# Выявление и анализ сухостоя при помощи беспилотного летательного аппарата

П. Ю. Санников, Д. Н. Андреев, С. А. Бузмаков

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, 614990, Россия E-mail: sol1430@gmail.com

Востребованность аэрофотосъёмки, выполненной беспилотной авиацией, в последние годы растёт достаточно быстро и в России, и в мире. Круг задач, решаемых при помощи результатов съёмки, довольно широк. Он включает как задачи прикладного характера, так и вопросы фундаментальных исследований. Одной из наиболее популярных задач является исследование лесов. В статье представлен краткий литературный обзор научной литературы, посвящённой изучению лесных сообществ при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Дана сжатая характеристика технических параметров используемых БПЛА. Сформулирована последовательность главных этапов компьютерной обработки первичных материалов съёмки для получения ортофотоплана. Модельным объектом аэрофотосъёмки для данной работы является ландшафтный заказник «Предуралье», расположенный на востоке Европейской части России, в Прикамье. Заказник представляет собой достаточно крупный (2290 га) природный комплекс, занимающий каньонообразную долину р. Сылвы. Большая часть «Предуралья» занята смешанными хвойно-широколиственными лесами с преобладанием ели, сосны, липы, берёзы. Анализ аэрофотосъёмки позволил выявить сухостойные деревья в границах заказника. Проанализировано групповое и одиночное распределение сухих деревьев, распространение сухостоя в квартальной сети и относительно основных геоморфологических элементов долины р. Сылвы. Рассчитаны статистические параметры плотности сухих деревьев в лесах различного породного состава и возраста.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, ортофотоплан, фотограмметрия, лес, сухостой

Одобрена к печати: 19.03.2018 DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-103-113

#### Введение

В последние 10—15 лет во многих странах мира активно используется аэрофотосъёмка беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Применение беспилотной авиации востребовано в геологических, географических, биологических, археологических научных исследованиях. К работам прикладного характера относят учёт численности популяции крупных млекопитающих в охотничьих хозяйствах, мониторинг повреждений газо- и нефтепроводов, контроль состояний высоковольтных линий электропередач и многое другое.

Для регионов и стран, относящихся к умеренной зоне, наиболее актуальной сферой применения беспилотных летательных аппаратов остаётся изучение лесных экосистем. Анализ литературы выявил несколько основных направлений таких работ.

1. Выявление отдельных параметров древостоя и комплексные лесоустроительные работы. В литературе имеется ряд публикаций, посвящённых описанию возможностей беспилотной авиации для различных задач инвентаризации лесов (Arnold et al., 2013; Dong et al., 2008; Launchbury, 2014; Salamí et al., 2014). Определение породного состава основано на данных мультиспектральной съёмки и её дальнейшем анализе (Dunford et al., 2009; Gini et al., 2014). Сравнительно широко распространена практика 3D-моделирования древостоя, определения его высоты, расчёт цифровых моделей местности и рельефа (Lisein et al., 2013; Schreyer, Lakes, 2014). Большой интерес вызывает опыт дешифрирования контуров крон отдельных деревьев и расчёт запаса древостоя (Алешко и др., 2017) на основе съёмки в оптическом диапазоне.

2. Выявление заболеваний леса, идентификация сухостоя. Основные теоретические положения, описывающие скорость и характер внешних изменений деревьев, подверженных болезням, изложены в классических трудах по фитопатологии (Методы мониторинга..., 2004; Фундаментальная..., 2012). Дешифрирование таких явлений, как правило, проводится по ряду признаков: размер и форма кроны, цвет хвои или листьев, суховершинность. В большей части проанализированных работ распространение болезни в лесу определялось при помощи мультиспектральной съёмки (Dash et al., 2017; Heurich et al., 2010; Lehmann et al., 2015; Sarkar et al., 2016), главным образом путём сравнения данных красного и инфракрасного каналов. Значительно реже дешифрируемые изображения были получены при помощи панхроматических сенсоров, регистрирующих излучение лишь в оптическом диапазоне (Inoue et al., 2014). По масштабу анализируемых повреждений выделяются уровни: однородных участков древостоя (Heurich et al., 2010), отдельных деревьев (Dash et al., 2017; Inoue et al., 2014; Sarkar et al., 2016), отдельных частей кроны дерева (Lehmann et al., 2015). Объекты исследований индивидуальны практически в каждой публикации, их характер зависит от географии работ. Нами изучены статьи, в которых оценивалось состояние: новозеландских культур сосны лучистой (Dash et al., 2017); поражённых короедом еловых древостоев Баварии (Heurich et al., 2010); широколиственных лесов восточной Японии (Inoue et al., 2014); дубрав Северной Рейн-Вестфалии (Lehmann et al., 2015); цитрусовых плантаций США (Sarkar et al., 2016). Упоминание выявления сухостоя по материалам аэрофотосъёмки отмечено лишь в одной публикации (Полякова, Гофаров, 2011). В большинстве изученных работ преобладают методы автоматического дешифрирования и/или расчёт вегетационных индексов (Dash et al., 2017; Lehmann et al., 2015; Sarkar et al., 2016), реже применяется визуальная идентификация (Полякова, Гофаров, 2011; Inoue et al., 2014) либо комбинация этих методов (Heurich et al., 2010).

Наше исследование отличается от большинства изученных публикаций по целому ряду признаков: объект исследования (сухостой), применяемый метод (визуальное дешифрирование), тип регистрирующего сенсора (оптический панхроматический).

- **3.** Предупреждение пожаров. Факт задымления легко фиксируется посредством оптических видеокамер БПЛА (Von Wahl et al., 2010). С помощью инфракрасного изображения выявляются очаги горения леса (Merino et al., 2012). В мировой практике имеются примеры использования беспилотной авиации даже для тушения пожаров (Benavente, 2010).
- **4.** Выявление участков незаконных рубок. Проводится путём сравнения контуров нормативно утверждённой лесосеки и реальных границ рубки (Getzin et al., 2014). Определение точной площади нарушенного участка даёт основу для расчёта нанесённого ущерба (Paneque-Gálvez et al., 2014).
- **5.** Оценка техногенного воздействия. Производственные объекты, как и техногенные повреждения древостоя, достаточно надёжно фиксируются по материалам аэрофотосъёмки (Полякова, Гофаров, 2011; Pierzchała et al., 2014).

### Материалы и методы исследования

Модельным объектом аэрофотосъёмки для данной работы стала особо охраняемая природная территория (ООПТ) — ландшафтный заказник «Предуралье». Этот объект расположен на востоке Европейской части России, в Пермском крае, в 100 км к юго-востоку от административного центра региона — г. Перми. Его общая площадь составляет 2290 га. «Предуралье» представляет собой достаточно крупный природный комплекс, раскинувшийся по обеим сторонам каньонообразной долины р. Сылвы. В рельефе ООПТ выделяется три основных элемента: пойма и надпойменные террасы, коренной склон, высокая выположенная водораздельная поверхность. Крутизна склонов нередко превышает 45°, имеется ряд выраженных скальных обнажений. Большая часть заказника занята смешанными хвойно-широколиственными лесами. Основные лесооборазующие породы: ель, сосна, липа, берёза.

Для проведения аэрофотосъёмки использован беспилотный летательный аппарат российского производства Supercam S250-F. Эта модель БПЛА выдерживает широкий диапазон температур: от -30 до +40 °C. В условиях средней полосы России эксплуатация аппарата возможна в любое время года. Запуск запрещён лишь в экстремальных погодных условиях: при сильном ветре (более 10 м/c), проливном дожде, граде и грозе. Максимальная продолжительность полёта — около трёх часов. Площадь съёмки зависит от заранее заданных характеристик (высоты полёта и ширины перекрытия снимков) и составляет от 1000 до 8000 га.

Аэрофотосъёмка проведена сотрудниками кафедры биогеоценологии и охраны природы Пермского университета 24—25 июня 2015 г. Её высота составляла 300—400 м. Для покрытия всей территории заказника потребовалось три полёта.

Всего было получено около 9 тыс. снимков, общий объём которых составил 72 Гб. После первичного экспорта изображений в программе Justin начинается этап компьютерной обработки. Конечный продукт этой процедуры — ортофотоплан. В ходе обработки используют специальное программное обеспечение: Agisoft Photoscan (Руководство пользователя..., 2014) и Photomod UAS (Цифровая..., 2015). Последовательность основных этапов этой процедуры выглядит следующим образом:

- определение положения и выравнивание фотографий относительно друг друга;
- создание разрежённого облака точек и корректировка ошибок;
- расчёт «глубины» каждого снимка и создание плотного облака точек;
- дифференциация точек на классы;
- создание цифровой модели местности (ЦММ) и цифровой модели рельефа (ЦМР), создание 3D-моделей местности (*puc. 1*);
- экспорт первичного ортофотоплана.

Дальнейшая обработка изображений проводится в проекте программы Photomod UAS. Она необходима для дополнительной коррекции снимков, достижения геодезической точности получаемых продуктов. В сжатом виде процедуру обработки можно представить в виде следующих этапов:

• сжатие снимков, привлечение данных внутреннего и внешнего ориентирования, создание сети опорных точек;



Рис. 1. Цифровая 3D-модель учебно-научной базы «Предуралье»

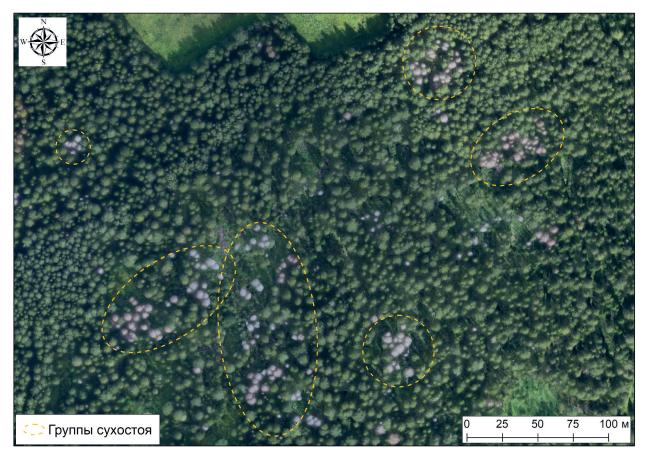


Рис. 2. Визуальное дешифрирование сухостоя на основе ортофотоплана

- добавление точек с заранее определёнными (геодезическим способом) координатами для повышения точности ортофотоплана;
- уравнивание положения снимков относительно друг друга, определение линий порезов;
- глобальное и локальное выравнивание яркостей изображений;
- настройка выходных параметров и экспорт ортофотоплана.

Характеристики получаемых ортофотопланов: масштаб до 1:500; разрешение до 4 см/пикс; плановая точность до 20 см; точность цифровой модели местности по высоте до 16 см.

Высокое качество ортофотоплана создаёт хорошую основу для дальнейшего дешифрирования. При помощи визуального анализа можно оценить размер и форму кроны, цвет хвои или листьев, наличие отдельных сухих ветвей, плотность тени, суховершинность, наличие валежника. Совокупность этих признаков позволяет однозначно выявлять сухостой (рис. 2).

Помимо ортофотоплана в работе также использованы материалы лесоустройства заказника за 2000, 2016 гг. и цифровая топографическая карта М 1:25 000.

## Результаты и их обсуждение

Наиболее значимым результатом обработки полученного ортофотоплана стало выявление сухостойных деревьев. Всего в границах заказника выявлено 3384 сухих дерева. Средняя плотность сухостоя составляет около 1,56 дерева на 1 га.

Пространственное распределение сухостоя неравномерно. Выявлены как одиночные деревья, так и скопления сухостоя, образующие компактные группы (см. *puc. 2*).



Рис. 3. Сухие деревья относительно квартальной сети «Предуралья»

Наличие отдельно стоящих сухих деревьев в лесу — естественное явление. Однако группировки сухих деревьев нередко являются местами распространения энтомофауны, вызывающей значительные повреждения леса. Чем большую площадь занимает такое скопление, тем больше опасность дальнейшего распространения вредителей. Группировки сухих деревьев должны быть первоочередными объектами фитопатологических проверок, а если необходимо, то и санитарных рубок леса.

В соответствии с рекомендациями лесопатологов (Лесная фитопатология..., 2012; Шевченко, Цилюрик, 1986) по характеру размещения сухостой делится на следующие типы:

- единичное (сухостой встречается отдельными экземплярами);
- групповое (от 3 до 10 деревьев);
- куртинное (более 10 деревьев или на площади до 0,25 га);
- сплошное (площадью более 0,25 га).

В результате анализа точечного слоя сухих деревьев было выделено 245 группировок, внутри которых расположено 1635 деревьев. Это составляет 48,3 % от общего количества всех выявленных сухих деревьев в границах заказника. Среднее число деревьев в группировке — 6,67. Абсолютное большинство таких скоплений (195 штук) агрегированы в небольшие группы, ещё 49 группировок формируют куртины. Площадь более 0,25 га занимает лишь одно скопление, в котором сконцентрировано 39 сухих деревьев.

Анализ распределения сухостоя в квартальной сети (*puc. 3*) выявил, что в абсолютном большинстве лесных кварталов (41 из 50) находится не более 100 сухих деревьев. Лишь в девяти кварталах число сухостоя превышает 100 деревьев.

Минимальное число сухостоя (до 10 деревьев) характерно для лесных кварталов № 7, 9 и 25. Они занимают сравнительно небольшую площадь и относятся к коренному склону р. Сылвы. При этом уклоны рельефа в пределах этих кварталов не превышают 30°, выраженные

скальные обнажения отсутствуют. Древостой в основном сформирован *Pinus sylvestris*. Весь сухостой этих кварталов представлен отдельно стоящими деревьями.

Максимальное число сухих деревьев (183, 242 и 381 шт.) выявлено в кварталах № 48, 38 и 24. Древостой на этих участках в основном сформирован *Picea obovate*. Лесной квартал № 48 вытянут вдоль крутого склона левого берега р. Сылвы. На всём протяжении склона сформированы скальные обнажения (так называемые «Камайские зубцы»). Кварталы № 38 и 24 находятся на плоской или слабонаклонной водораздельной поверхности Сылвы в относительном отдалении от берега. Большая часть сухостоя сконцентрирована в куртинах и группах. Отдельно стоящие деревья составляют не более 20 % от всего сухостоя в квартале.

Выполнен анализ распределения сухостоя относительно геоморфологических элементов территории заказника: русло р. Сылвы, пойма и надпойменные террасы, коренной склон, возвышенная водораздельная поверхность (*puc. 4*).

Чуть более половины «Предуралья» (53,5%) относится к возвышенной водораздельной поверхности. Здесь выявлено 52,7% от общего числа всех сухих деревьев заказника. Их плотность — 1,54 дерева на 1 га. Наибольшие скопления сухостоя расположены в зонах старовозрастных насаждений. Чуть более половины (54,2%) сухих деревьев сосредоточенно в группах.

Второй по площади геоморфологический элемент долины — коренной склон р. Сылвы (42,9 % от площади ООПТ). Здесь выявлено 46,4 % от всех сухих деревьев «Предуралья», их плотность составляет 1,69 дерева на 1 га. В границах склоновой части максимальная концентрация сухостоя наблюдается на участках с наибольшим уклоном (более 45°), вблизи скальных обнажений. Участки крутого склона занимают всего 8,7 % территории заказника, но плотность сухостоя здесь почти в два раза выше — 2,75 дерева на 1 га. Выявленный на крутых склонах сухостой составляет 15,4 % от общего количества всех сухих деревьев «Предуралья». При этом почти 2/3 сухостоя образуют группы.

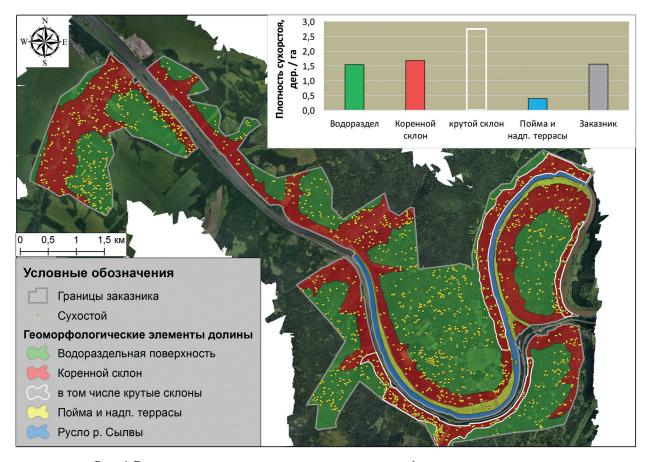


Рис. 4. Распределение сухостоя относительно геоморфологических элементов

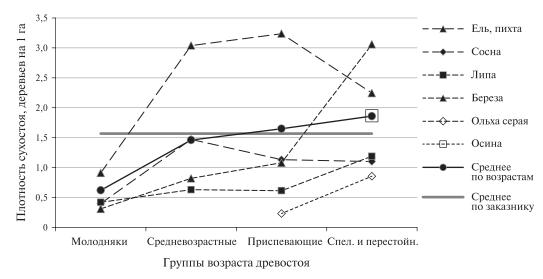


Рис. 5. Плотность сухих деревьев в лесах разного породного и возрастного состава

Участки пойм и речных террас занимают всего 3,6 % от территории заказника. В их пределах выявлено лишь 31 сухое дерево (0,9 % от общего количества). Низкая плотность сухостоя объясняется преобладанием безлесных сообществ — лугов. Значительная часть сухостоя (10 деревьев) находится в искусственных посадках на территории учебно-научной базы Пермского университета.

Сопоставление породного состава лесов и распределения сухих деревьев (*puc. 5*) показало, что максимальная плотность сухостоя характерна для елово-пихтовых древостоев. Именно на темнохвойные леса (43,7 % от общей площади заказника) приходится более половины (64,2 %) выявленного сухостоя. По плотности сухих деревьев елово-пихтовым лесам значительно уступают осинники, однако этот показатель выше, чем в среднем по заказнику (1,56 деревьев на 1 га). Средняя частота встречаемости сухостоя характерна для березняков. В сосняках и липняках плотность сухих деревьев близка к 1 дереву на 1 га. Минимальные показатели выявлены в приречных лесах, сформированных ольхой серой.

Таким образом, плотность сухих деревьев в лесах заказника «Предуралье» снижается в следующей последовательности: ельники (2,30) дерева на 1 га), осинники (1,87), березняки (1,54), сосняки (1,17), липняки (0,93), ольшаники (0,43).

Одним из основных природных факторов формирования сухостоя является процесс естественного старения деревьев. Проведённые наблюдения (см. *puc. 4*) в целом подтверждают этот тезис. В лесах, сформированных лиственными видами (берёза, липа, ольха серая), плотность сухих деревьев возрастает в процессе старения, достигая своего максимума к концу жизни деревьев. Для хвойных пород (сосна, ель, пихта) наибольшая частота встречаемости сухих деревьев отмечается для двух средних групп возраста (приспевающие и средневозрастные насаждения). Для спелых и перестойных древостоев наблюдается некоторое снижение этого показателя.

Выявленные закономерности подтверждаются теоретическими обобщениями учёныхлесоводов. Так, для лиственных древостоев (в условиях подтайги) наиболее заметное изреживание обусловлено усиливающимся угнетением лиственных деревьев хвойными породами, выходящими в первый ярус. Такая смена господствующей породы в древесном пологе, как правило, происходит после 60—70 лет с начала формирования древостоя (Мелехов, 1980; Обыдёнников, Тибуков, 2013; Тихонов, 2011). Хвойные породы (на территории обследования) имеют очевидные конкурентные преимущества над лиственными. Поэтому гибель сосны, ели и пихты в существенно большей мере зависит от внутривидовой конкуренции, интенсивность которой после смыкания крон достигает максимума в средних и приспевающих группах возраста (Рогозин, 2012). Интенсивное естественное изреживание хвойных древостоев в среднем прекращается после достижения 70-летнего возраста (Тихонов, 2011).

### Выводы

Изучение лесов при помощи беспилотных летательных аппаратов является перспективным направлением исследований. Данные, полученные в результате аэрофотосъёмки, имеют ряд преимуществ над изображениями Земли из космоса. Снимки, сделанные с БПЛА, обладают существенно более высоким пространственным разрешением, точностью привязки. Аэрофотосъёмка в меньшей степени зависит от облачности. При работе с беспилотным аппаратом значительно повышается оперативность и возможная периодичность съёмки. Стоимость самого аппарата и получаемых снимков ниже, чем в случае с космическим спутником.

Обработка аэрофотосъёмки заказника «Предуралье» позволила выявить сухостой и проанализировать его распределение. Всего зафиксировано 3384 сухих дерева. Средняя плотность сухостоя составляет 1,56 дерева на 1 га.

Целесообразно делить выявленный сухостой на отдельно стоящие деревья и компактные группировки (скопления). Чуть менее половины (48,3 %) всех выявленных сухих деревьев заказника сконцентрировано в 245 группировках. Средняя численность сухих деревьев в таких скоплениях составляет 6,67, максимальная — 39.

Анализ распределения сухостоя относительно основных геоморфологических элементов долины р. Сылвы даёт основания утверждать, что максимальная плотность сухих деревьев (2,75 дерева на 1 га) отмечена в пределах участков с уклоном более 45° и вблизи скальных обнажений. Средняя плотность сухостоя характерна для склонов крутизной менее 30°, а также возвышенной водораздельной поверхности (1,69 и 1,54 дерева на 1 га соответственно). Меньше всего сухих деревьев (0,39 дерева на 1 га) отмечено в пределах пойменных участков.

Сравнение распределения сухостоя с породным составом лесов показывает, что плотность сухих деревьев в лесах заказника «Предуралье» снижается в следующей последовательности: ельники (2,30 дерева на 1 га), осинники (1,87), березняки (1,54), сосняки (1,17), липняки (0,93), ольшаники (0,43).

В лесах, сформированных лиственными видами (берёза, липа, ольха серая), плотность сухих деревьев возрастает в процессе старения, достигая своего максимума к концу жизни деревьев. Для хвойных пород (сосна, ель, пихта) наибольшая частота встречаемости сухих деревьев отмечается для двух средних групп возраста (приспевающие и средневозрастные насаждения). Для спелых и перестойных древостоев наблюдается некоторое снижение этого показателя.

## Литература

- 1. Алешко Р.А., Алексеева А.А., Шошина К.В., Богданов А.П., Гурьев А.Т. Разработка методики актуализация информации о лесном участке с использованием снимков со спутников и малых БПЛА // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 5. С. 87—99.
- 2. Лесная фитопатология / под ред. Б. П. Чуракова. СПб.: Изд-во «Лань», 2012. 448 с.
- 3. Мелехов И. С. Лесоведение. М.: Лесная промышленность, 1980. 408 с.
- 4. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под ред. В. К. Кутузова. М.: ВНИИЛМ, 2004. 200 c
- 5. *Обыдёнников В. И.*, *Тибуков А. В.* Лесоведение: учебник. М.: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2013. 190 с.
- 6. *Полякова Е. В.*, *Гофаров М. Ю*. Возможности подспутникового дистанционного зондирования наземных участков с использованием беспилотного летательного аппарата CropCam // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 61–65.
- 7. Рогозин М. В. Лесоведение: методические указания. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2012. 36 с.
- 8. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan: Professional Edition, версия 1.1. URL: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\_1\_1\_ru.pdf. 2014. (дата обращения 15.04.2015).
- 9. *Тихонов А. С.* Лесоведение. Калуга: ГП «Облиздат», 2011. 332 с.

- 10. Фундаментальная фитопатология / под ред. Ю. Т. Дьякова. М.: КРАСАНД, 2012. 512 с.
- 11. Цифровая фотограмметрическая система Photomod: версия 6.0. Руководство пользователя. URL: http://www2.racurs.ru/download/Racurs brochures/PHOTOMOD.pdf (дата обращения 15.04.2015).
- 12. Шевченко С. В., Цилюрик А. В. Лесная фитопатология. Киев: Вища школа, 1986. 384 с.
- 13. *Arnold T.*, *De Biasio M.*, *Fritz A.*, *Leitner R.* UAV-based measurement of vegetation indices for environmental monitoring // 7<sup>th</sup> Intern. Conf. Sensing Technology. 2013. P. 704–707.
- 14. *Benavente D.* Semi-expendable unmanned aerial vehicle for forest fire suppression // Intern. Conf. Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires II. 2010. V. 137. P. 143–148.
- 15. *Dash J. P., Watt M. S., Pearse G. D., Heaphy M., Dungey H. S.* Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2017. V. 131. P. 1–14.
- 16. *Dong B.*, *Feng Z.-K.*, *Yao S.*, *Wang J.*, *Guo J.-C.* Aerial-ground-space precision auto-measurement technology in stereo forest surveying // J. Beijing Forestry University. 2008. V. 30. P. 173–177.
- 17. Dunford R., Michel K., Gagnage M., Piégay H., Trémelo M.-L. Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest // Intern. J. Remote Sensing. 2009. V. 30 (19). P. 4915–4935.
- 18. *Getzin S. Nuske R. S.*, *Wiegand K.* Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests // Remote Sensing. 2014. V. 6. P. 6988–7004.
- 19. *Gini R.*, *Passoni D.*, *Pinto L.*, *Sona G.* Use of unmanned aerial systems for multispectral survey and tree classification: A test in a park area of northern Italy // European J. Remote Sensing. 2014. V. 47(1). P. 251–269.
- 20. *Heurich M.*, *Ochs T.*, *Andresen T.*, *Schneider T.* Object-orientated image analysis for the semi-automatic detection of dead trees following a spruce bark beetle (Ips typographus) outbreak // European J. Forest Research. 2010. V. 129 (3). P. 313—324.
- 21. *Inoue T.*, *Nagai S.*, *Yamashita S.*, *Fadaei H.*, *Ishii R.*, *Okabe K.*, *Taki H.*, *Honda Y.*, *Kajiwara K.*, *Suzuki R.* Unmanned aerial survey of fallen trees in a deciduous broadleaved forest in eastern Japan // PLoS ONE. 2014. V. 9(10). P. 1–7.
- 22. *Launchbury R*. Unmanned aerial vehicles in forestry (Short Survey) // Forestry Chronicle. 2014. V. 90(4). P. 418–419.
- 23. *Lehmann J. R. K.*, *Nieberding F.*, *Prinz T.*, *Knoth C.* Analysis of unmanned aerial system-based CIR images in forestry a new perspective to monitor pest infestation levels // Forests. 2015. V. 6(3). P. 594–612.
- 24. *Lisein J.*, *Pierrot-Deseilligny M.*, *Bonnet S.*, *Lejeune P.* A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery // Forests. 2013. V. 4(4). P. 922–944.
- 25. *Merino L.*, *Caballero F.*, *Martínez-de-Dios J. R.*, *Maza I.*, *Ollero A.* Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement using Unmanned Aerial Vehicles // J. Intelligent and Robotic Systems. 2012. V. 65 (1–4). P. 533–548.
- 26. Paneque-Gálvez J., McCall M. K., Napoletano B. M., Wich S. A., Koh L. P. Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas // Forests. 2014. V. 5(6). P. 1481–1507.
- 27. *Pierzchała M.*, *Talbot B.*, *Astrup R.* Estimating soil displacement from timber extraction trails in steep terrain: Application of an unmanned aircraft for 3D modeling // Forests. 2014. V. 5(6). P. 1212–1223.
- 28. *Salamí E.*, *Barrado C.*, *Pastor E.* UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas // Remote Sensing. 2014. V. 6(11). P. 11051–11081.
- 29. *Sarkar S. K.*, *Das J.*, *Ehsani R.*, *Kumar V.* Towards autonomous phytopathology: Outcomes and challenges of citrus greening disease detection through close-range remote sensing // Proc. IEEE Intern. Conf. Robotics and Automation. 2016. P. 5143–5148.
- 30. *Schreyer J.*, *Lakes T.* Remote sensing-based approaches for modeling 3D vegetation information in urban areas // 14<sup>th</sup> Intern. Conf. Computational Science and its Applications. ICCSA. 2014. P. 116–120.
- 31. *Von Wahl N.*, *Heinen S.*, *Essen H.*, *Kruell W.*, *Tobera R.*, *Willms I.* An integrated approach for early forest fire detection and verification using optical smoke, gas and microwave sensors // Intern. Conf. Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires II. 2010. V. 137. P. 97–106.

# Identification and analysis of deadwood using an unmanned aerial vehicle

P. Yu. Sannikov, D. N. Andreev, S. A. Buzmakov

Perm State University, Perm 614990, Russia E-mail: sol1430@gmail.com

The demand for aerial photography performed by unmanned aerial vehicle has been growing quite rapidly in recent years both in Russia and worldwide. The range of tasks solved with the help of the aerial photography is quite wide. It includes applied problems as well as fundamental research questions. Forest area research appears to be one of the most popular objectives. The article presents a brief review of scientific literature devoted to the study of forest communities using unmanned aerial vehicles (UAVs) along with a concise overview of the technical parameters of the UAV. The main stages of obtaining an orthophoto by means of computer processing of primary survey materials have been formulated. The model object of aerial photography for this survey is Preduralye landscape reserve, located in the east of the European part of Russia, in the Priuralie region. The reserve is the fairly large (2290 hectares) natural complex, occupying the canyon valley of the river Sylva. The major part of Predurally reserve is covered by mixed coniferous-deciduous forests, with prevalence of spruce, pine, linden, and birch. Aerial photography analysis made it possible to identify deadwood within the reserve boundaries. The research studied single-stand and aggregated distribution of dry wood, position of dead trees relative to the forest districts and the main geomorphological elements of the Sylva valley. Finally, statistical parameters of dry wood density in forests of different tree species composition and age were calculated.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, orthophoto, photogrammetry, forest, deadwood

Accepted: 19.03.2018 DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-103-113

#### References

- 1. Aleshko R.A., Alekseeva A.A., Shoshina K.V., Bogdanov A.P., Guriev A.T., Razrabotka metodiki aktualizatsiya informatsii o lesnom uchastke s ispol'zovaniem snimkov so sputnikov i malykh BPLA (Development of the methodology to update the information on a forest area using satellite imagery and small UAVs), *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 5, pp. 87–99.
- 2. Lesnaya fitopatologiya (Forest phytopathology), B. P. Churakov (ed.), St. Petersburg: Izd. "Lan", 2012, 448 p.
- 3. Melekhov I. S., *Lesovedenie* (Forest science), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1980, 408 p.
- 4. *Metody monitoringa vreditelei i boleznei lesa* (Methods for monitoring pests and diseases of forest), V. K. Kutuzov (ed.), Moscow: VNIILM, 2004, 200 p.
- 5. Obydennikov V.I., Tibukov A.V., *Lesovedenie* (Forest science), Moscow: FGBOU VPO MGUL, 2013, 190 p.
- 6. Poljakova E. V., Gofarov M. Ju., Vozmozhnosti podsputnikovogo distantsionnogo zondirovaniya nazemnykh uchastkov s ispol'zovaniem bespilotnogo letatel'nogo apparata CropCam (Possibilities or the undersatellite remote sounding of land sites with use of unmanned aerial vehicle CropCam), *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 4, pp. 61–65.
- 7. Rogozin M.V., *Lesovedenie: metodicheskie ukazaniya* (Forest science: guidelines), Perm: Izd. PGNIU, 2012, 36 p.
- 8. *Rukovodstvo pol'zovatelya Agisoft PhotoScan: Professional Edition, versiya 1.1.* (User manual of Agisoft PhotoScan: Professional Edition, edition 1.1.), 2004, URL: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\_1\_1\_ru.pdf (accessed 15.04.2015).
- 9. Tikhonov A. S., Lesovedenie (Forest science), Kaluga: GP "Oblizdat", 2011, 332 p.
- 10. *Fundamentalnaya fitopatologiya* (Fundamental phitopatology), Yu. T. Diakonov (ed.), Moscow: KRASAND, 2012, 512 p.
- 11. *Tsifrovaya fotogrammetricheskaya sistema Photomod: versiya 6.0. Rukovodstvo pol'zovatelya* (Digital photogrammetry processing Photomod: edition 6.0. User manual), URL: http://www2.racurs.ru/download/Racurs\_brochures/PHOTOMOD.pdf (accessed 15.04.2015).

- 12. Shevchenko S. V., Tsilyurik A. V., *Lesnaya fitopatologiya* (Forest phytopathology), Kiev: Vishcha shkola, 1986, 384 p.
- 13. Arnold T., De Biasio M., Fritz A., Leitner R., UAV-based measurement of vegetation indices for environmental monitoring, 7<sup>th</sup> *International Conference on Sensing Technology*, 2013, pp. 704–707.
- 14. Benavente D., Semi-expendable unmanned aerial vehicle for forest fire suppression, *International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires II*, 2010, Vol. 137, pp. 143–148.
- 15. Dash J. P., Watt M. S., Pearse G. D., Heaphy M., Dungey H. S., Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak, *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, Vol. 131, pp. 1–14.
- 16. Dong B., Feng Z.-K., Yao S., Wang J., Guo J.-C., Aerial-ground-space precision auto-measurement technology in stereo forest surveying, *J. Beijing Forestry University*, 2008, Vol. 30, pp. 173–177.
- 17. Dunford R., Michel K., Gagnage M., Piégay H., Trémelo M.-L., Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest, *Intern. J. Remote Sensing*, 2009, Vol. 30(19), pp. 4915–4935.
- 18. Getzin S., Nuske R.S., Wiegand K., Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests, *Remote Sensing*, 2014, Vol. 6, pp. 6988–7004.
- 19. Gini R., Passoni D., Pinto L., Sona G., Use of unmanned aerial systems for multispectral survey and tree classification: A test in a park area of northern Italy, *European J. Remote Sensing*, 2014, Vol. 47(1), pp. 251–269.
- 20. Heurich M., Ochs T., Andresen T., Schneider T., Object-orientated image analysis for the semi-automatic detection of dead trees following a spruce bark beetle (Ips typographus) outbreak, *European J. Forest Research*, 2010, Vol. 129(3), pp. 313–324.
- 21. Inoue T., Nagai S., Yamashita S., Fadaei H., Ishii R., Okabe K., Taki H., Honda Y., Kajiwara K., Suzuki R., Unmanned aerial survey of fallen trees in a deciduous broadleaved forest in eastern Japan, *PLoS ONE*, 2014, Vol. 9 (10), pp. 1–7.
- 22. Launchbury R., Unmanned aerial vehicles in forestry (Short Survey), *Forestry Chronicle*, 2014, Vol. 90(4), pp. 418–419.
- 23. Lehmann J. R. K., Nieberding F., Prinz T., Knoth C., Analysis of unmanned aerial system-based CIR images in forestry a new perspective to monitor pest infestation levels, *Forests*, 2015, Vol. 6(3), pp. 594–612.
- 24. Lisein J., Pierrot-Deseilligny M., Bonnet S., Lejeune P., A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery, *Forests*, 2013, Vol. 4(4), pp. 922–944.
- 25. Merino L., Caballero F., Martínez-de-Dios J. R., Maza I., Ollero A., Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement using Unmanned Aerial Vehicles, *J. Intelligent and Robotic Systems*, 2012, Vol. 65(1–4), pp. 533–548.
- 26. Paneque-Gálvez J., McCall M. K., Napoletano B. M., Wich S. A., Koh L. P., Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas, *Forests*, 2014, Vol. 5(6), pp. 1481–1507.
- 27. Pierzchała M., Talbot B., Astrup R., Estimating soil displacement from timber extraction trails in steep terrain: Application of an unmanned aircraft for 3D modeling, *Forests*, 2014, Vol. 5(6), pp. 1212–1223.
- 28. Salamí E., Barrado C., Pastor E., UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas, *Remote Sensing*, 2014, Vol. 6(11), pp. 11051–11081.
- 29. Sarkar S. K., Das J., Ehsani R., Kumar V., Towards autonomous phytopathology: Outcomes and challenges of citrus greening disease detection through close-range remote sensing, *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2016, pp. 5143–5148.
- 30. Schreyer J., Lakes T., Remote sensing-based approaches for modeling 3D vegetation information in urban areas, 14<sup>th</sup> International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA, 2014, pp. 116–120.
- 31. Von Wahl N., Heinen S., Essen H., Kruell W., Tobera R., Willms I., An integrated approach for early forest fire detection and verification using optical smoke, gas and microwave sensors, *International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires II*, 2010, Vol. 137, pp. 97–106.