

УДК 630\*23::583

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЛЕСА

*С. А. Денисов, А. А. Домрачев, А. С. Елсуков*

Поволжский государственный технологический университет,

Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

E-mail: denisovsa@volgatech.net

*Опыт применения малого беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для мониторинга возобновления леса на труднопроходимых площадях гарей и вырубок показал удовлетворительные результаты. Анализ снимков с не профессиональной камеры малого БПЛА позволяет проводить мониторинг не только естественного возобновления, но и лесных культур, оценивать их приживаемость. Применение БПЛА является перспективным, мало затратным и эффективным методом дистанционного зондирования в лесном хозяйстве на уровне лесничества.*

**Ключевые слова:** лесное хозяйство; лесовосстановление; мониторинг лесовосстановления; БПЛА; дистанционное зондирование.

**Введение.** В лесном хозяйстве дистанционное зондирование является высокоэффективным средством контроля и мониторинга лесохозяйственной деятельности. Оно находит широкое применение при таксации лесов и лесоустройстве. Особое значение дистанционное зондирование приобретает при проведении работ на труднодоступных участках лесов [1–6]. Так, например, весьма трудозатратными работами является приведение в известность площадей лесного фонда, пройденных пожарами. Проблема ликвидации последствий лесных пожаров заключается, в первую очередь, в оценке состояния естественного восстановления лесов (ЕВЛ) и выборе способов лесовосстановления. Сложность решения этого вопроса часто связана с объективной оценкой хода естественного возобновления леса на площадях неразработанных горельников, где часто сложно и небезопасно проводить полевые работы. Спутниковые снимки для целей этих работ дороги и не обеспечивают достаточного разрешения. Для данных задач аналогично можно оценить и аэрофотосъемку.

Одним из перспективных методов дистанционного зондирования в рассматриваемом случае является применение малых беспилотных летательных аппаратов. БПЛА в виде самолёта с камерой высокого разрешения может обеспечить съёмку значительных территорий [7]. Но для целей мониторинга процесса лесовосстановления целесообразнее применять квадрокоптеры, которые позволяют делать съёмку по заданным координатам с заданной высоты, взлёт и посадка которых осуществляется с необорудованных площадок.

**Цель работы** – определить возможности и методы использования малых беспилотных летательных аппаратов (квадрокоптеров) в лесном хозяйстве для приведения в известность процессов лесовосстановления на труднодоступных участках лесного фонда.

**Задачи** исследования – определить возможности и оптимальные условия проведения съёмки для исследования естественного и искусственного возобновления лесных площадей с помощью сверхмалых беспилотных летательных аппаратов.

---

© Денисов С. А., Домрачев А. А., Елсуков А. С., 2016.

**Для цитирования:** 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

**Объект и методика исследования.** Исследования проводили на научно-исследовательском лесопожарном полигоне филиала Поволжского государственного технологического университета «Учебно-опытное лесничество» в квартале 67 Чернушкинского лесного участка на стационарном объекте кафедры лесоводства и лесоустройства и кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Института леса и природопользования ПГТУ.

Объект представляет собой участок сосняков брусничного ( $A_2$ ) и черничного ( $A_3$ ) типов леса, пройденного сильным низовым пожаром в 2010 году и вырубленного спустя три года. Здесь, в кв. 67 Чернушкинского лесного участка филиала ПГТУ «Учебно-опытный лесхоз», создан стационар для наблюдений за лесовосстановлением, состоящий из 12 секций: четыре секции лесных культур сосны и восемь секций, оставленных под естественное зарастивание. Все участки имеют размеры, близкие к 40 x 50 м. В рамках работы были обследованы участок с естественным возобновлением и участок с искусственным восстановлением леса.

Методика работы заключалась в сравнении результатов наземного и дистанционного определения параметров восстановления сосны на гари спустя шесть лет после пожара. Тестирование проводилось на двух секциях стационарной пробной площади. Здесь равномерно по площади заложено по 10 круговых учётных площадок (УП) размером  $10 \text{ м}^2$  каждая с общей

учётной площадью  $100 \text{ м}^2$ . На них по стандартной методике [8] определены: густота подроста, его встречаемость, возрастная и высотная структура. Для определения по снимкам параметров участка сосны в естественном возобновлении были рассмотрены варианты визуального подсчёта подроста сосны на экране компьютера, а также методы определения величины его проективного покрытия и встречаемости.

Для определения проективного покрытия кронами подроста сосны нами для сравнения использованы модифицированный метод «квадрата-сетки» [9, 10], основанного на подсчёте числа узлов сетки, проецируемых на растительность (рис. 1, А) и программный комплекс ENVI. Встречаемость хвойного подроста определялась по соотношению квадратов сетки с наличием пикселей, отнесённых к классу «хвойные», к общему количеству квадратов сетки (рис. 1, Б).

Для улучшения поиска границ участков по снимкам с квадрокоптера столбы пробных площадей были помечены яркими и заметными в любое время года метками. Для проведения повторных съёмок в дальнейшем для цели мониторинга естественного возобновления и лесных культур были отмечены центры пробных площадей при помощи GPS-приёмника, встроенного в БПЛА. Центр площади с естественным возобновлением: N56 28.537 E47 49.449 и с искусственным: N56 28.501 E47 49.442.

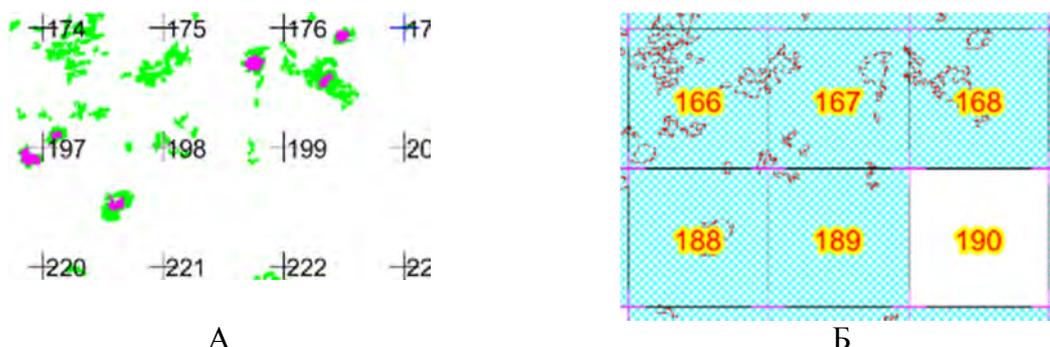


Рис. 1. Фрагменты определения проективного покрытия (А) и встречаемости (Б) класса «хвойные»

Для сравнения качества съёмки штатной камерой квадрокоптера (табл. 1) и космическими снимками были использованы общедоступные данные космической съёмки с разрешением  $\sim 0,5$  м.

Таблица 1

#### Характеристика БПЛА и камеры

Параметр	Характеристика
Полётная масса (г)	2935
Точность зависания (м) в GPS-режиме: вертикально/горизонтально	0,5/2,5
Максимальная высота полёта	4500 м (программное ограничение до 500 м)
Максимальное время полёта	около 18 минут
Модель штатной камеры	X3 FC350
Всего пикселей / Рабочие пиксели	12,76 / 12,4 Мрх
Максимальный размер изображения	4000x3000
Диапазон ISO	100~6400
FOV (Поле зрения)	94°
CMOS	Sony EXMOR 1/2,3"
Объектив	f/2,8 (аналог 20 мм) Асферический объектив. Фильтр искажений. Ультрафиолетовый фильтр

В данном эксперименте применялся малый беспилотный аппарат класса квадрокоптер Inspire-1 китайской компании DJI Innovations. В этой разработке объединены мощный коптер и камера X3 Sony, позволяющая снимать видео в формате 4К с возможностью прямой трансляции съёмки на подключенный дистанционно планшет. Скорость DJI Inspire-1 составляет 80 км/ч, это значит, что в паре с новым аккумулятором 6S он может пролететь (на одном заряде) за 18 минут до 24 км.

Особенностью штатной камеры является постоянное фокусное расстояние и недостаточное количество пикселей сенсора, что влечёт за собой некоторые трудности в проведении намеченных съёмочных работ. Отметим, что на пространственное разрешение съёмки влияют характеристики камеры: поле зрения, размер кадра и количество рабочих пикселей на сенсоре. Эти параметры в данной камере не поддаются регулированию, что говорит о невозможности посредством их влиять на результат съёмки. Для увеличения или

уменьшения пространственного разрешения съёмки необходимо изменять расстояние до снимаемого объекта, в данном случае высоту съёмки. Пространственное разрешение непосредственно влияет на минимальный размер объектов, которые можно будет различить на снимке. В данном случае проекции крон подростка составляют, в лучшем случае, несколько десятков сантиметров. Для достоверного определения таких объектов на снимке необходимо достаточно высокое пространственное разрешение, что обуславливает необходимость проведения съёмки с небольшой высоты.

По нашим расчётам, оптимальным разрешением для таких работ будет от 2,5 до 5,0 см/пикс. При таком разрешении съёмки отчётливо различается всё искусственное и естественное возобновление леса с первого года лесовосстановления, что практически недоступно для космической съёмки (рис. 2). Оптимальная высота съёмки для рассматриваемой камеры при требуемом разрешении составляет 50 – 70 м.

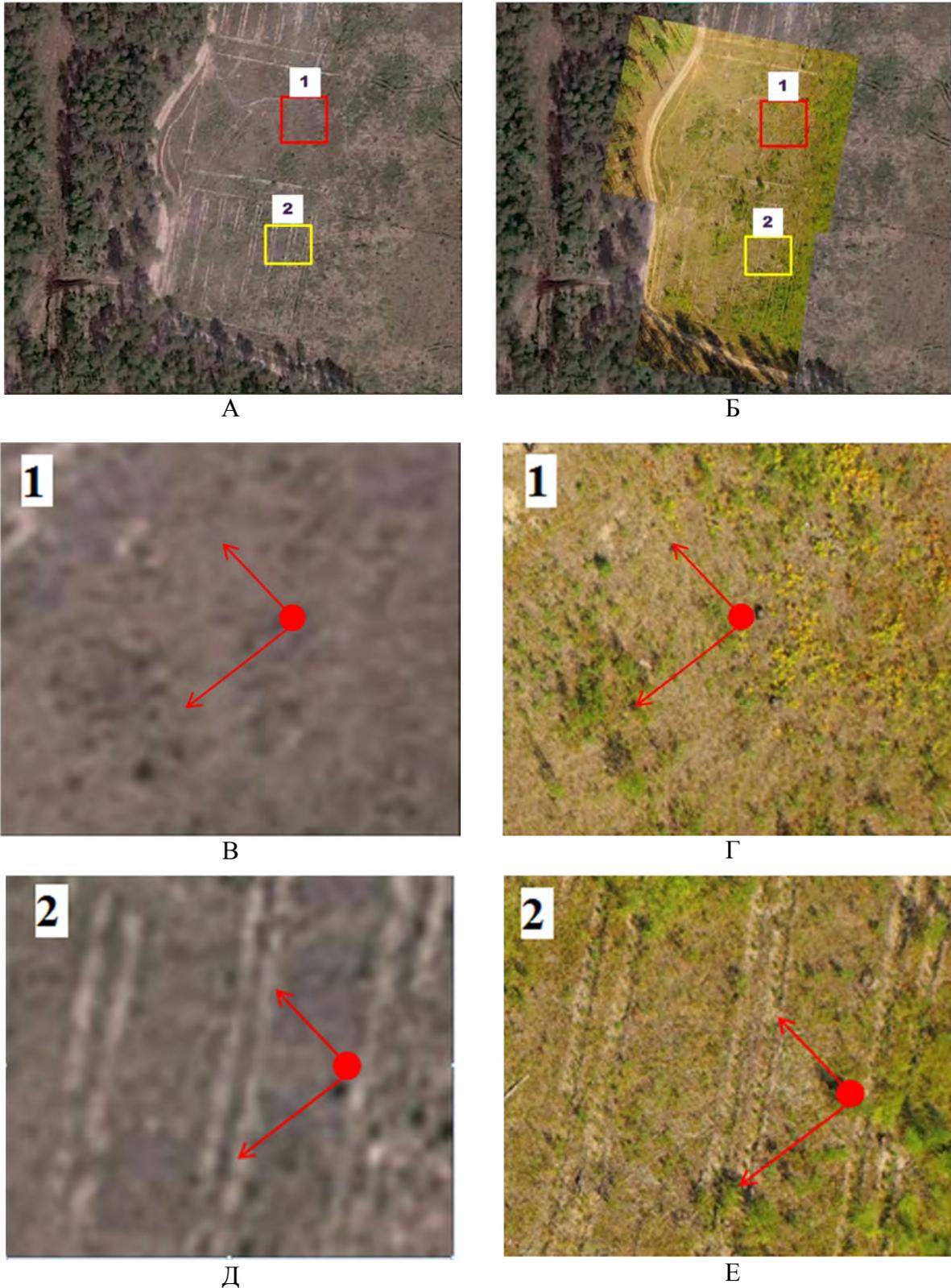


Рис. 2. Информативность съёмки естественного возобновления:

А – данные космической съёмки (пространственное разрешение 0,5 м/пикс); Б – данные съёмки с БПЛА (0,028 м/пикс); В – увеличенный фрагмент данных космической съёмки (0,5 м/пикс); Г – увеличенный фрагмент данных съёмки БПЛА (0,028 м/пикс); Д – увеличенный фрагмент данных космической съёмки (0,5 м/пикс); Е – увеличенный фрагмент данных съёмки БПЛА (0,028 м/пикс)

Для увеличения достоверности полученных данных при мониторинге лесов классическими методами дистанционного зондирования (аэрокосмическая съёмка) помимо стандартного набора каналов в синем, зелёном, красном диапазонах широко используются ближним инфракрасным диапазоном. Данный канал позволяет легко различить хвойную растительность от лиственной, применяя синтез соответствующих каналов. На современных БПЛА профессионального класса присутствует инфракрасный канал, но стоимость таких аппаратов на порядок выше любительских и полупрофессиональных. В нашем случае столь необходимый канал отсутствует. По этой

причине нам необходимо было оценить наличие хвойного подроста на рассматриваемой площади при наличии только трёх стандартных видимых каналов: красного, зелёного и синего. Нами было принято решение изучить возможность оценки наличия хвойного подроста при помощи классификации с обучением способом «расстояние Махаланобиса» (Mahalanobis Distance) в программной среде ENVI. Этот способ классификации изображений учитывает распределение значений яркости обучающих выборок и поэтому его рекомендуют использовать, когда области значения яркости объектов пересекаются, что оптимально подходит для решения нашей задачи.

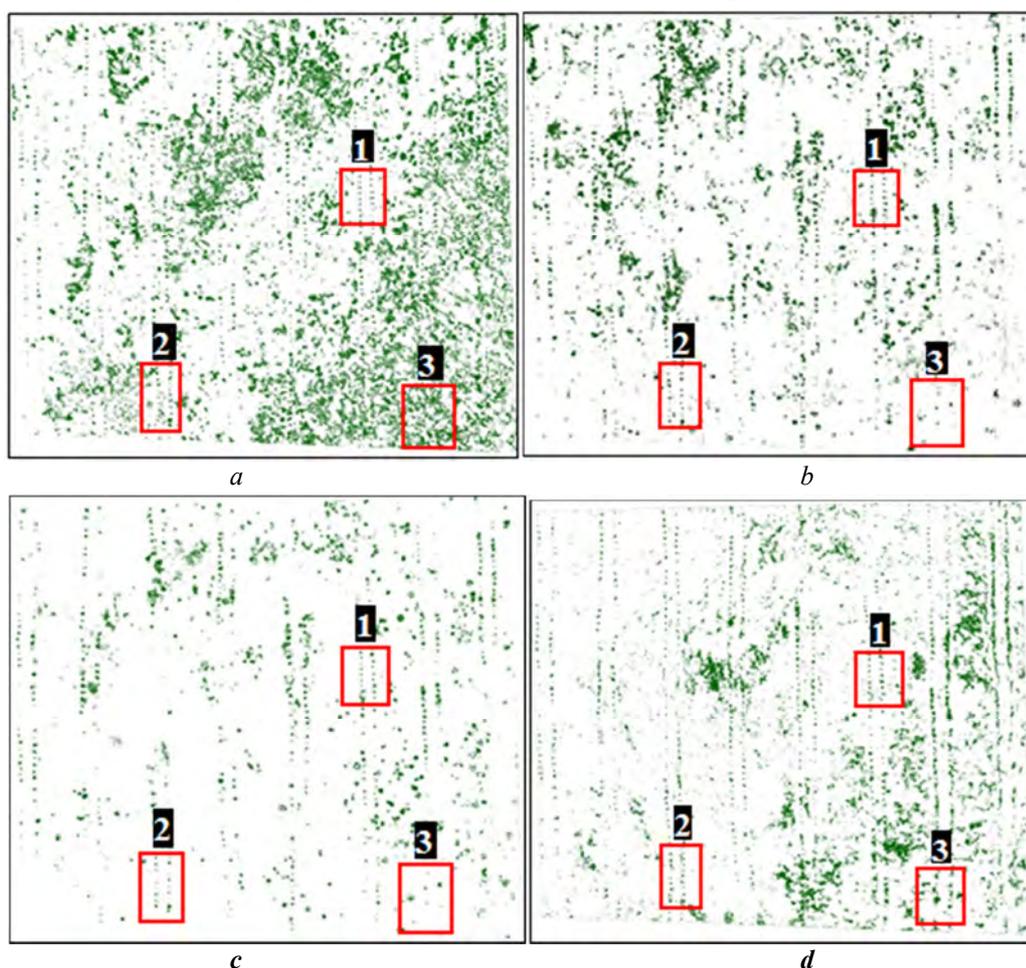


Рис. 3. Результат оценки наличия хвойного подроста в условиях разной степени зарастания лиственными по разновременным снимкам при помощи классификации с обучением способом «Mahalanobis Distance» в программной среде ENVI. 1, 2, 3 – участки с разной степенью зарастания лиственными породами: 1 – без зарастания; 2 – частично заросшие; 3 – полностью заросшие. a, b, c, d – разновременные снимки с дифференциацией по состоянию облиствения лиственных: a – с наличием зелёной листвы на деревьях; b – с частичным пожелтением листьев на деревьях; c – с полным пожелтением всех листьев на деревьях; d – с полным опадением всех листьев и выпадением первого снега

Поскольку достоверность дешифрирования при использовании традиционных методов классификации снимков во многом зависит от таких факторов, как сезон съёмки, фаза вегетативного развития растений, возможности камеры, состояние атмосферы [11, 12], выявление условий съёмки для решения нашей задачи мы производили на тестовом участке при разном состоянии растительности.

Нами была проведена съёмка в четырёх вариантах состояния листвы на деревьях:

а – с наличием зелёной листвы на деревьях (дата съёмки 16.08.2016),

б – с частичным пожелтением листьев на деревьях (дата съёмки 30.09.2016),

с – с полным пожелтением всех листьев на деревьях (дата съёмки 21.10.2016),

д – с полным опадением всех листьев и выпадением первого снега (дата съёмки 01.11.2016).

Для определения хвойной растительности обучение проводили на участке с наличием периодически повторяющихся в рядах и хорошо заметных на каждой снимке лесных культур сосны. Для анализа проведённой классификации разновременных снимков были выделены на них по три участка (рис. 3) с разной степенью зарастания лиственными породами: не заросшие (п. 1), частично заросшие (п. 2) и полностью заросшие (п. 3).

**Результаты.** Наземные учёты 2016 года показали (табл. 2), что общее количество подроста сосны на участке с естественным возобновлением составляет  $14,2 \pm 3,18$  тыс. шт.\*га<sup>-1</sup>. Возраст подроста сосны колеблется от двух до пяти лет, при этом средневзвешенный возраст составляет 4,4 года. Наибольшее количество подроста сосны (86 %) появилось на второй и третий год после пожара. В момент обследования это пятилетний (на 80 % представлен экземплярами выше 0,5 м) и четырёхлетний подрост (70 % его количества ниже 0,5 м). Количество лиственного подроста – 5,7 тыс. шт.\*га<sup>-1</sup> и представлен он в равных долях берёзой и осиной. Встречаемость подроста всех древесных пород, участвующих в возобновлении леса на учётных площадках, составляет 100 %, при этом встречаемость сосны – 100, берёзы – 90 и осины – 50 %.

Живой напочвенный покров представлен травянистой растительностью, размещение его неравномерно в пределах рассматриваемых участков.

Результаты проведённой работы по классификации снимков показали следующие результаты. Наличие хвойной растительности (культур сосны) практически одинаково различимо невооружённым глазом в любой сезон, особенно на участках, не заросших лиственными породами (рис. 3, п. 1), что и подтверждают результаты обучаемой классификации снимков.

Таблица 2

Показатели высоты подроста древесных пород, участвующих в естественном возобновлении леса

Статистические показатели высоты подроста	Сосна				Берёза	Осина
	2 года	3 года	4 года	5 лет		
$X \pm m$	11,8±0,66	25,3±2,57	43,4±2,37	74±3,46	110,4±13,92	112,8±9,18
$\pm \sigma$	1,48	9,61	16,06	30,52	74,96	48,58
Коэфф. изменчивости, %	12%	38%	37%	41%	68%	43%
Пределы высот, см	10–14	12–46	20–90	10–165	12–250	20–220
Количество подроста, тыс. шт.*га <sup>-1</sup>	0,5	1,4	4,6	7,7	2,9	2,8

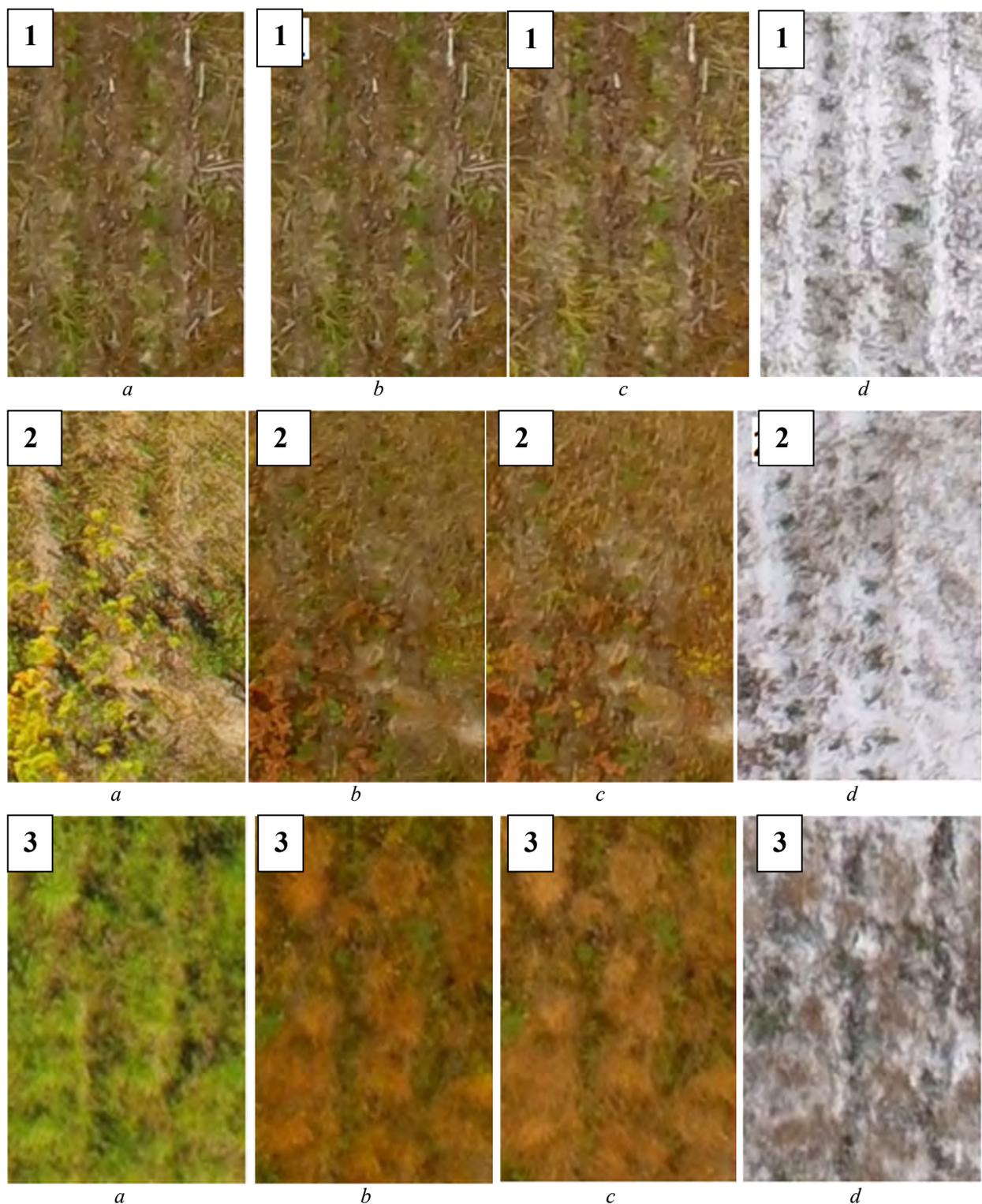


Рис. 4. Подрост сосны на одновременных снимках при различном зарастании лиственными породами.  
 1, 2, 3 – участки культур с разной степенью зарастания лиственными породами: 1 – без зарастания;  
 2 – частично заросшие; 3 – полностью заросшие;  
 а, b, c, d – одновременные снимки с дифференциацией по состоянию облиствения деревьев:  
 а – с наличием зелёной листвы на деревьях; b – с частичным пожелтением листьев на деревьях;  
 с – с полным пожелтением всех листьев на деревьях; d – с полным опадением всех листьев и выпадением  
 первого снега

Наличие хвойной растительности (культур сосны), частично заросшей лиственными, визуально лучше определяется при съёмке с началом пожелтения листьев и до их полного опадения (рис. 3). Особенно детально это проявляется при компьютерной классификации, которая позволяет более уверенно отделить хвойную растительность от лиственной. Летние снимки в данном случае показали результат несколько хуже ввиду наложения яркостей отражения примерно одинаковой характеристики от хвойных и лиственных насаждений.

Наихудшие результаты показали участки, полностью заросшие лиственной растительностью (рис. 4, п. 3). Достоверно определить наличие хвойной растительности на данных участках в летний период практически не представляется возможным как визуально, так и при обработке снимков на специализированном программном обеспечении.

Осенняя съёмка лесных культур, заросших лиственным подростом, даёт немного лучший результат из-за смещения цвета лиственной растительности в сторону жёлто-оранжевого диапазона. На таких снимках относительно хорошо различимы хвойные растения, кроны которых не перекрыты лиственными (имеют примерно равную высоту или размещены относительно обособленно), в остальных же случаях достоверно определить наличие хвойной рас-

тительности, находящейся под кронами лиственных, не представляется возможным.

При опадении листьев и появлении первого снежного покрова наличие хвойного подроста практически одинаково уверенно определяется при любой степени зарастания (рис. 4, 1d, 2d, 3d), что подтверждают результаты классификации снимков (рис. 5).

Как показало предварительное исследование, подсчёт количества подростка сосны по снимкам трудоёмок и во многом зависит от подготовленности исполнителя. Таким образом, подсчёт количества подростка по снимкам является нераациональной операцией.

Мы считаем, что для оценки успешности естественного возобновления не обязательно знать точное количество подростка главной породы. Необходимо вычислить лишь «гарантированный минимум» наличия крупного подростка на выделе (рис. 6), знать его пространственное размещение (равномерное или неравномерное) и затем уже сравнивать с нормативами. «Гарантированный минимум» количества подростка можно определить исходя из размера учётных площадок и встречаемости на них подростка главной породы:

$$G_m = T \cdot (10/S),$$

где –  $G_m$  гарантированный минимум количества подростка на гектар, тыс. шт.;  $T$  – встречаемость подростка в долях от единицы;  $S$  – размер учётной площадки, м<sup>2</sup>.

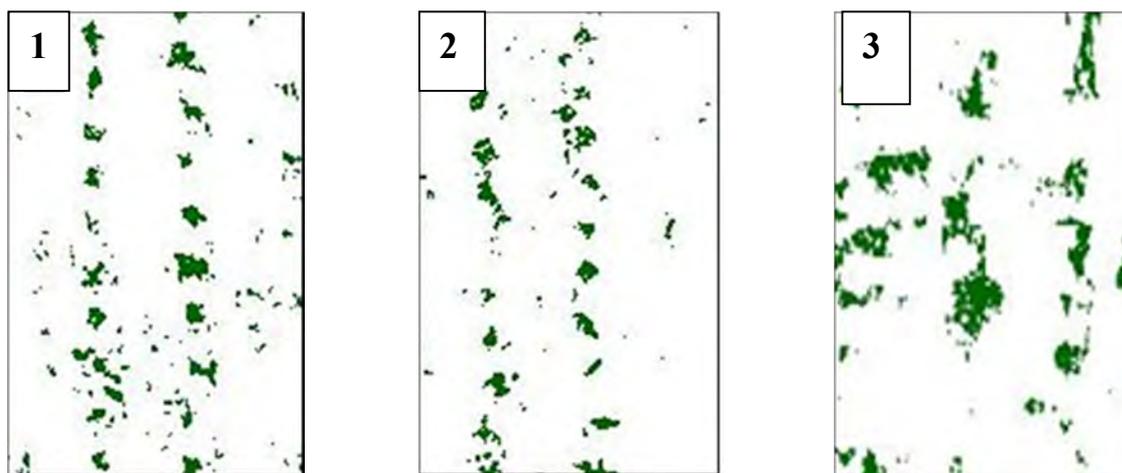


Рис. 5. Результаты классификации снимков на наличие хвойных в культурах при разной степени зарастания лиственными породами, при наличии снежного покрова: 1 – без зарастания; 2 – частично заросшие; 3 – полностью заросшие

Таблица 3

**Встречаемость (Т) и «гарантированный минимум» ( $G_m$ )  
подроста сосны на секциях стационара по данным снимков**

Секции стационара	Общее количество УП, шт.	Количество УП с классом «хвойные», шт.	Показатели	
			Т	$G_m$ , тыс. шт*га <sup>-1</sup>
Естественное (Е-1)	422	385	0,91	<b>12,6</b>
Искусственное (ЛК-1)	504	483	0,96	<b>13,3</b>

Для определения встречаемости подроста сосны на снимки была нанесена сетка квадратов со стороной, которая обеспечивала формирование 400 квадратных «учётных площадок» (УП) на всём участке, что давало статистически гарантированную точность учёта не менее 10 %. В нашем случае стороны квадрата составили 0,85 м и размер УП, равный 0,72 м<sup>2</sup>.

На каждой УП фиксировалось наличие или отсутствие крон сосны, что дало возможность рассчитать встречаемость, а затем и  $G_m$  – «гарантированный минимум» количества подроста (табл. 3).

Наземный метод учёта показал, что на секции с естественным возобновлением густота подроста составляет 14,2±3,18 тыс. шт\*га<sup>-1</sup>. Это вполне согласуется с вычисленным по снимку показателем  $G_m$ . Следует отметить, что часть подроста сосны при наземном учёте характеризовалась как «мелкий» (до 50 см высотой) и его насчитывалось 1,9 тыс. шт\*га<sup>-1</sup> (см. табл. 2). Чаще всего этот подрост идентифицировался на снимках только в группах.

Естественное лесовосстановление в районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации путём мероприятий по сохранению подроста и уходу за молодняками может быть обеспечено, если крупного, равномерно размещённого по выделу, подроста на сухих почвах будет более 3, на свежих более 1,5 и на влажных более 1,0 тысячи на гектар (Правила

лесовосстановления, 2016). Встречаемость, характеризующая равномерность размещения подроста по площади выдела, является важным показателем для принятия решения о необходимости лесохозяйственного вмешательства в процесс лесовосстановления. Считается, что равномерность размещения подроста по выделу обеспечивается, если показатель  $T \geq 0,65$ . В случае, если  $T < 0,65$ , следует увеличить размер учётной площади, ориентируясь на зависимость гарантированного минимума подроста в связи с его встречаемостью и размером учётных площадок (см. рис. 6).

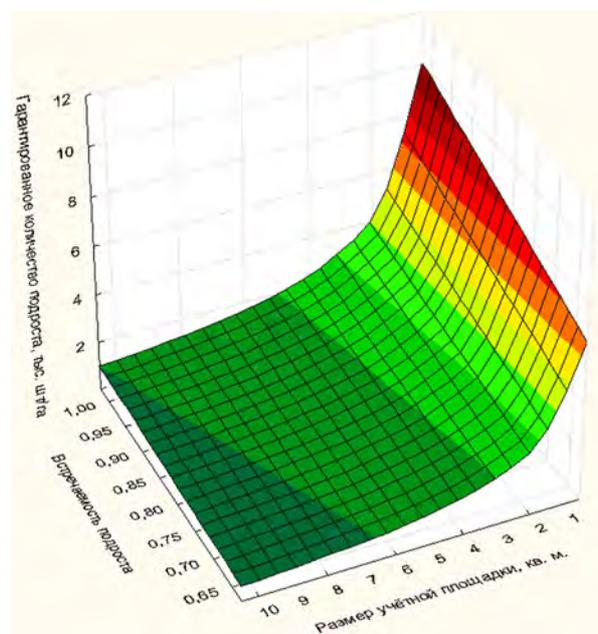


Рис. 6. Зависимость гарантированного минимума количества подроста в связи с его встречаемостью и размером учётных площадок

Таблица 4

## Результаты вычисления проективного покрытия методом квадрата-сетки

Секции стационара	Результаты классификации			По модифицированному методу квадрата-сетки [8]			Разница, %
	количество пикселей		ПП, %	количество пунктов замера		ПП, %	
	всего, шт	«хвойные», шт		всего, шт	«хвойные», шт		
Естественное	3 526 835	602 035	17,1	466	68	14,6	-2,5
Искусственное	4 098 269	551 179	13,4	551	109	19,8	+6,4
Общий итог	7 625 104	1 153 214	15,1	1 017	177	17,4	-2,3

Важным показателем является проективное покрытие (ПП) кронами подроста, что характеризует степень сомкнутости полога и является основным показателем при решении о переводе площади в категорию лесопокрытой.

Вычисление ПП подростом сосны методом квадрата-сетки с использованием снимков с нанесённой сеткой и по пикселям в программном комплексе ENVI показало близкие результаты (табл. 4).

**Заключение.** Анализ данных съёмки с БПЛА Inspire-1 с подвесом непрофессиональной камеры X3 Sony для изучения процесса возобновления леса на разработанной гари показывает следующие результаты:

- качество съёмки по детализации на порядок лучше космической съёмки;

- оптимальная высота полёта БПЛА по соотношению объёма работ и полноты учёта подроста высотой до 1,5 м по нашим данным составляет 50 – 70 м;

- при учёте подроста в летний период по снимкам с БПЛА учитывается по большей части крупный или одиночно стоящий подрост, произрастающий на чистых местах, во всех остальных случаях учёт подроста возможно проводить только куртинами;

- искусственное возобновление в летний период учитывается значительно детальней, чем естественное, из-за их цик-

лического линейного расположения в видимых минерализованных полосах;

- для определения породного состава возобновления необходима съёмка в поздний осенний или средневесенний период, когда листовая растительность находится в безлистном состоянии;

- для детального учёта хвойного подроста желательна съёмка производить при небольшом снежном покрове;

- для оценки успешности естественного возобновления предлагается рассчитывать показатель «гарантированный минимум» количества подроста с использованием показателей: «встречаемость» и «размер учётной площадки»;

- для более достоверного определения встречаемости подроста сосны и его проективного покрытия следует использовать возможности специализированных программных комплексов.

Применение малых БПЛА, даже с непрофессиональной камерой, для обследования лесовосстановительных процессов на труднодоступных площадях вполне оправдано. Обработка таких снимков в специализированных программных комплексах позволяет вычислять основные показатели лесовозобновительного процесса. Применение БПЛА является перспективным, малозатратным и эффективным методом дистанционного зондирования в лесном хозяйстве на уровне лесничества.

## Список литературы

1. *Исаев А.С., Черненко Т.В.* Уникальность современного этапа дистанционного зондирования лесов России // Сибирский лесной журнал. 2015. № 5. С. 26-41.
2. Оперативный мониторинг лесов Сибири с использованием многосенсорных данных дистанционного зондирования земли / К. Хютих, М.А. Стельмачук-Горска, Д. Эберле, П. Котзерке, К. Шмуллиус // Сибирский лесной журнал. 2014. № 5. С. 38-52.
3. *Савченко А.А., Выводцев Н.В.* Оценка возможностей применения данных дистанционного зондирования при мониторинге санитарного и лесопатологического состояния лесов // Ученые заметки ТОГУ. 2015. Т. 6. № 4. С. 658-661.
4. *Luis Merino.* Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting // Forest Ecology and Management 234. November 2006 with 1,204 Reads DOI: 10.1016/j.foreco.2006.08.292
5. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) operated spectral camera system for forest and agriculture applications / Н. Saari, I. Pellikka, L. Pesonen et al. // Proceedings of SPIE 8174(81740H). 2011. 15 p.
6. *Кислицын В. Н.* Современные космические технологии на службе лесного хозяйства // Лесная таксация и лесоустройство. 2012. № 2 (48). С. 64-68.
7. *Скуднева О.В.* Беспилотные летательные аппараты в системе лесного хозяйства России // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 6 (342). С. 150-154.
8. *Денисов С. А., Демичева Н.В., Егоров В.М.* Теория и практика естественного возобновления леса. Режим доступа: <http://csfm.vlgatech.net/elearning/vozobnovlenie/nachalo.html> (Дата обращения 15.09.2016).
9. *Бузук Г. Н., Созинов О. В.* Оптимизация метода оценки обилия и площади зарослей лекарственных растений // Растительные ресурсы. 2014. Т. 50. № 2. С. 316–323.
10. *Бузук Г.Н.* Оптимизация точности учёта проективного покрытия при использовании квадрата-сетки // Бюллетень Брянского отделения Русского ботанического общества. 2015. № 1 (5). С. 22-25.
11. *Манович В. Н., Гук А. П., Евстратова Л. Г.* Методы дешифрирования многоспектральных аэрокосмических снимков при решении задач таксации лесов // Государственный лесной реестр, государственная инвентаризация лесов и лесоустройство: материалы 3-й Междунар. научно-практич. конф.: Новосибирск 29 ноября – 1 декабря 2012 г. М.: ФГУП «Рослесинфорг», 2013. С. 63–72.
12. Возможности обработки и анализа данных сверхлёгкого БПЛА Sensefly ebee в лесном хозяйстве / Г.А. Галецкая, М.В. Вьюнов, С.В. Железова, С.И. Завалишин // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 3. № 4. С. 11-18.

Статья поступила в редакцию 15.10.16.

## Информация об авторах

*ДЕНИСОВ Сергей Александрович* – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – биология и экология леса, естественное возобновление леса, экология лесных пожаров. Автор 146 публикаций.

*ДОМРАЧЕВ Алексей Анатольевич* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, лесоустройство, лесная таксация. Автор 14 публикаций.

*ЕЛСУКОВ Алексей Сергеевич* – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, лесоустройство, лесная таксация. Автор 10 публикаций.

UDC 630\*23::583

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34

## QUADROCOPTER PRACTICAL APPLICATION FOR FOREST REGENERATION MONITORING

S. A. Denisov, A. A. Domrachev, A. S. Elsukov

Volga State University of Technology,  
3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation  
E-mail: denisovsa@volgatech.net

**Key words:** forestry; forest regeneration; monitoring of forest regeneration; drone; remote sensing.

### ABSTRACT

**Introduction.** Remote sensing in forestry is a highly efficient means of control and monitoring. Remote sensing is very important for difficult-to-reach forest areas. One of prospective methods of remote sensing considered in the paper is the application of drones. **Goals and objectives.** The work is aimed at the definition of possibilities and methods of drone application in forestry in order to follow forest regeneration processes in difficult-to-reach forest areas. **Materials and methods.** The research is carried out on a plot of pine forest of *vaccinium* ( $A_2$ ) and *myrtillus* ( $A_3$ ) types, severely damaged in the ground fire of 2010 and cut down three years later. The working procedure included the comparison of results obtained from the ground and remote parameter definition of pine forest regeneration on the burnt area 6 years after the forest fire. The shots were taken using X3 FC350 camera installed on the «Inspire» quadrocopter produced by a Chinese company Dajiang Innovation Technology Co. (DJI). **Results.** The quality of filming made from 50-70 meters height in terms of its detailed elaboration stands well above the satellite survey. In summer time the shots taken by drones allow carrying out inventory of large coppice mainly growing in the clearings. Coniferous coppice can be identified in clumps or after the fall of leaves. Forest plantations (artificial planting) feature a more detailed inventory, as compared to the areas with natural forest regeneration in summer time due to their circular line pattern within visible firelines. **Conclusions.** The application of small drones equipped even with non-professional cameras for the survey of forest regeneration processes in difficult-to-reach forest areas is well justified. In order to obtain a more detailed inventory of the coniferous undergrowth it is necessary to carry out a survey in the conditions of a slight snow cover. In order to estimate the efficiency of natural forest regeneration is it recommended to calculate the indicator of a «guaranteed minimum» of the quantity of undergrowth using the following indicators: «frequency» and «plot size».

### REFERENCES

1. Isaev A.S., Chernenkova T.V. Unikalnost sovremennogo etapa distantsionnogo zondirovaniya lesov Rossii [Uniqueness of the contemporary stage of remote sensing in Russian forests]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal]. 2015. No 5. Pp. 26-41.
2. Khyutikh K., Stelmachuk-Gorska M.A., Eberle D., Kotzerke P., Shmullius K. Operativnyy monitoring lesov Sibiri s ispolzovaniem mnogosensornykh dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli [On-line monitoring of Siberian forests using multi-sensory measurement data of ground remote sensing]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal]. 2014. No 5. Pp. 38-52.
3. Savchenko A.A., Vyvodtsev N.V. Otsenka vozmozhnostey primeneniya dannykh distantsionnogo zondirovaniya pri monitoringe sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov [Assessment of possibilities of remote sensing data application in monitoring of sanitary and forest pathology condition of forests]. *Uchenye zametki TOGU* [Academic notes of TOGU]. 2015. Vol. 6. No 4. Pp. 658-661.
4. Luis Merino. Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting. *Forest Ecology and Management* 234 · November 2006 with 1,204 Reads DOI: 10.1016/j.foreco.2006.08.292
5. Saari H., Pellikka, I., Pesonen L. et al. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) operated spectral camera system for forest and agriculture applications // *Proceedings of SPIE* 8174(81740H). 2011. 15 p.
6. Kislitsyn V. N. Sovremennye kosmicheskie tekhnologii na sluzhbe lesnogo khozyaystva [Contemporary extraterrestrial technologies for forestry]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest inventory and forest management]. 2012. No 2 (48). Pp. 64-68.
7. Skudneva O.V. Bespilotnye letatelnye apparaty v sisteme lesnogo khozyaystva Rossii [Drones in

Russian forestry]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Izvestiya of Higher Educational Institutions. Forest Journal]. 2014. No 6 (342). Pp. 150-154.

8. Denisov S. A., Demicheva N.V., Egorov V.M. Teoriya i praktika estestvennogo vozobnovleniya lesa [Theory and practice of natural forest regeneration]. Available from : <http://csfm.volgatech.net/elearning/vozobnovlenie/nachalo.html> (Date of reference 15.09.2016).

9. Buzuk G. N., Sozinov O. V. Optimizatsiya metoda otsenki obiliya i ploshchadi zarosley lekarstvennykh rasteniy [Optimization of assessment method applicable to abundance and area of tangle vegetation of medical plants]. *Rastitelnye resursy* [Plant resources]. 2014. Vol. 50. No 2. Pp. 316–323.

10. Buzuk G.N. Optimizatsiya tochnosti ucheta proektivnogo pokrytiya pri ispolzovanii kvadrata-setki [Optimisation of plant cover accuracy when using a grid cell]. *Byulleten Bryanskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Bulletin of the Bryansk

Branch of Russian Botanical Society]. 2015. No 1 (5). Pp. 22-25.

11. Manovich V. N., Guk A. P., Evstratova L. G. Metody deshifirovaniya mnogosppektralnykh aerokosmicheskikh snimkov pri reshenii zadach taksatsii lesov [Decoding methods of multispectral aerospace images when addressing the issues of forest inventory]. *Gosudarstvennyy lesnoy reestr, gosudarstvennaya inventarizatsiya lesov i lesoustroystvo: materialy 3-y Mezhdunar. nauchno-praktich. konf.* [State forestry register. State forest inventory and forest management: proceedings of the 3<sup>rd</sup> international research and practical conference]: Novosibirsk 29 November – 1 December 2012. Moscow: FGUP «Roslesinforg», 2013. Pp. 63–72.

12. Galetskaya G.A., Vyunov M.V., Zhelezova S.V., Zavalishin S.I. Vozmozhnosti obrabotki i analiza dannykh sverkhlegkogo BPLA Sensefly ebee v lesnom khozyaystve [Possibilities of analysis and processing of data obtained from superlight drone Sensefly ebee in forestry]. *Interexpo Geo-Sibir* [Interexpo GEO-Siberia]. 2015. Vol. 3. No 4. Pp. 11-18.

The article was received 15.10.16.

**Citation for an article:** Denisov S. A., Domrachev A. A., Elsukov A. S. Quadcopter Practical Application for Forest Regeneration Monitoring // Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2016. No 4(32). Pp. 34-46. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34

#### Information about the authors

*DENISOV Sergei Aleksandrovich* – Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. Research interests – forest biology and ecology, natural forest regeneration, ecology of forest fires. Author of 146 publications.

*DOMRACHEV Aleksei Anatolevich* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. Research interests – remote sensing of forests, forest management, forest inventory. Author of 14 publications.

*ELSUKOV Aleksei Sergeevich* – Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. Research interests – remote sensing of forests, forest management, forest inventory. Author of 10 publications.