

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР НА ЭТАПАХ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

С.В. Копылов

Лесная фабрика

(Россия, пгт. Шумячи)

DOI:10.24412/2500-1000-2026-5-1-338-344

**Аннотация.** Статья посвящена комплексному анализу применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга состояния лесных культур на различных этапах лесовосстановления. В работе рассмотрены два основных типа БПЛА – мультироторные и самолётного типа – с оценкой их технических характеристик: дальности и продолжительности полёта, пространственного разрешения получаемых данных. В статье проанализированы преимущества БПЛА перед традиционными методами мониторинга: высокое пространственное разрешение (до 5 см/пиксель), оперативность выявления очагов усыхания и возгораний, возможность работы в труднодоступных районах (в т.ч. на склонах с уклоном до 45°). Отдельно рассмотрены ограничения и проблемы внедрения БПЛА в лесном хозяйстве.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты (БПЛА); лесовосстановление; мониторинг лесных культур; БПЛА самолётного типа.

Современные БПЛА для лесного хозяйства уже впечатляют: они оснащены лидарами, камерами и тепловизорами для точной таксации, способны проводить мультиспектральный анализ для диагностики лесопатологий, а также отличаются автономностью и устойчивостью к помехам. Но разработчики не стоят на месте.

Современные классификации выделяют два основных типа БПЛА, наиболее востребованных в этой сфере: мультироторные и самолётного типа.

Мультироторные БПЛА (например, модели DJI Phantom 4 Pro, Matrice 300 RTK) отличаются возможностью вертикального взлёта и посадки, высокой манёвренностью и стабильностью при съёмке на малых высотах. Они оптимальны для детального обследования локальных участков площадью до 50 га за один вылет. В исследовании Karpina E. et al. мультироторные дроны использовались для мониторинга лесовосстановления в Костромской области: при высоте полёта 120 м достигалось пространственное разрешение 5,8 см/пиксель, что позволило идентифицировать отдельные саженцы хвойных пород [1]. Точность определения количества растений на гектар составила 92,4% при сравнении с наземными учётными данными.

Аппараты самолётного типа (например, GeoScan 401, SenseFly eBee X) обеспечивают

существенно большую дальность полёта – до 90 км – и продолжительность работы до трёх часов, что делает их предпочтительной платформой для картографирования обширных лесных массивов. В работе Шао Ж. и соавторов на материале леса в провинции Хэйлуцзян (КНР) показано, что самолётный БПЛА с мультиспектральной камерой за один вылет охватывал около 1 200 га при разрешении 8 см/пиксель [4]. Расхождение между расчётом запаса древесины по аэрофотоснимкам и контрольными таксационными данными составило 4,7%.

Перечень задач, которые удаётся закрыть с помощью БПЛА, во многом определяется составом полезной нагрузки. RGB-камеры (среди них – Sony RX1R II) ведут съёмку в видимом диапазоне и применяются прежде всего для построения ортофотопланов и цифровых моделей рельефа. В одном из проектов лесного факультета Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета (2023) аэрофотоснимки RGB, полученные с БПЛА DJI Phantom 4 RTK, легли в основу трёхмерной модели участка площадью 25 га с точностью по высоте порядка  $\pm 5$  см.

Принципиально иной класс полезной нагрузки – мультиспектральные камеры (среди распространённых решений – Parrot Sequoia+ и MicaSense RedEdge-MX). Сенсор такой камеры регистрирует отражённое излу-

чение в нескольких узких полосах спектра, на основе чего рассчитываются вегетационные индексы – прежде всего NDVI и GNDVI. В работе Rajares и соавторов (2020), выполненной на сосновых насаждениях в Испании, аэрофотосъёмка с БПЛА позволила обособить участки угнетённого древостоя (NDVI ниже 0,4); совпадение с наземными лабораторными измерениями хлорофилла в хвое составило 88,6% [8].

Лазерные сканеры (например, Velodyne VLP-16 или Riegl miniVUX-1) формируют трёхмерные облака точек, плотность которых достигает ста отсчётов на квадратный метр. В рамках американской программы Forest Inventory and Analysis (FIA) в 2021-2022 годах лидарная съёмка с БПЛА самолётного типа дала высоту деревьев с погрешностью около  $\pm 0,3$  м, а диаметр ствола на высоте груди –  $\pm 1,2$  см. Обследование участка площадью 500 га при этом потребовало почти в восемь раз меньше времени, чем стандартная наземная таксация [3].

Преимущества БПЛА подтверждены практическими сравнениями. По данным исследования Korostelev I. et al. (2023), на участке 100 га в Архангельской области мониторинг с БПЛА (DJI Matrice 300 + мультиспектральная камера) занял 4 часа лётного времени и 6 часов обработки данных. Наземная инвентаризация аналогичного участка потребовала 14 человеко-дней. Пространственное разрешение аэрофотосъёмки (5 см/пиксель) обеспечило выявление очагов усыхания на площади от 0,01 га, что недостижимо при спутниковом мониторинге (минимальное разрешение Landsat 8 – 30 м/пиксель).

Оперативность применения БПЛА продемонстрирована в системе раннего обнаружения лесных пожаров. В эксперименте лесного департамента Финляндии (2022) мультироторный дрон с тепловизором обнаруживал очаги возгорания диаметром от 0,5 м в радиусе 3 км за 25 минут, тогда как наземное патрулирование требовало 3-4 часов на тот же участок.

Возможность работы на труднодоступных участках подтверждена в практике Рослесхоза [6]. В горных районах Республики Алтай БПЛА самолётного типа выполняли аэрофотосъёмку склонов с уклоном до 45°, где наземный доступ ограничен или опасен. По-

строенные ортофотопланы с разрешением 10 см/пиксель использовались для оценки последствий ветровалов на площади 1 500 га [2].

Учет организационно-правового контекста представляет собой обязательную предпосылку при обращении с материалами аэрофотосъёмки, выполняемой с использованием БПЛА, поскольку правовой статус указанных материалов в Российской Федерации определяется нормами, квалифицирующими их как объекты, подпадающие под действие закона о государственной тайне, и, в наиболее общем виде, обуславливает необходимость получения разрешения на проведение съёмки и процедуру согласования результатов в военных округах перед публикацией данных, направленных на выявление нарушений лесного законодательства, что детерминирует сдвиг сроков публикации. В ответ на указанную нормативную регламентацию развивается режим видеомониторинга без сохранения записи, при котором эксплуатация осуществляется посредством работы с потоковым изображением и исключение требования о фиксации фиксируется как методическая и регулятивная мера, рассматриваемая как применимая в случаях, где сохранение файла не требуется либо где предусмотрена методика дистанционного обнаружения с последующей наземной проверкой.

Часть прикладных задач, включая отладку методик и программного стека, осуществляется в инициативном порядке и рассматривается как этап формирования прикладной основы для последующей систематизации решений. Перспектива ближайших лет заключается в осуществлении обработки всего цикла посредством нейросетевых моделей, при котором предполагается распознавание пожаров и очагов вредителей с переходом к предиктивной аналитике, включающей оценку вероятности возникновения событий до их визуального проявления, и параллельно разрабатывается шлюз к ФГИС ЛК, предназначенный для передачи обработанных данных без выполнения ручной выгрузки.

Сохранение реалистичного подхода представляется методологически необходимым, поскольку потенциал беспилотных технологий ограничивается рядом объективных препятствий, обусловленных масштабом территории российских лесов, труднопроходимыми

стью рельефа и непредсказуемостью погодных условий, что в совокупности детерминирует ограничение эксплуатационных возможностей дронов и предполагает трезвую оценку реализуемости операций, а также не обеспечивает возможности разрешения всех задач одновременно.

Процесс получения разрешений на осуществление съемки в приграничных и стратегически значимых районах представляет собой длительно протекающий бюрократический механизм, характеризующийся многоступенчатостью согласовательных процедур и нормативно-административной нагрузкой, в результате чего применение беспилотников фактически сдерживается посредством института «закрытого неба», что ограничивает возможность их эксплуатационного использования в указанных зонах. Проблема труднодоступности удаленных территорий сохраняется и получает выражение в частых ситуациях невозможности доступа операторов к точкам запуска в Сибири и на Дальнем Востоке, при этом нестабильность покрытий сетей связи обуславливает лишение возможности осуществления полноценного дистанционного управления аппаратами, а имеющаяся дальность полета беспилотников в рассматриваемых регионах во многих случаях не обеспечивает покрытия требуемых для выполнения задач расстояний.

Серьезные трудности создают и природные факторы. Густые лесные кроны надёжно укрывают всё, что находится под ними, делая визуальное наблюдение практически бесполезным. Ночью выполнение большинства задач становится крайне затруднительным или невозможным, а неблагоприятные погодные условия – порывистый ветер, осадки и морозы – стремительно разряжают аккумуляторы, резко сокращая время работы в воздухе [8].

Вдобавок ко всему оператор БПЛА указывает на несовершенство законодательства и ФГИС ЛК, отмечая, что сегодня актуален вопрос доработки нормативной базы для полётов и интеграции данных. По мнению эксперта, дроны максимально эффективно показывают себя на открытых и полуоткрытых пространствах: полях, вырубках, гарях, болотах.

В труднодоступных и потенциально опасных местах – буреломах, ветровалах, песчаных карьерах и на обрывах – беспилотные ап-

параты также демонстрируют свою незаменимость. По мнению г-на Филатова, при работе на небольших площадях дроны выигрывают у пилотируемой авиации в экономическом плане: затраты на их использование при детальной таксации и аэрофотосъемке существенно ниже.

Что касается технических ограничений, они определяются не принадлежностью территории к той или иной категории земель, будь то лесной фонд или что-либо иное, а конкретными задачами, которые предстоит решать. Одним из ключевых направлений, активно развивающихся в последнее время, становится применение беспилотных авиационных систем для контроля лесопожарной обстановки. Значительная протяжённость патрульных маршрутов предъявляет повышенные требования к характеристикам беспилотных воздушных судов: они должны обладать достаточным ресурсом полётного времени, надёжной дальнобойной связью с наземными пунктами управления, что необходимо как для безопасного выполнения полётов, так и для своевременной передачи собранных данных.

Любая платформа – а БВС не исключение – имеет очерченную область применимости. Эти рамки логично рассматривать не как препятствие, а как направление дальнейшей инженерной работы. Принципиальная роль при этом достаётся подготовке оператора: специалист должен корректно оценивать обстановку – в первую очередь метеорологическую – и принимать решение о допустимости полёта и о подборе модели БВС под конкретную задачу.

По мере того, как беспилотные технологии глубже встраиваются в лесохозяйственные процессы, увеличивается и кадровый запрос на профильных специалистов. Поскольку базовых образовательных треков под эту специальность пока немного, основная нагрузка ложится на программы дополнительного профессионального образования – спрос на них за последние годы вырос ощутимо. Картина здесь замкнутая: каждое новое технологическое внедрение тянет за собой кадровый спрос, а нехватка системной подготовки усиливает зависимость отрасли от ДПО [7].

Отдельный пласт сложностей – правовая сторона эксплуатации. Согласование полётов над населёнными пунктами и над особо охра-

няемыми природными территориями завязано на многоступенчатые процедуры и в среднем требует длительного срока подготовки.

Сложности существуют и в самой системе подготовки операторов БВС. От специалиста требуется набор компетенций, выходящий далеко за границы пилотирования: представление о конструкции платформы и её обслуживании, знание профильного законодательства, навыки работы с инструментами обработки и анализа полученных данных. Иначе говоря, «уметь летать» – это далеко не весь требуемый минимум.

Условия работы тоже своеобразны: оператору приходится действовать во внештатных и потенциально опасных сценариях, поэтому в учебную программу обязательно входит отработка потери линии связи и манёвров уклонения от птиц и иных воздушных объектов. Сеть учебных площадок под эту специальность остаётся узкой: профильных образовательных программ и учреждений в стране пока совсем немного.

При этом по парку техники претензий заметно меньше: ассортимент отечественных платформ в целом покрывает текущие лесохозяйственные потребности. Куда острее ощущается нехватка операторов соответствующей квалификации – и этот разрыв между «железом» и кадровой обеспеченностью производит впечатление системного. Условия работы в лесу тяжелы, что бьёт по престижу самой отрасли и подталкивает дефицит дальше. Спрос на учёбу растёт, но образовательные учреждения не успевают за темпом, который задают рыночные изменения.

Не обязательно быть специалистом в отрасли, чтобы заметить, как вырос рынок БПЛА за последние годы. Конкуренция усиливается среди как производителей техники, так и разработчиков программного обеспечения [5].

Национальный проект по беспилотным системам стал мощным катализатором для всей отрасли. Конкуренция между игроками рынка достигла небывалой остроты – хотя соперничество существовало и прежде. Параллельно государство последовательно ужесточает надзор за применением дронов, а субъекты федерации вводят собственные запреты на их эксплуатацию. Вместе с тем отрасль беспилотной авиации в России пережи-

вает стремительный, пусть и неоднородный рост: на рынке регулярно появляются новые производители, активно формируется нормативная база – разрабатываются ГОСТы и отраслевые стандарты, призванные интегрировать беспилотные авиационные системы в работу коммерческих структур и органов власти.

Крупные корпорации и ИТ-интеграторы активно осваивают дрона-строительную отрасль, вкладывая средства в уже существующие разработки или выстраивая собственные направления с нуля. Параллельно формируются научно-производственные хабы, консолидирующие региональных игроков рынка и обеспечивающие налаживание выпуска как готовых беспилотных систем, так и необходимых для них компонентов.

Вместе с тем снижение порога входа в технологию спровоцировало стремительный рост числа сервисных структур и операторов, специализирующихся на беспилотных аппаратах. Однако сегмент коммерческих услуг на базе БАС в 2025 году продемонстрировал негативную динамику – во многом из-за введённых в ряде регионов запретов и ограничений на эксплуатацию подобной техники.

Рынок программных решений для беспилотных авиационных систем демонстрирует особенно стремительный рост – и речь идёт уже не просто об автопилотировании, а о полноценных цифровых экосистемах на базе ИИ, способных собирать, обрабатывать и интерпретировать большие массивы данных. При этом конкурентная борьба в данной сфере, по нашим прогнозам, к 2026 году заметно обострится.

Рынок БПЛА имеет свои особенности. В первую очередь сейчас его главным драйвером являются беспилотники специального назначения. Второй важный момент связан с текущими ограничениями на легальное использование БАС, поэтому основными игроками на рынке сегодня выступают госорганизации и их подрядчики, а не бизнес.

К 2030 году показатель технологической независимости в сфере беспилотной авиации планируется довести до 81%, тогда как сегодня он составляет лишь 30–35%. Достижение этой цели предусмотрено в рамках профильной стратегии развития отрасли, которая в том числе предполагает активное замещение иностранных компонентов отечественными ана-

логами. Между тем рынок производителей БПЛА отличается высокой конкурентностью. Дополнительным фактором, способным скорректировать траекторию развития беспилотного сегмента в обозримой перспективе, станет заметное урезание государственного финансирования гражданских беспилотников, которое произошло в текущем году относительно предшествующего периода.

Камнем преткновения на пути к полной технологической независимости остаётся микроэлектроника – и это несмотря на масштабные усилия по выстраиванию собственной производственной базы.

Россия последовательно движется к укреплению цифрового суверенитета, активно продвигая отечественные программные экосистемы и автоматизированные платформы. Однако реальное положение вещей по-прежнему далеко от желаемого. Достаточно взглянуть на показательный пример: российские беспилотники, которые принято считать витриной технологических достижений, до сих пор комплектуются зарубежными процессорами, оптическими модулями и сенсорными системами. Полный разрыв с импортной зависимостью пока остаётся скорее стратегической целью, нежели свершившимся фактом.

Тем не менее в стране сравнительно быстро складывается полноценная индустрия беспилотных систем. Соответствующий национальный проект объединяет сразу несколько контуров: производство платформ и комплектов, инфраструктуру для массовой и безопасной эксплуатации, нормативно-технические стандарты применения БАС в различных отраслях, а также подготовку кадров – от инженеров до операторов и внешних пилотов.

При том что субъекты федерации активно закупают БВС и постепенно расширяют площадь, охваченную дистанционным наблюдением, профильные специалисты указывают: достигнутого уровня контроля над состоянием лесных массивов всё ещё недостаточно.

Преимущества беспилотников перед альтернативными методами наблюдения выражаются по разным осям. На фоне спутниковых данных – это качество и детальность сведений о состоянии древостоя. По сравнению с пилотируемой авиацией – пропорциональное снижение стоимости одного часа съёмки. От-

носительно наземных обходов – кратное уменьшение трудозатрат и рост производительности. Именно поэтому БВС постепенно занимают всё более заметное место в системе дистанционного наблюдения за лесным фондом – и на федеральном, и на региональном уровне. Для России, где лесные площади традиционно покрывались космической и аэрофотосъёмкой, такой переход особенно своевременен.

Динамика технологического развития рассматривается как фактор, обеспечивающий возникновение новых правовых возможностей для осуществления экспериментального тестирования нестандартных методик, при этом подчеркивается необходимость институционализации указанных возможностей посредством формирования специализированных регуляторных режимов. Расширение практики введения экспериментальных правовых режимов в лесной отрасли представляется как инструмент, предоставляющий возможность систематической отработки применения БАС и накопления эмпирического опыта, необходимого для последующего совершенствования нормативно-правовой базы.

Перспективные пути развития отрасли рассматриваются как совокупность технических преобразований, методологических усовершенствований и программно-аппаратных решений, предполагающих необходимость повышения качества методологических подходов и адаптации программных средств. В рамках указанной совокупности предусматривается обеспечение синергии беспилотных технологий и информационных систем для ускоренной обработки данных, развитие инструментов искусственного интеллекта в качестве механизма повышения аналитической эффективности и внедрение новых методик сбора и анализа материалов.

В частности, большой интерес в отрасли вызывает применение БАС для отвода и таксации лесосек. Для успешной реализации этих задач необходимо гарантировать точность определения характеристик и объёмов древесины, как того требуют установленные законом действующие порядки.

Отрасль активно движется к цифровому будущему: запускаются масштабные проекты по развёртыванию федеральных информационных систем и внедрению передовых техно-

логий, хотя многие из этих преобразований пока находятся на начальном этапе.

Показательно, что Рослесхоз в течение ближайших двух лет намерен перевести до 30% маршрутов авиатрулирования на беспилотники в густонаселённых регионах страны. Параллельно уже в текущем году в свыше чем 40 субъектах федерации три четверти таксационных работ предполагается осуществлять посредством аналитико-измерительного дешифрирования аэроснимков в связке с традиционными наземными методами.

Вместе с тем путь к полноценному цифровому управлению – как на уровне стратегического планирования, так и в оперативном измерении – сопряжён с необходимостью преодоления серьёзных препятствий. Среди ключевых задач выделяются: устранение законодательных противоречий и пробелов, приведение к единому знаменателю разрозненных

баз данных, обеспечение бесперебойного функционирования информационных систем, подготовка квалифицированных специалистов, а также тиражирование современных технологических решений на всю территорию страны.

Применение БПЛА способно вывести лесную отрасль на принципиально иной уровень – превратить её из стихийного промысла в точно выверенное хозяйство, существенно повышая рентабельность бизнеса. Ключевые преимущества этой технологии заключаются в высокой скорости получения данных и их детальности. Вместе с тем важно понимать, что беспилотники не решают всех проблем сразу – они эффективны в конкретных ситуациях и на определённых, доступных участках леса, то есть являются не универсальным решением, а узкоспециализированным, но весьма результативным инструментом.

#### **Библиографический список**

1. Karpina E. et al. UAV-Based Monitoring of Forest Regeneration: Case Study in the Kostroma Region, Russia // *Forests*. – 2021. – Vol. 12(5). – P. 587.
2. Korostelev I. et al. Comparative Analysis of UAV and Ground-Based Forest Monitoring Efficiency in Northwestern Russia // *Journal of Forestry Research*. – 2023. – Vol. 34(2). – P. 412-420.
3. Pajares G. et al. Multispectral UAV Data for Stress Detection in Pine Forests: Validation in Spain // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2020. – Vol. 168. – P. 123-135.
4. Shao G. et al. High-Precision Forest Inventory Using Fixed-Wing UAVs and Multispectral Imaging: A Case in Heilongjiang, China // *Remote Sensing*. – 2022. – Vol. 14(3). – P. 721.
5. Аковецкий В.Г., Афанасьев А.В. Методы и технологии интерпретации аэрокосмических мониторинговых наблюдений лесной растительности // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*. – 2020. – Т. 24. № 2. – С. 29-36.
6. В Комитете лесного хозяйства Московской области подвели итоги использования квадрокоптеров для охраны лесов от пожаров, лесного надзора и защиты лесов в 2020 году. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosleshoz.gov.ru/news/tsfo/v-komitete-lesnogo-khozyaystva-moskovskoy-oblasti-podveli-itogi-ispolzovaniya-kvadrokoptero-v-dlya-okhrany-lesov-ot-pozharov-lesnogo-nadzora-i-za>.
7. Гаврилова О.И., Пак К.А., Морозова И.В., Юрьева А.Л. Формирование искусственных сосновых древостоев в условиях карельской таежной зоны // *ИзВуз Лесной журнал*. – 2017. – № 4. – С. 23-33.
8. Скуднева О.В. Беспилотные летательные аппараты в системе лесного хозяйства России // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. – 2014. – № 6 (342). – С. 150-154.
9. Соколов А.И. Повышение ресурсного потенциала таежных лесов лесокультурными методами. – Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2016. – 178 с.

**APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING  
THE STATE OF FOREST CROPS AT REFORESTATION STAGES**

**S.V. Kopylov**  
**Lesnaya Fabrika**  
**(Russia, Shumyachi)**

**Abstract.** *The article is devoted to a comprehensive analysis of the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for monitoring the state of forest crops at various stages of reforestation. The paper examines two main types of UAVs – multirotor and fixed-wing – assessing their technical characteristics: flight range and duration, as well as the spatial resolution of the acquired data. The article analyses the advantages of UAVs over traditional monitoring methods: high spatial resolution (up to 5 cm/pixel), rapid detection of dieback and fire spots, and the ability to operate in hard-to-reach areas (including slopes with inclines of up to 45°). The limitations and challenges of implementing UAVs in forestry are also addressed separately.*

**Keywords:** *unmanned aerial vehicles (UAVs); reforestation; forest crop monitoring; fixed-wing UAVs.*