков,

занимающих площади более 5 га, практически невозможна.

### Цель работы

Цель работы — сравнительная оценка состояния молодняков и определение их основных характеристик с помощью БПЛА и классического наземного метода.

### Объект и методика исследования

Объекты исследования — молодняки естественного и искусственного происхождения на территории Важинского участкового лесничества Подпорожского районного лесничества Ленинградской области. Молодняки естественного происхождения сформировались на вырубке 2006 г. Площадь участка — 7 га (квартал 196, выдел 24). В их составе сосна, ель, береза, осина и ольха. Лесные культуры ели созданы в 2012 г. на площади 12 га (квартал 196, выделы 14, 16, 20). Общий вид объектов исследования с высоты 110 м представлен на рис. 1.

Сравнительная оценка состояния и определение основных характеристик молодняков на опытном участке проведены с использованием БПЛА и наземного метода [6, 8, 15]. Съёмка выдела производилась квадрокоптерами моделей:

Т а б л и ц а 1

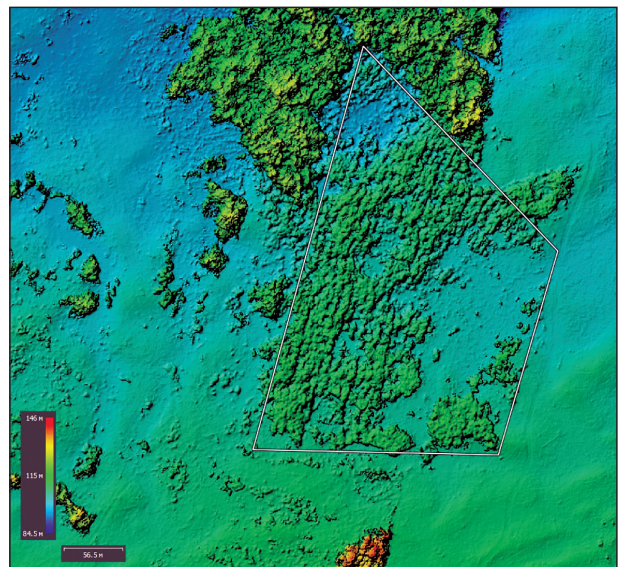
**Характеристики используемых устройств**  
**Characteristics of the devices used**

Показатель	DJI Phantom 4 PRO V1.0 с одночастотным геодезическим приемником Emlid Reach M	Квадрокоптер DJI Mavic Air 2
Масса, г	1388	570
Максимальная скорость в трех режимах (режим/ Mode), км/ч:		
S	72	69
A	58	55
P	50	48
Максимальная высота полета, м	5000	5000
Максимальная скорость ветра, м/с	до 15	до 15
Максимальное время полета, мин	Около 30	34
Спутниковые системы позиционирования	GPS/ГЛОНАСС	GPS/ГЛОНАСС
Емкость аккумулятора, мАч	5870	5200
Напряжение, В	15,2	11,55
Матрица, дюйм CMOS	1	2
Число эффективных пикселей, млн	20	20
Объектив:		
угол обзора, град. эквивалент	84	84
формата, мм	24	24
диафрагма	f/2,8–11	f/2,8
фокус, м	от 1 м до ∞	от 1 м до ∞
Диапазон рабочих температур, °С	0...+40	-10...+40
Передача видео на расстояние, км	7 (два канала) 4К/60 кадров/с	1080p: 10 4К/60 кадров/с
Расположение и количество датчиков, шт.:		
спереди	1	1
сзади	1	1
по бокам	–	1
сверху	–	1
снизу	1	1
Максимальное расстояние полета, км	14	18,5
<i>Примечание.</i> Информация приведена с официального сайта представительства компании DJI: <a href="https://www.dji.com/ru">https://www.dji.com/ru</a>		

DJI Phantom 4 PRO V1.0 с одночастотным геодезическим приемником Emlid Reach M и Mavic Air 2, с пространственным разрешением 3...4 см/пиксель при высоте съемки 100...120 м (табл. 1).



**Рис. 1.** Конфигурация объекта исследования с высоты 110 м (Важинское участковое лесничество, кв. 196, выд. 24)  
**Fig. 1.** Configuration of the object of study from a height of 110 m (Vazhinsky district forestry, block 196, allocated 24)



**Рис. 2.** Карта абсолютных высот в контурах объекта исследования  
**Fig. 2.** Map of absolute heights in the contours of the object



**Рис. 3.** Ортофотоплан объекта исследования  
**Fig. 3.** Orthophotoplan of the study object



Для построения ортофотоплана (рис. 2) и цифровой модели местности (рис. 3) была использована программа Agisoft Metashape Professional. DJI Fly и приложение к ней, которое предоставляет все необходимые инструменты для получения фотоснимков и видео.

Программное обеспечение по всему комплексу работ включало в себя следующие возможности:

- Agisoft metashape professional (передовое программное обеспечение, максимально раскрывающее возможности фотограмметрии в совокупности с компьютерным зрением, позволяет создавать высокдетализированные 3D-модели только по фотографиям, без использования дорогостоящего оборудования);

- Google Earth (программа для просмотра и работы со спутниковыми снимками с возможностью загрузки собственных ортофотопланов);

- QGIS Desktop (программа геоинформационных систем (ГИС), для создания, редактирования, визуализации и анализа геопространственной информации);

- Pix4D capture (программа, предназначенная для фотограмметрической обработки данных с БПЛА, получения ортофотопланов, цифровых моделей рельефа (ЦМР) и цифровых моделей местности (ЦММ), трехмерных моделей зданий, расчета объемов, карт высот);

- DJI GO (приложение, используемое для управления и съемки с квадрокоптеров фирмы DJI, позволяет изменять настройки камеры, выбирать режимы съемки, отслеживать статистику полетов);

- DJI Fly (приложение, которое предоставляет все необходимые инструменты для получения снимков и видео);

- FSPViewer (просмотрщик панорамных изображений, предназначен для просмотра фотографий с высоким разрешением в полноэкранный режиме, использует новейшие алгоритмы интерполяции, показывает высокое качество изображений без потери резкости);

- PanoramaStudio Pro (программа для создания панорамных изображений, позволяет создавать бесшовные 360-градусные, сферические и плоские панорамы из серии обычных фотографий);

- Adobe Lightroom (графический редактор, который обеспечивает полный цикл обработки фотографий, служит в качестве RAW-конвертера, позволяет быстро сортировать и обрабатывать изображения).

После проведения полевых работ с использованием БПЛА в фотограмметрическом программном обеспечении создается ортофотоплан по материалам съемки. Ортофотоплан возможно конвертировать и загружать в большинство ГИС с последующим редактированием.



**Рис. 4.** Запуск квадрокоптера в работу. Изображение и данные с борта передаются на монитор или в шлем оператора

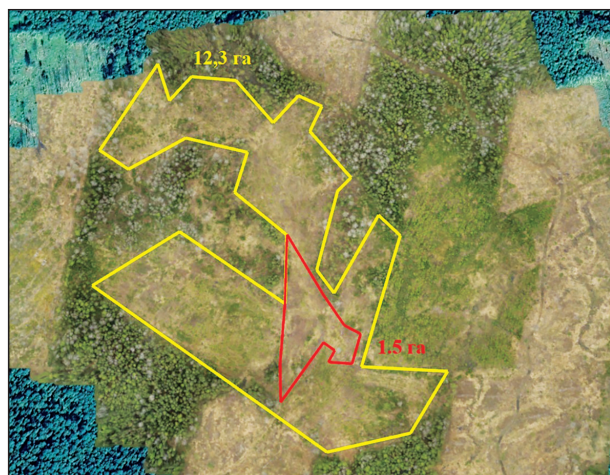
**Fig. 4.** Launching the quadcopter. The image and data from the board are transmitted to the monitor or to the operator's helmet

Полевые работы на первом объекте выполнены двумя методами — с использованием аэрофотоснимков, полученных с помощью квадрокоптеров (рис. 4 и 5) и с использованием оригинальной методики (наземным методом) [3]. Материалы учетных работ, полученные наземным методом, сравнивались с данными аэрофотосъемки. При этом устанавливалась численность молодняков по породам, распределение по группам высот и категориям состояния.

## Результаты и обсуждение

Комплексное обследование опытных объектов проведено во второй декаде мая 2021 г. Фенологические фазы развития древесных пород на момент проведения полевых работ были следующими — фаза распускания листьев (береза, ольха, ива) или фаза набухания почек (осина, рябина).

У сосны отмечено начало роста побегов, а у ели — фаза разверзания почек (сбрасывание покровных чешуек). Основные характеристики молодняков (численность по породам, средняя высота, виталитетная структура), полученные разными методами, совпадают с допустимой погрешностью.



a



b

**Рис. 5.** Второй опытный объект: контур биотопа (a) в виде куртины из осины (b), где проведение хозяйственных мероприятий нецелесообразно (выделено красным цветом), высота съемки 120 м, перекрытие продольное — 70, поперечное — 80

**Fig. 5.** The second experimental object: biotope contour (a) in the form of an aspen curtain (b), where economic activities are impractical (highlighted in red), survey height 120 m, overlap: longitudinal — 70, transverse — 80

При дистанционном обследовании опытных участков были получены фото и видео материалы, на основании которых выполнено следующее:

- составлены таксационные описания (породный состав, высоты, диаметры, полноты);
- проведено обследование и составлены рекомендации по проведению хозяйственных мероприятий;
- разработаны летная карта, карта высот, ортофотоплан (в зависимости от варианта работ), сферические круговые панорамы 360°.

На фотоснимке (см. рис. 3) отчетливо видны контуры первого опытного участка, легко выделяются биотопы с различными характеристиками древесной растительности. Фотоснимок дает общее представление о смежных участках леса, что важно учитывать при оценке успешности естественного возобновления леса.

Полученные данные дают возможность определить состав, возраст, высоту, класс бонитета и тип леса на всей площади первого лесного участка (табл. 2).

Рекомендуемое мероприятие на первом опытном участке: разреживание березы, уборка осины и ольхи; для хвойных пород — осветление, по всему участку — удаление сухих деревьев.

Дальнейшая камеральная обработка позволила получить ортофотоплан и цифровую модель местности в системе координат WGS 84. С помощью ортофотоплана можно с большой точностью установить площадь биотопа, его контуры и уточнить конфигурацию выдела, используя специальные полетные программы. Ортофотоплан имеет геодезическую привязку к местности с погрешностью 3...4 см в плане и около 5 см по высоте. Со штатными

Т а б л и ц а 2

**Основная характеристика молодняков на первом опытном участке по двум методам, III класс бонитета, тип условий произрастания B2**

The main characteristics of young growths on the first experimental plot according to two methods, III class of bonitet, type of growth conditions B2

Показатель	Метод	
	Наземный	С помощью БПЛА
Состав	5Б2Ос2Е1С+Олс	6Б2Ос2Е+С+Олс+Ивд
Возраст, лет	Б – 15 Ос – 15 Олс – 15 С – 5–12 Е – 3–19	Б – 15 Ос – 15 Олс – 15 С – 15 Е – 15
Высота, м	Б – 6 Ос – 7 Олс – 4 С – 3 Е – 2	Б – 6 Ос – 7 Олс – 4 С – нет Е – 3
Диаметр ствола, см	Б – 6 Ос – 8 Олс – 4 С – 4 Е – 3	Б – 6 Ос – 8 Олс – 4 С – нет Е – 2
Сомкнутость крон, %	91	85
Тип леса	Березняк черничный свежий	Березняк черничный
<i>Примечание.</i> Б — береза, Ос — осина, Олс — ольха серая, С — сосна, Е — ель.		

GPS/GNSS-модулями, установленными на борту заводом-изготовителем, ошибка на местности составляет около 1...3 м как по высоте, так и в плане.



Исходные данные получены в международной системе координат WGS 84 (EPSG:4326) с возможностью редактирования в другие, в том числе и местные, системы координат. В ГИС-программах, с помощью ортофотоплана, возможно уточнение границ/контуров делянок, выделение биотопов с измерением их площади и точных координат месторасположения, отрисовкой контурных границ и т. д. (см. рис. 5). Второй опытный участок непосредственно примыкает к первому справа (не выделен).

Кроме этого, на опытном участке было сделано несколько видеопролетов и сферических панорам с разных высот и с разных сторон. Для ориентирования была сделана карта-схема, контур нанесен на «Google-карты», все панорамы пронумерованы. На схеме каждый номер показывает местоположение панорамы (рис. 6).

Ортофотоплан можно экспортировать в формат kmz, можно открывать и работать с ним в любой удобной программе. Такой продукт можно загрузить в навигатор и использовать на местности для точного определения местоположения площадей и их расчета.

Численность молодняков по породам и данные по отпаду представлены в табл. 3.

В целом состояние молодняков на обоих опытных объектах опасений не вызывает. На первом опытном участке доля погибших растений (сухостой) составляет 3,2 % (273 экз./га), а нежизнеспособных и поврежденных растений — 4,4 % (413 экз./га). Максимальный отпад возможен в пределах 7–8 % общей численности молодняков. Тем не менее проведение хозяйственных мероприятий целесообразно. Необходимость изреживания лиственных пород связана с тем, что большинство деревьев сосны и ели подавляется лиственными породами. Средняя высота березы, осины и ольхи в 2–3 раза больше, чем хвойных пород. Доля жизнеспособных деревьев сосны составляет менее 54 %. Сохранность лесных культур ели составляет 78 %. В составе лесных культур имеется самосев ели разного возраста численностью около 700 экз./га.

Подлесок не составляет конкуренции лесообразующим породам ни по численности, ни по средней высоте. Тем более что около 70 % деревьев основного полога (лесообразующие породы) имеют высоту более 2 м.

В составе живого напочвенного покрова выявлено 23 вида. Из них лишь семь видов характеризуются встречаемостью более 50 %. Четыре вида являются доминантами и формируют соответствующие парцеллы — брусника, вейник, кукушкин лен, сфагнум. Проективное покрытие доминантов по парцеллам составляет от 60 до 100 %.

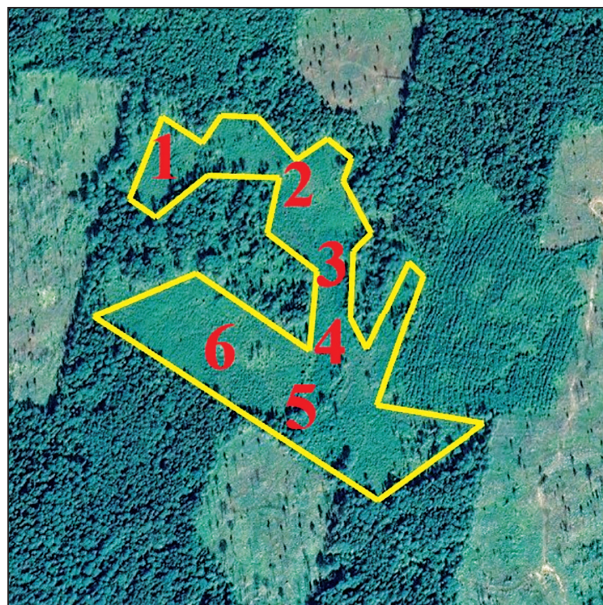


Рис. 6. Видеопролеты обобщены с разных высот и сторон, сферические панорамы пронумерованы

Fig. 6. From different heights and sides, video spans are summarized, and spherical panoramas numbered

Т а б л и ц а 3

### Распределение древесных пород по категориям состояния, экз./га

#### Distribution of tree species by condition categories, ex./ha

Древесная порода	Распределение по категориям состояния, деревьев			
	Первый объект		Второй объект	
	растущие	сухостой	растущие	сухостой
Сосна	500	58	528	28
Ель	1770	–	2417	14
Береза	5415	72	6056	14
Осина	1042	143	5931	56
Ольха	142	–	653	–
Итого	8969	273	15585	140

Как видно из представленных данных, не следует отказываться от классического метода исследований в лесоводстве, поскольку не все характеристики лесных фитоценозов можно определять по аэрофотоснимкам. Использование БПЛА в лесном хозяйстве создает определенные трудности, связанные с непрозрачностью полога, образованного кронами деревьев верхнего яруса, вследствие этого нижние ярусы растительности остаются скрытыми от БПЛА. Мелкий подрост лесообразующих пород также остается вне поля зрения, численность молодняков с квадрокоптера определяется с погрешностью до 10 %. По этой причине классический метод геоботанических исследований остается актуальным, несмотря на успешное использование БПЛА в лесном хозяйстве.

## Выводы

Каждому из использованных нами методов присущи свои достоинства и недостатки. С помощью БПЛА выявлены целевые биотопы и установлены их конфигурация и площадь. Основные недостатки использования БПЛА — зависимость от погодных условий и невозможность определять характеристики нижних ярусов растительности.

Классическим методом получена детальная характеристика всех компонентов леса. Основным недостатком этого метода — большие трудозатраты.


Результаты, полученные разными методами, сопоставимы, погрешность по основным таксационным характеристикам не превышала 10 %.

## Список литературы

- [1] Алексеев А.С., Данилов Ю.И., Никифоров А.А., Гузюк М.Е., Киреев Д.М. Опыт применения беспилотного летательного аппарата для инвентаризации и оценки опытных лесных культур Лисинской части Учебно-опытного лесничества Ленинградской области // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства, 2020. № 2. С. 46–52. DOI 10.21178/2079–6080.2020.2.46
- [2] Гафуров А.М. Использование беспилотных летательных аппаратов для оценки почвенной эрозии // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки, 2019. Т. 43. № 2. С. 182–190. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-2-182-190
- [3] Грязькин А.В. Способ учета подроста. Пат. № 2084129. Российская Федерация, МКИ С 6 А 01 G 23/00. № 94022328/13. Заявл. 10.06.94. Оpubл. 20.07.97. Бюл. № 20.
- [4] Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С., Чашин А.Н., Заболотнова М.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник Пермского федерального исследовательского центра, 2019. № 5. С. 102–108. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5
- [5] Кабонен А.В., Ольхин Ю.В. Дешифрирование форм и морфологических особенностей древесных растений на снимках, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов // Экосистемы, 2019. № 20 (50). С. 197–202.
- [6] Казамбаев М.К., Куатов Б.Ж. Некоторые вопросы использования беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем, 2017. № 4(20). С. 97–100. DOI: 10.21685/2307-4205-2017-4-13
- [7] Коптев С.В., Скуднева О.В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // ИВУЗ Лесной журнал, 2018. № 1. С. 130–138. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130
- [8] Мелихова Е.В., Мелихов Д.А. Применение беспилотных летательных аппаратов в аграрном производстве // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral», 2019. № 3. С. 15–21.
- [9] Овчинникова Н.Г., Медведков Д.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для ведения землеустройства, кадастра и градостроительства // Экономика и экология территориальных образований, 2019. № 1(3). С. 98–108. DOI.org/10.23947/2413-1474-2019-3-1-98-108
- [10] Петушкова В.Б., Потапова С.О. Мониторинг и охрана лесов с применением беспилотных летательных аппаратов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы, 2018. С. 717–724.
- [11] Рогачев А.Ф. Методические подходы к получению и обработке данных дистанционного зондирования для обоснования мелиоративных мероприятий // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 2018. С. 4 (52). С. 332–338. DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-47
- [12] Almasoud A.S., Ben S., Hassine H., Nemri N., Al-Wesabi F., Hamza M., Hilal A.M., Motwakel A., Duhayyim M.A., Ahmed M. Metaheuristic Based Data Gathering Scheme for Clustered UAVs in 6G Communication Network // Computers, Materials and Continua, 2022, vol. 71, no. 3, pp. 5311–5325. <http://dx.doi.org/10.32604/cmc.2022.024500>
- [13] Blažková J., Paprštejn F., Zelený L., Skřivanová A., Suran P. Long-term evaluation of rootstock effects on cropping and tree parameters of selected sweet cherry cultivars // Hort. Sci. (Prague), 2020, v. 47, pp. 13–20. <https://doi.org/10.17221/39/2018-HORTSCI>
- [14] León, L., Díaz-Varela, R. A., Zarco-Tejada, P. J., de la Rosa, R. Tree crown parameters assessment using 3D photo reconstruction as a tool for selection in olive breeding programs // Acta Horticulturae, 2017, v. 1160, pp. 1–4. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1160.1>
- [15] Szantoi Z., Smith S.E., Strona G., Koh L.P., Wich S.A. Mapping Orangutan Habitat and Agricultural Areas Using Landsat OIL Imagery Augmented with Unmanned Autonomous System Aerial Photography // International J. of Remote Sensing, 2017, v. 38, pp. 2231–2245. DOI:10.1080/01431161.2017.1280638
- [16] Yu X., Liu Q., Liu X., Liu X., Wang Y. A Physical-based Atmospheric Correction Algorithm of Unmanned Aerial Vehicles Images and its Utility Analysis // International J. of Remote Sensing, 2017, v. 38, pp. 3113–3134. DOI:10.1080/01431161.2016.1230291

## Сведения об авторах

**Филатов Антон Андреевич** — аспирант кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, [anton.filatov.94@mail.ru](mailto:anton.filatov.94@mail.ru)

**Грязькин Анатолий Васильевич**  — д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», [lesovod@bk.ru](mailto:lesovod@bk.ru)

**Гаврилова Ольга Ивановна** — д-р с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», 33. [ogavril@mail.ru](mailto:ogavril@mail.ru).

Поступила в редакцию 22.02.2022.

Одобрено после рецензирования 04.03.2022.

Принята к публикации 13.05.2022.

## UNMANNED AERIAL VEHICLES AND LAND TECHNIQUE ASSESSMENT OF YOUNG FOREST STANDS

A.A. Filatov<sup>1</sup>, A.V. Gryazkin<sup>1✉</sup>, O.I. Gavrilova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, 5, letter U, Institutsky lane, 194021, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Petrozavodsk State University, Lenin Ave., 33 185096 Petrozavodsk, Russia

lesovod @bk.ru

The article presents the data on the composition and condition of mixed young forests, obtained using unmanned aerial vehicles and the classical land technique. The plotting of the forest area was carried out by quadcopters. The land technique was used to assess the composition and condition of young stands, undergrowth and live ground cover on 10 m<sup>2</sup> circular plots. At each object, 48 discount areas were laid. The objects of study are young stands of natural and artificial origin. It was established that young growths of natural origin were formed in the 7 hectares cutover plots in 2006. They include pine, spruce, birch, aspen and alder. Spruce plantations were created in 2012 on an area of 12 hectares. It is shown that the understories and small undergrowth are not visible from a quadcopter, while the classical method gives the detailed characteristics. Additional characteristics of young forests obtained with the help of unmanned aerial vehicles are given. It is shown that the results obtained by the two methods are consistent, the error in the main characteristics does not exceed 10%. The combination of the two methods gives more complete information on the forest area. However, each of the methods used has its own advantages and disadvantages.

**Keywords:** structure, state, young animals, unmanned aerial vehicle, research method

**Suggested citation:** Filatov A.A., Gryazkin A.V., Gavrilova O.I. *Otsenka struktury i sostoyaniya molodnyakov s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov i nazemnym metodom* [Unmanned aerial vehicles and land technique assessment of young forest stands]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 21–28. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-21-28

### References

- [1] Alekseev A.S., Danilov Yu.I., Nikiforov A.A., Guzyuk M.E., Kireev D.M. *Opyt primeneniya bespilotnogo letatel'nogo apparata dlya inventarizatsii i otsenki opytnykh lesnykh kul'tur Lisinskoj chasti Uchebno-opytного lesnichestva Leningradskoy oblasti* [The experience of using an unmanned aerial vehicle for inventory and evaluation of experimental forest crops of the Lisinsky part of the Educational and experimental forestry of the Leningrad region]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2020, no. 2, pp. 46–52. DOI: 10.21178/2079-6080.2020.2.46
- [2] Gafurov A.M. *Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya otsenki pochvennoy erozii* [The use of unmanned aerial vehicles to assess soil erosion]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki* [Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Natural Sciences], 2019, v. 43, no. 2, pp. 182–190. DOI: 10.18413 / 2075-4671-2019-43-2-182-190
- [3] Gryaz'kin A.V. *Sposob ucheta podrosta* [A method of accounting for undergrowth]. Pat. 2084129 Russian Federation, MKI C 6 A 01 G 23/00. No. 94022328/13. App. 06/10/94. Pub. 07/20/97. Bull. no. 20.
- [4] Zubarev Yu.N., Fomin D.S., Chashchin A.N., Zabolotnova M.V. *Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom khozyaistve* [The use of unmanned aerial vehicles in agriculture]. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra* [Bulletin of the Perm Federal Research Center], 2019, no. 5, pp. 102–108. DOI: 10.7242 / 2658-705X / 2019.2.5
- [5] Kabonen A.V., Ol'khin Yu.V. *Deshifirovanie form i morfologicheskikh osobennostey drevesnykh rasteniy na snimkakh, poluchennykh s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Decoding of forms and morphological features of woody plants in images obtained using unmanned aerial vehicles]. *Ekosistemy* [Ecosystems], 2019, no. 20 (50), pp. 197–202.
- [6] Kazambaev M.K., Kumatov B.Zh. *Nekotorye voprosy ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Some issues of the use of unmanned aerial vehicles]. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems], 2017, no. 4 (20), pp. 97–100. DOI: 10.21685/2307-4205-2017-4-13
- [7] Koptev S.V., Skudneva O.V. *O vozmozhnostyakh primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v lesokhozyaystvennoy praktike* [On the possibilities of using unmanned aerial vehicles in forestry practice]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 1, pp. 130–138. DOI: 10.17238 / issn0536-1036.2018.1.130
- [8] Melikhova E.V., Melikhov D.A. *Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v agrarnom proizvodstve* [The Use of drones in the agricultural production]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy «Integral»* [International journal of applied science and technology «Integral»], 2019, no. 3, pp. 15–21.
- [9] Ovchinnikova N.G., Medvedkov D.A. *Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya vedeniya zemleustroystva, kadastra i gradostroitel'stva* [The Use of unmanned aerial vehicles to conduct land management, cadastre and urban planning]. *Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovaniy* [Economics and ecology of territorial entities], 2019, vol. 3, no. 1, pp. 98–108. DOI: 10.23947/2413-1474-2019-3-1-98-108.
- [10] Petushkova V.B., Potapova S.O. *Monitoring i okhrana lesov s primeneniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Monitoring and protection of forests using unmanned aerial vehicles]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy* [Fire safety: problems and prospects], 2018, pp. 717–724.
- [11] Rogachev A.F. *Metodicheskie podkhody k polucheniyu i obrabotke dannykh distantsionnogo zondirovaniya dlya obosnovaniya meliorativnykh meropriyatiy* [Methodological approaches to obtaining and processing remote sensing data to substantiate reclamation measures]. *Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyshee professional'noe*



- obrazovanie [Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: science and higher professional education], 2018, no. 4 (52), pp. 332–338. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-47
- [12] Almasoud A.S., Ben S., Hassine H., Nemri N., Al-Wesabi F., Hamza M., Hilal A.M., Motwakel A., Duhayyim M.A., Ahmed M. Metaheuristic Based Data Gathering Scheme for Clustered UAVs in 6G Communication Network. *Computers, Materials and Continua*, 2022, vol. 71, no. 3, pp. 5311–5325. <http://dx.doi.org/10.32604/cmc.2022.024500>
- [13] Blažková J., Paprštejn F., Zelený L., Skřivanová A., Suran P. Long-term evaluation of rootstock effects on cropping and tree parameters of selected sweet cherry cultivars. *Hort. Sci. (Prague)*, 2020, v. 47, pp. 13–20. <https://doi.org/10.17221/39/2018-HORTSCI>
- [14] León, L., Díaz-Varela, R. A., Zarco-Tejada, P. J., de la Rosa, R. Tree crown parameters assessment using 3D photo reconstruction as a tool for selection in olive breeding programs. *Acta Horticulturae*, 2017, v. 1160, pp. 1–4. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1160.1>
- [15] Szantoi Z., Smith S.E., Strona G., Koh L.P., Wich S.A. Mapping Orangutan Habitat and Agricultural Areas Using Landsat OIL Imagery Augmented with Unmanned Autonomous System Aerial Photography. *International J. of Remote Sensing*, 2017, v. 38, pp. 2231–2245. DOI:10.1080/01431161.2017.1280638
- [16] Yu X., Liu Q., Liu X., Liu X., Wang Y. A Physical-based Atmospheric Correction Algorithm of Unmanned Aerial Vehicles Images and its Utility Analysis. *International J. of Remote Sensing*, 2017, v. 38, pp. 3113–3134. DOI:10.1080/01431161.2016.1230291

## Authors' information

**Filatov Anton Andreevich** — Pg. student of the Department of Forest Taxation, Forest Management and Geoinformation Systems, St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, [anton.filatov.94@mail.ru](mailto:anton.filatov.94@mail.ru).

**Gryazkin Anatoly Vasilievich** <sup>✉</sup> — Dr. Sci. (Biology), Professor of Forestry Department St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, [lesovod@bk.ru](mailto:lesovod@bk.ru).

**Gavrilova Olga Ivanovna** — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Petrozavodsk State University, [ogavril@mail.ru](mailto:ogavril@mail.ru).

Received 22.02.2022.

Approved after review 04.03.2022.

Accepted for publication 13.05.2022.

---

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article  
The authors declare that there is no conflict of interest