

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7163

УДК 630.2:502.05

Статья

Использование беспилотного летательного аппарата для оценки процесса формирования молодняков на вырубках

Ольхин Юрий Васильевич

кандидат биологических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), olkhin@petrstu.ru

Гаврилова Ольга Ивановна

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), ogavril@petrstu.ru

Грязькин Анатолий Васильевич

доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Российская Федерация), lesovod@bk.ru

Получена: 17 мая 2023 / Принята: 14 сентября 2023 / Опубликовано: 27 сентября 2023

Аннотация: Представлены материалы по использованию беспилотного летательного аппарата для оценки состояния молодняков на вырубках с оставленными куртинами семенных деревьев. Для получения аэрофотоснимков применялся беспилотный авиационный комплекс самолётного типа. Аэрофотосъёмка проводилась в видимом диапазоне (RGB) и видимом и ближнем инфракрасном диапазонах (RED, REG, GRE, NIR). Пространственное разрешение в видимом диапазоне составило менее 5 см, в видимом и ближнем инфракрасном — 19 см. Использование беспилотного летательного аппарата и мультиспектральных снимков позволило оценить состояние и структуру молодняков на вырубке 8-летней давности с созданными лесными культурами сосны обыкновенной. На ортофотоплане отчётливо видны ряды лесных культур и примеси хвойных и лиственных пород естественного происхождения, как в рядах, так и в междурядьях. Определён состав молодняков, сформировавшихся на опытных участках, и состав древостоев в оставленных куртинах. Сосна обыкновенная дешифрируется по округлой форме и относительно равномерной, мелкозернистой текстуре проекции кроны, а также тени в форме полумесяца или полукольца, что обусловлено шаровидной

или параболоидной формой кроны с закруглённой вершиной. Ель дешифрируется звёздчатым рисунком проекции кроны и тенью в виде полукруга и треугольника, что обусловлено конусовидной формой кроны. Мультиспектральный анализ изображения позволяет идентифицировать ель европейскую по зеленовато-голубому цвету. Лиственные деревья на мультиспектральных изображениях имеют жёлто-зелёный, жёлто-оранжевый, красноватый оттенок проекций крон. Для изображения берёзы бородавчатой характерна округлая форма проекции кроны с неровным краем, среднезернистая или комковатая текстура за счёт распределения затенённых и освещённых участков в кроне дерева. Благодаря высокому пространственному разрешению снимков с беспилотного летательного аппарата, на наклонных проекциях деревьев в видимом диапазоне берёза заметна по белому цвету ствола. С использованием специальных программ определены численность деревьев по породам и даже биометрические характеристики отдельных растений. Полученные материалы целесообразно использовать при разработке нормативных документов и планировании лесохозяйственных работ.

Ключевые слова: методы оценки; беспилотный летательный аппарат; сосна обыкновенная; естественное восстановление леса

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7163

Article

The use of unmanned aerial vehicles to assess young trees formation in clean cutting areas

Yuri Olkhin

*PhD in biology, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
olkhin@petsu.ru*

Olga Gavrilova

*D. Sc. in agriculture, professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
ogavril@petsu.ru*

Anatoliy Gryazkin

*D. Sc. in biology, professor, Saint Petersburg State Forest Technical University
named after S. M. Kirov (Russian Federation), lesovod@bk.ru*

Received: 17 May 2023 / Accepted: 14 September 2023 / Published: 27 September 2023

Abstract: The article presents information on the use of an unmanned aerial vehicle to assess young trees state in seed blocks. An unmanned aircraft complex of an airplane type was used to obtain aerial photographs. Aerial photography was carried out in the visible range (RGB) and the visible and near infrared ranges (RED, REG, GRE, NIR). The spatial resolution in the visible range was less than 5 cm, in the visible and near infrared – 19 cm. The use of an unmanned aerial vehicle and multispectral images allowed assessing the condition and structure of young trees at the cutting of 8 years ago with the created forest crops of scots pine. On the orthophotoplane, rows of forest crops and admixtures of coniferous and deciduous species of natural origin are clearly visible both in the rows and in the inter-row spacing. The compositions of the young trees formed on the experimental plots and that of the stands in the seed blocks were determined. The Scotch pine was deciphered by the rounded shape and relatively uniform, fine-grained texture of the crown projection, as well as the shadow in the form of a crescent or half-ring, which is due to the spherical or paraboloid shape of the crown with a rounded top. Spruce was deciphered by a star-shaped crown projection pattern and a shadow in the form of a semicircle and a triangle, which is due to the cone-shaped shape of the crown. Multispectral image analysis allowed identifying the European spruce by its greenish-blue color. Deciduous trees in multispectral images had yellow-green, yellow-orange, reddish shade of crown projections. The image of the warty birch

was characterized by the rounded shape of the crown projection with an uneven edge, medium-grained or lumpy texture due to the distribution of shaded and illuminated areas in the crown of the tree. Due to the high spatial resolution of images from an unmanned aerial vehicle on inclined projections of trees in the visible range, the birch was noticeable by the white color of the trunk. Using special programs, the number of trees by species was determined, and even so the biometric characteristics of individual plants. It is advisable to use the obtained materials in the development of regulatory documents and planning of forestry work.

Keywords: assessment methods; unmanned aerial vehicle; scots pine; natural forest restoration

1. Введение

Практический опыт лесовосстановительных работ в условиях таёжной зоны показывает, что в большинстве случаев на вырубках, особенно по сухим бедным почвам, естественное возобновление сосной протекает успешно [1], [2]. Особенно это актуально при проведении мер содействия на вырубке, в виде оставленных семенных куртин и минерализации почвы [3], [4]. По этой причине создание лесных культур в данных условиях может быть не всегда целесообразно.

В самых распространённых на территории Республики Карелия сосняках брусничных и черничных, если расстояние рассеивания семян позволяет, что обеспечивается оптимальной шириной вырубки, лесовосстановление обеспечивается естественно появившимся самосевом. Однако при несвоевременном проведении рубок ухода за составом в течение первых 10—20 лет он может погибать под кронами лиственных насаждений. На участках по относительно богатым типам почв (травяные и кисличные типы леса) рекомендуется проведение обработки почвы для устранения влияния, в основном, злаковой растительности. Ряд авторов отмечают [5], [6], что при сплошных рубках не всегда соблюдали Правила лесовосстановления и возобновление хвойных пород не обеспечивалось. Отмечается, кроме того, высокая ветровальность семенных деревьев и куртин в течение первых трёх лет, которые связывают с недостаточной устойчивостью корневых систем в результате отсутствия мероприятий по уходу за лесом [7], [8]. В целях повышения ветроустойчивости вместо отдельных деревьев для сосны и ели рекомендовано оставлять семенные куртины [8].

Известно, что искусственное лесовосстановление относится к плановым мероприятиям с заранее утверждённым объёмом. В этой связи при отсутствии оптимальных площадей лесокультурного фонда для создания лесных культур используются любые категории непокрытых лесом земель, включая вырубки на сухих бедных почвах после рубки сосняков [9]. Такие способы лесовосстановления приводят к нерациональному использованию выделенных материальных и денежных средств [10].

Естественное возобновление — единственный способ восстановления лесных формаций в историческом прошлом [2]. Такой способ восстановления лесов практиковался и практикуется, в основном, в зоне таёжных лесов. Нередко естественное возобновление бывает весьма успешным, численность подроста может достигать в отдельных случаях до 40 тыс. экз./га [11]. Обилие самосева хвойных пород отмечается исследователями, как правило, на сухих бедных почвах.

Оценка состояния лесовозобновления на вырубках на основе материалов, полученных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), является перспективным инструментом для современного мониторинга состояния лесовосстановительных работ [12—18]. Высокое пространственное разрешение снимков БПЛА повышает качество дешифрирования объектов

лесного фонда, позволяет выявлять породный состав, таксационные характеристики насаждений, наличие заболеваний у древесных растений [19—22].

Цель исследования — оценка успешности лесовосстановления на вырубках с использованием материалов, полученных с беспилотных летательных аппаратов.

2. Материалы и методы

Для оценки состояния лесовосстановления были использованы данные, полученные с помощью беспилотной авиационной системы. Аэрофотосъёмка части территории, представляющая часть лесных насаждений, вырубок, семенных куртин и лесных культур, была проведена БПЛА с жёстким крылом, высота полёта составила около 200 м. Съёмочные работы выполнялись 29—30 июня 2020 г.

Исследуемые объекты находятся в кварталах 82 и 96 лесного фонда Вешкельского лесничества в Суоярвском районе Республики Карелия. Общая площадь, охваченная аэрофотосъёмкой, составляет 1000 га. В представленном исследовании сделана оценка части территории, а именно вырубка 2014 г., ряд примыкающих насаждений, семенные куртины и лесные культуры сосны обыкновенной 8-летнего возраста (рисунок 1 — объект 1, рисунок 2 — объект 2).

Для проведения аэрофотосъёмки использовались камеры SONY DSC-RX1R с видимым диапазоном (RGB) и Parrot Sequoia с видимым и ближним инфракрасным диапазоном (RED, REG, GRE, NIR). В видимом диапазоне пространственное разрешение снимков составило менее 5 см, в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне — 19 см.

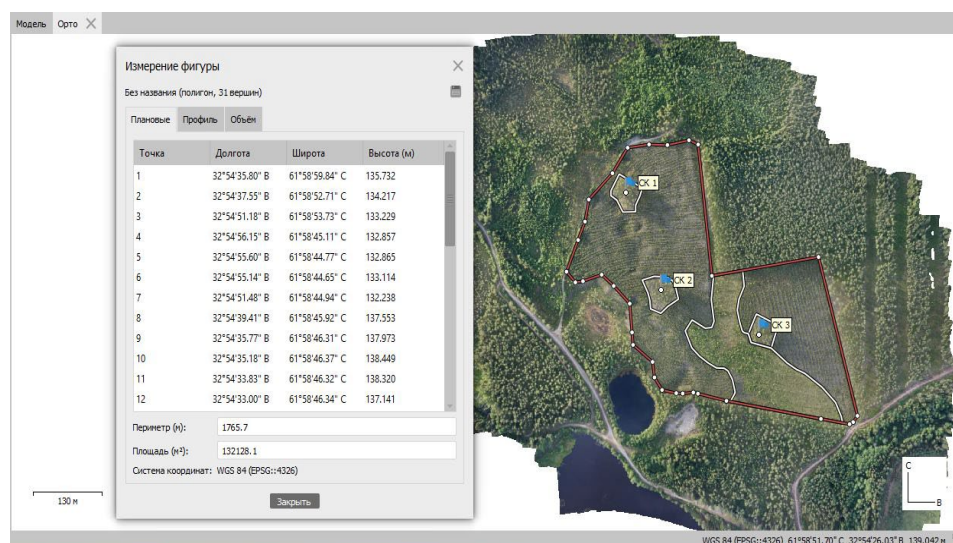


Рисунок 1. Контуры вырубки, семенных куртин и лесные культуры сосны обыкновенной на объекте 1 (СК-1, СК-2, СК-3 — семенные куртины)

Figure 1. Contours of clean cutting, seed trees and artificial reforestation of scots pine at object 1 (СК-1, СК-2, СК-3 — seed blocks)

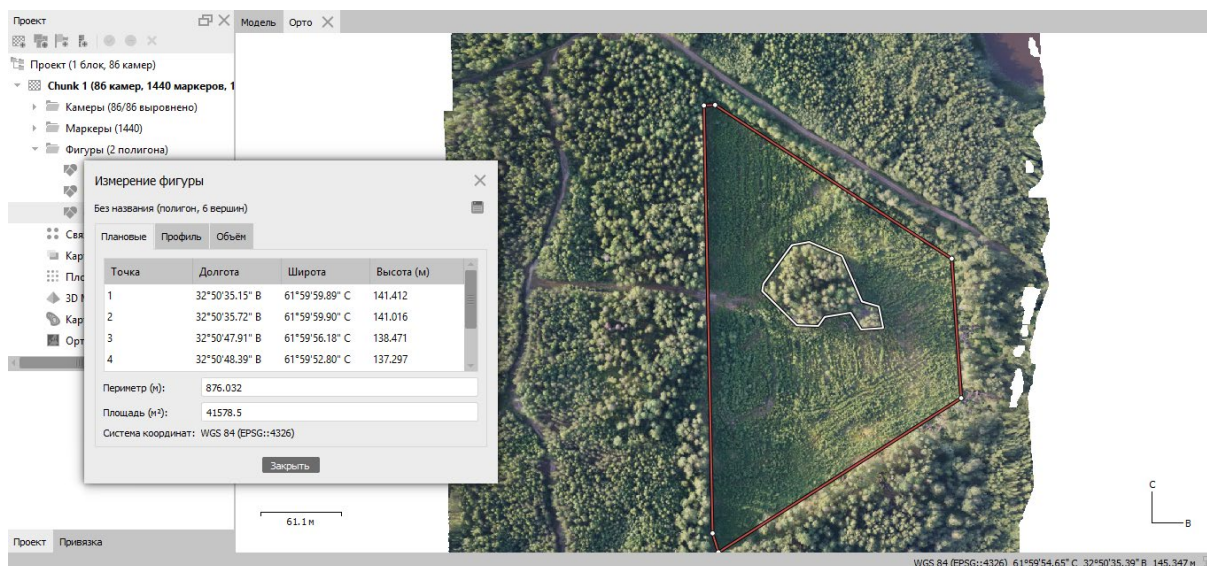


Рисунок 2. Контуры вырубki и семенной куртины на объекте 2

Figure 2. Contours of clean cutting and seed blocks in object 2

Для обработки материалов аэрофотосъёмки использовалось современное фотограмметрическое программное обеспечение Agisoft Metashape Professional. Был выполнен процесс загрузки и выравнивания (фототриангуляции) снимков, привязки снимков, построения плотного облака точек, классификации облака точек, создания 3D-модели, карт высот и ортофотоплана. В качестве системы координат была применена WGS 84. Пространственное разрешение полученного ортофотоплана составило 4,84 см/пиксель. Дополнительно для анализа мультиспектральных изображений было использовано программное обеспечение Scanex Image Processor.

3. Результаты

Ортофотоплан с высоким пространственным разрешением способствует точному определению рядов и междурядий в лесных культурах, а также позволяет различить проекции крон саженцев, идентифицировать проекции крон деревьев в семенных куртинах и стволы упавших деревьев.

На рисунке 3 представлено синтезированное мультиспектральное изображение NIR-GRE-RED лесных культур сосны обыкновенной и семенной куртины на объекте 2. По преобладающему красно-оранжевому цвету хорошо дешифрируются лиственные породы на площади стен леса, окружающей вырубку. При этом заметны ряды лесных культур, которые начали смыкаться в рядах, что свидетельствует о достаточной сохранности культур. Кроме того, в рядах и междурядьях культур после 8 лет наблюдаем интенсивное зарастание вырубki видами живого напочвенного покрова, интенсивный жёлто-оранжевый фон свидетельствует как раз об этом. Участки минерализованной почвы и дорог хорошо

распознаются по серовато-синему тону. На площади вырубке отмечается большое количество возобновления лиственных пород, источником которых являются стены леса, примыкающие к вырубке. Таким образом, для объекта 2 характерно большое количество примеси лиственных пород к созданным культурам сосны обыкновенной, что предполагает в ближайшее время проведение уходов за составом молодняка.

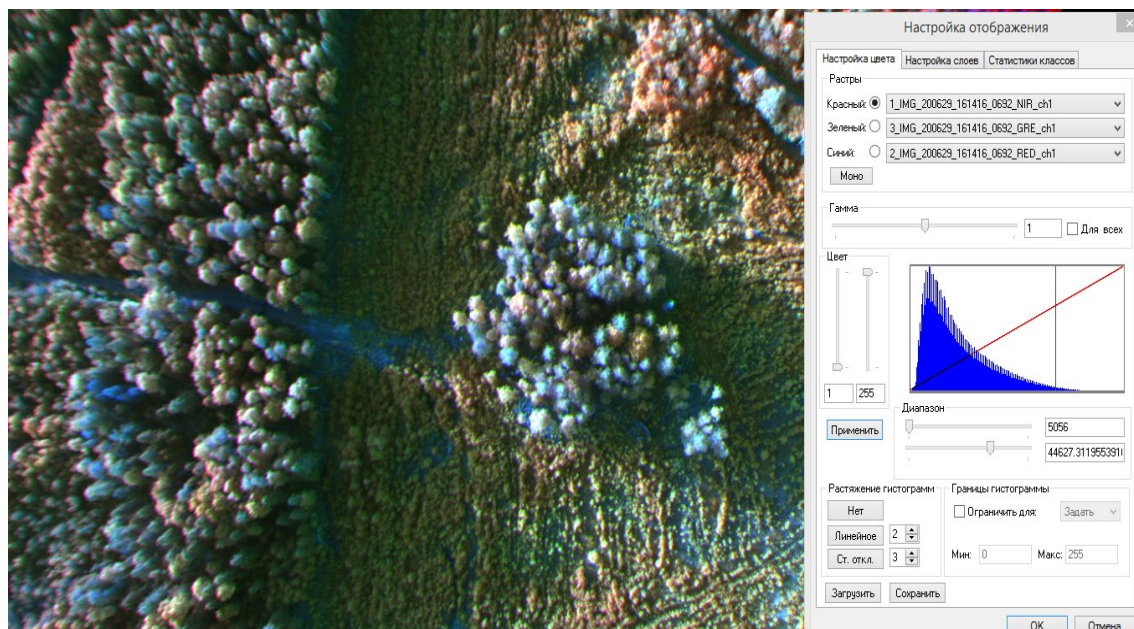


Рисунок 3. Мультиспектральное синтезированное изображение NIR-GRE-RED вырубке с семенной куртиной и рядами лесных культур сосны обыкновенной

Figure 3. Multispectral synthesized image of a NIR-GRE-RED clean cutting with a seed blocks and rows of artificial reforestation of scots pine

На рисунке 4 представлено синтезированное мультиспектральное изображение NIR-GRE-RED лесных культур сосны обыкновенной и семенной куртины на объекте 1. По светлому зеленовато-серому цвету дешифрируются проекции крон сосны. Лиственные породы имеют более яркий желтоватый оттенок.

Данные с БПЛА способствуют распознаванию растений благодаря сверхвысокому пространственному разрешению. На вырубке в семенных куртинах хорошо идентифицируются лесообразующие породы по спектральным и геометрическим характеристикам. Оценка дешифровочных признаков, таких как цвет, форма проекции кроны, текстура, собственная и падающая тени, даёт возможность выявить древесные породы.

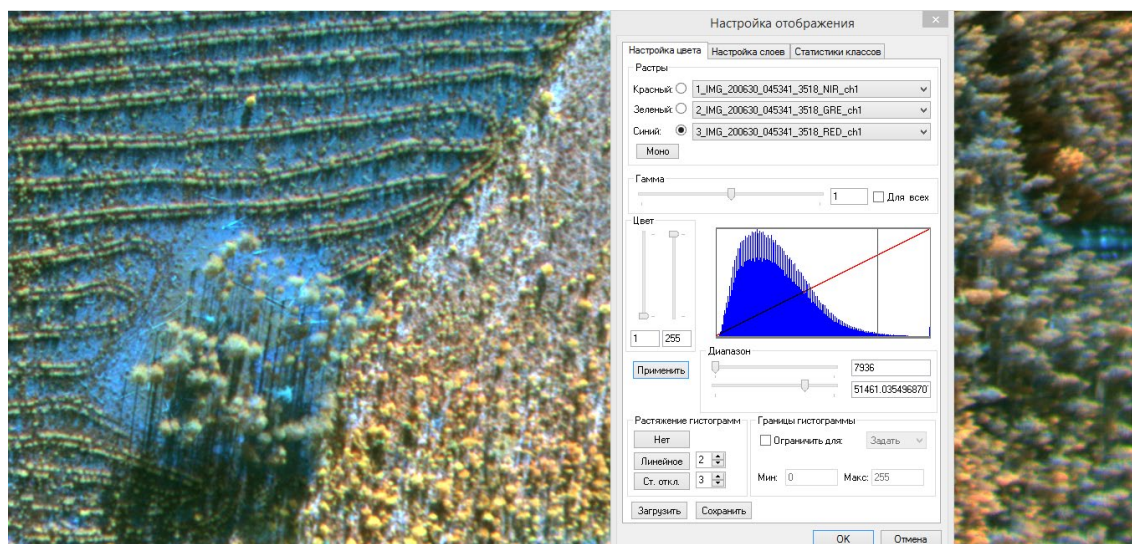


Рисунок 4. Мультиспектральное синтезированное изображение NIR-GRE-RED фрагмента вырубki на объекте 1 с семенной куртиной (СК-3) и рядами лесных культур сосны обыкновенной

Figure 4. Multispectral synthesized image of a NIR-GRE-RED fragment of clean cutting in object 1 with a seed blocks (СК-3) and rows of artificial reforestation of scots pine

На изображениях, полученных с помощью БПЛА (рисунок 5), хорошо различимы форма и радиальная текстура проекции кроны ели европейской.

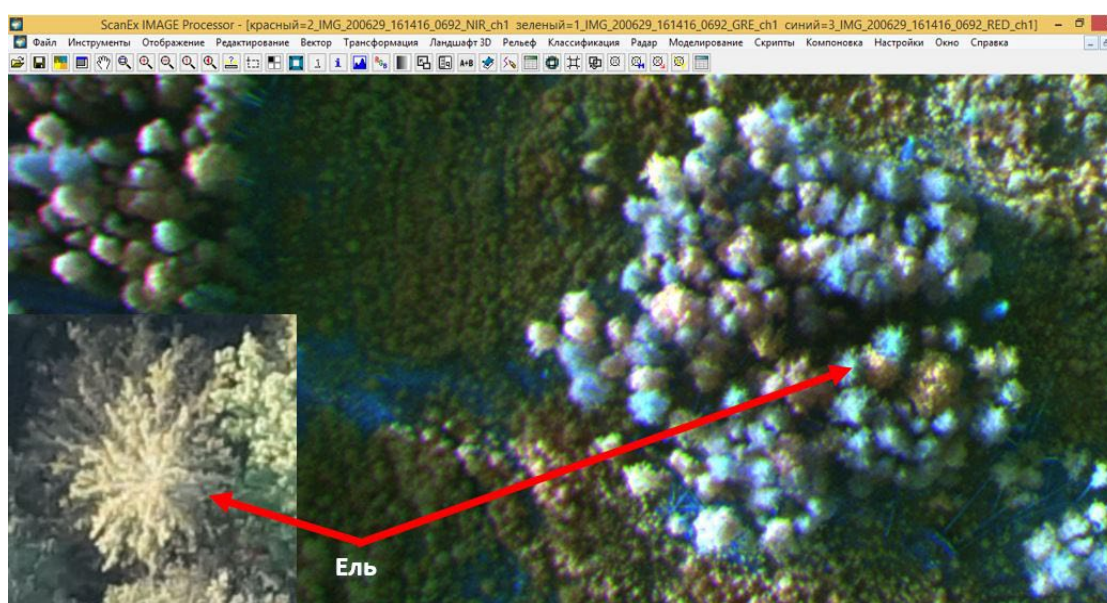


Рисунок 5. Спектральные и геометрические характеристики ели европейской в семенной куртине

Figure 5. Spectral and geometric characteristics of european spruce in a seed blocks

Особенности ветвления ели способствуют формированию звёздчатого рисунка проекций крон на снимках. Собственная тень имеет вид полукруга и треугольника, что обусловлено конусовидной формой кроны. Мультиспектральный анализ изображения позволяет идентифицировать ель европейскую по зеленовато-голубому цвету.

Сосна обыкновенная дешифрируется по округлой форме и относительно равномерной, мелкозернистой текстуре проекции кроны. Зернистость образуется за счёт распределения освещённых и затенённых участков в кроне. Собственная тень воспринимается как полумесяц или полукольцо, что обусловлено шаровидной или параболической формой кроны с закруглённой вершиной. В представленном мультиспектральном синтезе проекции крон сосны имеют светлый голубоватый оттенок (рисунок 6).

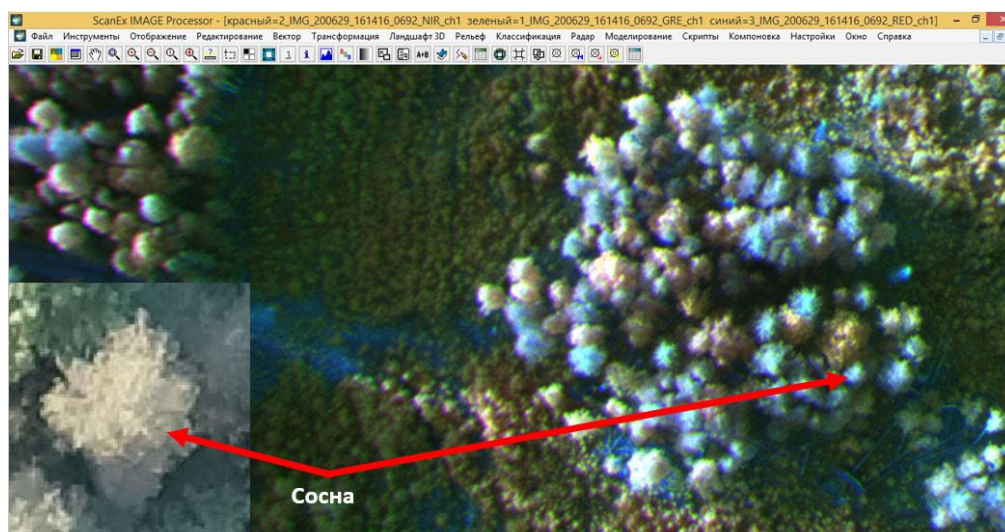


Рисунок 6. Спектральные и геометрические характеристики сосны обыкновенной в семенной куртине

Figure 6. Spectral and geometric characteristics of Scots pine in seed blocks

На мультиспектральных изображениях жёлто-зелёный, жёлто-оранжевый, красноватый оттенок проекций крон соответствует лиственным деревьям. На рисунке 7 представлено изображение берёзы пушистой. Выделяется округлая форма проекции кроны с неровным краем, среднезернистая или комковатая текстура за счёт распределения затенённых и освещённых участков в кроне дерева. Благодаря высокому пространственному разрешению снимков с БПЛА, на наклонных проекциях деревьев в видимом диапазоне берёза заметна по белому цвету ствола.

В квартале 96 Вешкельского лесничества исследуемые объекты, включая лесные культуры, семенные куртины, участки естественного возобновления и лесные насаждения, занимают площадь 13,2 га. На ортофотоплане (см. рисунок 1) были отмечены участки семенных куртин площадью 2327 м², 2749 м², 2038 м². Поскольку в куртинах преобладали преимущественно хвойные породы, есть основания считать, что это специально оставленные

семенные куртины, а не участки недорубов; об этом свидетельствует породный состав куртин. Площадь участка естественного возобновления в границах вырубki, на котором отсутствуют ряды лесных культур, составила 2,6 га. Здесь большая часть площади занята лиственными породами. Часть вырубki, на которой выделяются ряды искусственно созданных насаждений, занимает площадь 9,86 га.

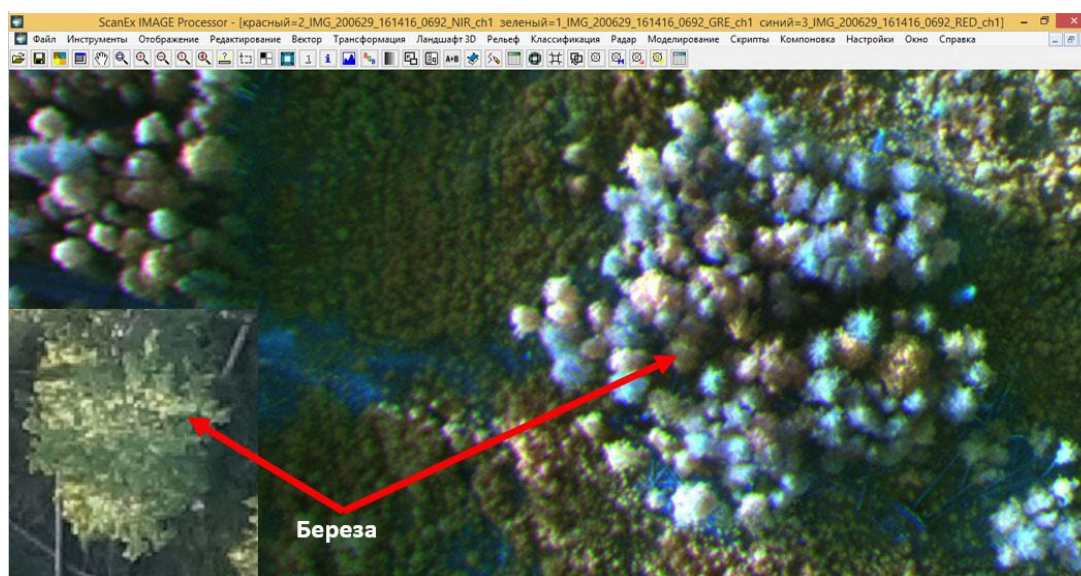


Рисунок 7. Спектральные и геометрические характеристики берёзы пушистой в семенной куртине

Figure 7. Spectral and geometric characteristics of the fluffy birch in the seed blocks

На основе карты высот и ортофотоплана, которые были получены в результате обработки изображений, проводился анализ высотных особенностей рельефа и насаждений на вырубке. Для оценки высоты деревьев в семенных культурах на ортофотоплане были выделены точки в центрах проекций крон (на вершинах деревьев) и точки на поверхности земли рядом с проекциями крон.

Расчитанные высотные отметки земной поверхности и вершин растений позволили определить высоты деревьев. На рисунке 8 представлена расстановка точек в центрах проекций крон деревьев в семенной куртине квартала 82 Вешкельского лесничества. Также отмечено измерение высотных отметок вершины дерева и поверхности земли. Разница отметок даёт информацию о высоте дерева, которая составила 17,3 м.

Всего в этой семенной куртине было выявлено 110 вершин деревьев, из них 53 дерева определены как сосна, 45 — берёза, 12 — ель. По результатам измерений средняя высотная отметка вершин сосны составила 164,09 м, берёзы — 162,81 м, ели — 162,30 м. Средняя высотная отметка поверхности земли составила 148,24 м. Учитывая разницу отметок вершин и поверхности земли, определены следующие средние высоты деревьев в семенной куртине: сосна — 15,85 м, берёза — 14,57 м, ель — 14,06 м.

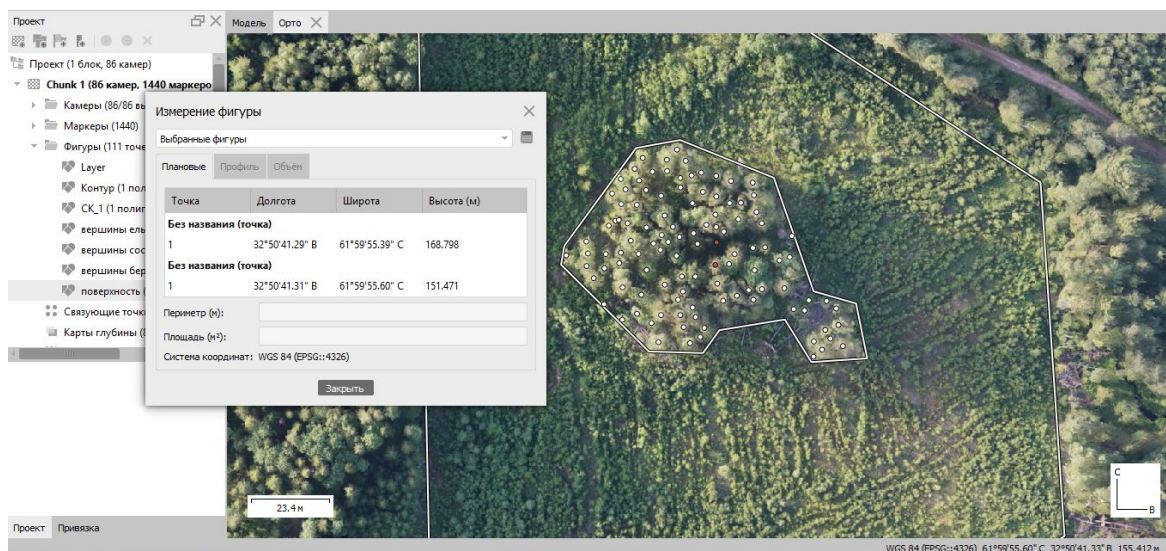


Рисунок 8. Параметры высотных отметок вершины дерева (ели европейской) и поверхности земли в семенной куртине квартала 82 Вешкельского лесничества

Figure 8. Parameters of the height marks of the top of a tree (european spruce) and the ground surface in a seed blocks of 82nd quarter Veshkelsky forestry

На рисунке 9 представлена расстановка точек в центрах проекций крон деревьев в семенной куртине СК-1 квартала 96, в окне измерений показаны координаты точек и их высотные отметки. Разница между высотной отметкой вершины и поверхности земли соответствует высоте дерева. В пространстве СК-1 по ортофотоплану проведено по 77 измерений в центрах проекций крон и на поверхности земли, для СК-2 количество измерений составило по 73, для СК-3 — по 55. По результатам измерения вершин деревьев и значений отметок поверхности земли в семенных куртинах были определены их средние отметки. Результаты вычисления средних высотных отметок и средней высоты деревьев в семенных куртинах представлены в таблице.

Таблица. Средняя высота деревьев в семенных куртинах на объекте 2 Вешкельского участкового лесничества

Table. Average height of trees in seed blocks in object 2 of the Veshkelsky district forestry

Номер семенной куртины	Средняя высотная отметка вершин, м	Средняя высотная отметка поверхности земли, м	Средняя высота деревьев, м
СК-1	156,49	137,97	18,52
СК-2	155,92	138,0	17,92
СК-3	148,52	133,47	15,04

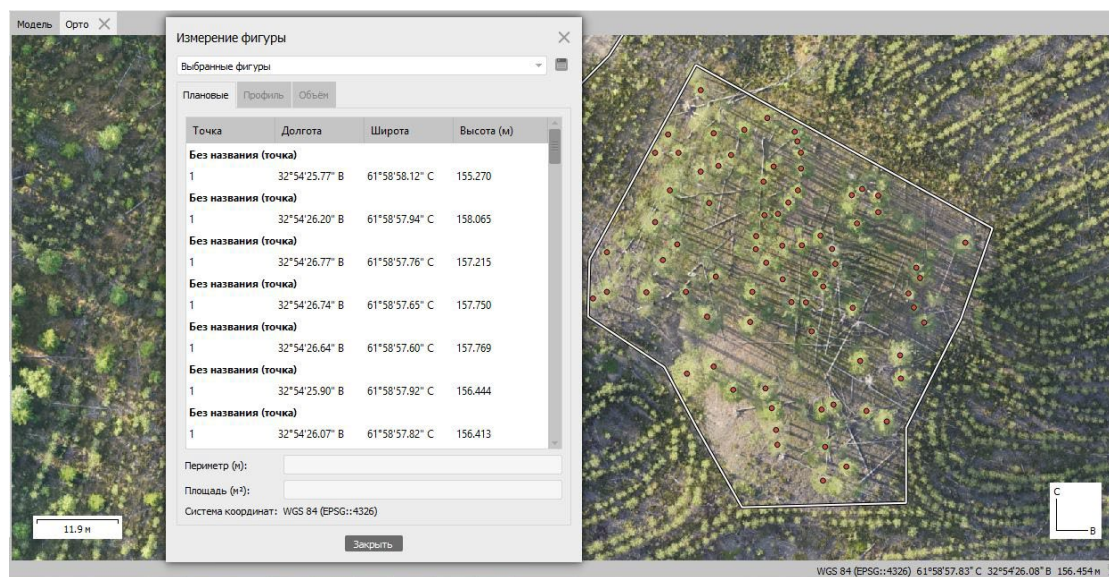


Рисунок 9. Высотные отметки точек в центрах проекций крон деревьев семенной куртины на объекте 1

Figure 9. Elevation marks of points in the centers of projections of tree crowns on the object 1

4. Обсуждение и заключение

Таким образом, использование БПЛА и мультиспектральных снимков позволяет оценивать качество лесовозобновления. При этом хорошо «читаются» не только ряды лесных культур, но и примеси хвойных и лиственных пород естественного происхождения не только в рядах, но и в междурядьях. Кроме этого, с использованием снимков, полученных с помощью БПЛА, можно определять состав молодняков и древостоев в оставленных куртинах, численность по породам, а также биометрические характеристики отдельных растений.

Применение БПЛА позволяет оценивать качество лесохозяйственных работ на труднодоступных лесных участках большой площади. Полученные таким образом материалы можно использовать при разработке Проектов освоения лесных участков, при обновлении Лесохозяйственных регламентов и Лесных планов субъектов РФ.

Список литературы

1. Особенности роста подроста сосны под пологом древостоев на сухих бедных почвах / А. В. Грязькин, Н. В. Беляева, И. А. Кази [и др.] // Research Science (Banská Bystrica, Словакия). 2019. № 8. С. 3—6. URL: <http://researchscience.info/payment>. Текст: электронный.

2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2021 г. № 312-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года».
3. *Беляева Н. В.* Меры содействия естественному возобновлению — история, современность и перспективы // *Международно-исследовательский журнал*. 2012. № 7. URL: <https://research-journal/org/archive/7-7-2012-december/200225/>. Текст: электронный.
4. *Мочалов Б. А.* О нормативных положениях по лесовосстановлению на севере Европейской России и в Финляндии // *Лесное хозяйство*. 2008. № 2. С. 17—20.
5. *Иванов А. И.* Содействие естественному возобновлению на вырубках // *Труды СПбНИИЛХа*. Вып. 2 (12). СПб.: СПбНИИЛХ, 2004. С. 45—56.
6. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 декабря 2021 г. № 1024 «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления».
7. *Лейнонен Т., Турттайнен М., Сиеккинен А.* Лесовосстановление на Северо-Западе России и сравнение с Финляндией: комментарии финских специалистов. Научно-исследовательский институт леса Финляндии, 2009. 38 с.
8. *Соколов А. И.* Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 215 с.
9. Динамика роста и оценка состояния культур сосны обыкновенной на вейниково-луговиковых вырубках методами дистанционного зондирования / *О. И. Гаврилова, И. В. Морозова, Ю. В. Ольхин [и др.]* // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2020. № 1 (373). С. 63—74. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/ab1/63_74.pdf. Текст: электронный.
10. *Аковецкий В. Г., Афанасьев А. В.* Методы и технологии интерпретации аэрокосмических мониторинговых наблюдений лесной растительности // *Вестник МГУЛ — Лесной вестник*. 2020. № 2. С. 29—36.
11. *Дайнеко Д. В.* Применение беспилотных летательных систем в лесной отрасли // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях»*. Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 59—62.
12. *Кабонен А. В., Ольхин Ю. В.* Цифровое моделирование природно-ландшафтных комплексов по данным, полученным с помощью беспилотных летательных аппаратов // *Лесохозяйственная информация*. 2020. № 3. С. 101—110.
13. Перевод лесных культур в покрытую лесом площадь с использованием беспилотных летательных аппаратов / *Ю. В. Ольхин, О. И. Гаврилова, А. В. Грязькин [и др.]* // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2022. № 239. С. 89—103. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.89-103.
14. Оценка естественного возобновления леса на гари с использованием данных, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата / *А. В. Кабонен, О. И. Гаврилова, А. В. Грязькин [и др.]* // *Сибирский лесной журнал*. Красноярск, 2022. № 2. С. 11—20. DOI: 10.15372/SJFS20220202.
15. Опыт применения квадрокоптера для создания трёхмерной модели лесных насаждений / *А. Е. Осипенко, Я. Коукал, И. А. Панин [и др.]* // *Леса России и хозяйство в них*. 2017. № 4 (63). С. 16—22.
16. *Скуднева О. В.* Беспилотные летательные аппараты в системе лесного хозяйства России // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2014. № 6 (342). С. 150—154.
17. *Петушкова В. Б., Потапова С. О.* Мониторинг и охрана лесов с применением

беспилотных летательных аппаратов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. № 9. С. 717—722.

18. Филатов А. А., Грязькин А. В., Гаврилова О. И. Оценка структуры и состояния молодняков с использованием беспилотных летательных аппаратов и наземным методом // Лесной вестник / Forestry Bulletin. М., 2022. Т. 26, № 4. С. 21—28. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-21-28.
19. Энов М. И., Злыгостев И. Н. Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке // Международная научная конференция «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: Сб. материалов: В 2 т. Новосибирск: ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ, 2012. Т. 2. С. 27—32.
20. Belcher J. Forest Practices Illustrated. Washington Department of Natural Resources, 2007. 52 p.
21. Dandois J. P., Ellis E. C. Remote Sensing of Vegetation Structure Using Computer Vision // Remote Sens. 2010. 2. 1157—1176. URL: <https://doi.org/10.3390/rs2041157>. Text. Image: electronic.
22. Neuville R., Bates J. S., Jonard F. Estimating Forest Structure from UAV-Mounted LiDAR Point Cloud Using Machine Learning. // Remote Sens. 2021. 13. 352. URL: <https://doi.org/10.3390/rs13030352>. Text. Image: electronic.

References

1. Gryazkin A. V., Belyaeva N. V., Kazi I. A., Efimov A. V., Syrnikov I. A. Features of the growth of pine undergrowth under the canopy of stands on dry poor soils. *Research Science* (Banská Bystrica, Slovakia), 2019, no. 8, pp. 3—6. Available at: <http://researchscience.info/payment>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
2. Decree of the Government of the Russian Federation No. 312-r dated February 11, 2021 «On approval of the Strategy for the Development of the Forest complex of the Russian Federation until 2030». (In Russ.)
3. Belyaeva N. V. Measures to promote natural renewal — history, modernity and prospects. *International Research Journal*, 2012, no. 7. Available at: <https://research-journal.org/archive/7-7-2012-december/200225/>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
4. Mochalov B. A. On regulatory provisions on reforestation in the north of European Russia and in Finland. *Forestry*, 2008, no. 2, pp. 17—20. (In Russ.)
5. Ivanov A. I. Promotion of natural renewal in deforestation. *Proceedings of SPbNIILHa*, issue 2 (12). Saint Petersburg, SPbNIILH, 2004, pp. 45—56. (In Russ.)
6. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 1024 dated December 29, 2021 «On approval of the Rules of reforestation, form, composition, procedure for approval of the reforestation project, grounds for refusal to approve it, as well as requirements for the format in electronic form of the reforestation project». (In Russ.)
7. Leinonen T., Turtiainen M., Siekkinen A. *Reforestation in the North-West of Russia and comparison with Finland: comments of Finnish specialists*. Finnish Forest Research Institute, 2009. 38 p. (In Russ.)
8. Sokolov A. I. *Reforestation in the cuttings of the North-West of Russia*. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2006. 215 p. (In Russ.)
9. Gavrilova O. I., Morozova I. V., Olkhin Yu. V., Yurieva A. L., Ioffe A. O. Growth dynamics and assessment of the state of scots pine crops in veynikovo-meadow cuttings by remote sensing methods. News of higher educational institutions. *Forest Magazine*, 2020, no. 1 (373),

- pp. 63—74. Available at: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/ab1/63_74.pdf. Text. Image: electronic. (In Russ.)
10. Akovetskiy V. G., Afanasyev A. V. Methods and technologies of interpretation of aerospace monitoring observations of forest vegetation. *Vestnik MGUL — Lesnoy vestnik*, 2020, no. 2, pp. 29—36. (In Russ.)
 11. Daineko D. V. The use of unmanned aerial systems in the forest industry. *Materials of the All-Russian scientific and practical conference «The use of unmanned aerial vehicles in geographical research»*. Irkutsk, Publishing House of the V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2018, pp. 59—62. (In Russ.)
 12. Kabonen A. V., Olkhin Yu. V. Digital modeling of natural landscape complexes according to data obtained using unmanned aerial vehicles. *Forestry information*, 2020, no. 3, pp. 101—110. (In Russ.)
 13. Olkhin Yu. V., Gavrilova O. I., Gryazkin A. V., Kabonen A. V. Transfer of forest crops to a forested area using unmanned aerial vehicles. *Izvestiya of the Saint Petersburg Forestry Academy*. Saint Petersburg, 2022, no. 239, pp. 89—103. doi: 10.21266/2079-4304.2022.239.89-103 (In Russ.)
 14. Kabonen A. V., Gavrilova O. I., Gryazkin A. V., Pak K. A. Assessment of the natural renewal of forests on burning using data obtained using an unmanned aerial vehicle. *Siberian Forest Journal*. Krasnoyarsk, 2022, no. 2, pp. 11—20. doi: 10.15372/SJFS20220202. (In Russ.)
 15. Osipenko A. E., Koukal Ya., Panin I. A., Ivanchina L. A., Zalesov S. V. Experience of using a quadcopter to create a three-dimensional model of forest plantations. *Forests of Russia and agriculture in them*, 2017, no. 4 (63), pp. 16—22 (In Russ.)
 16. Skudneva O. V. Unmanned aerial vehicles in the forestry system of Russia. *Izvestiya vuzov. Forest Magazine*, 2014, no. 6 (342), pp. 150—154. (In Russ.)
 17. Petushkova V. B., Potapova S. O. Monitoring and protection of forests using unmanned aerial vehicles. *Fire safety: problems and prospects*, 2018, no. 9, pp. 717—722. (In Russ.)
 18. Filatov A. A., Gryazkin A. V., Gavrilova O. I. Assessment of the structure and condition of young animals using unmanned aerial vehicles and the ground method. *Lesnoy vestnik — Lesnoy Bulletin*. Moscow, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 21—28. doi: 10.18698/2542-1468-2022-4-21-28 (In Russ.)
 19. Epov M. I., Zlygostev I. N. The use of unmanned aerial vehicles in aerogeophysical exploration. *International Scientific Conf. «Remote methods of Earth sensing and photogrammetry, environmental monitoring, geoecology»: collection of materials in 2 volumes*. Novosibirsk, INTEREXPO GEO-SIBERIA, 2012, vol. 2, pp. 27—32. (In Russ.)
 20. Belcher J. *Forest Practices Illustrated*. Washington Department of Natural Resources, 2007. 52 p.
 21. Dandois J. P., Ellis E. C. Remote Sensing of Vegetation Structure Using Computer Vision. *Remote Sens.*, 2010, 2, 1157—1176. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs2041157>. Text. Image: electronic.
 22. Neuville R., Bates J. S., Jonard F. Estimating Forest Structure from UAV-Mounted LiDAR Point Cloud Using Machine Learning. *Remote Sens.*, 2021, 13, 352. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs13030352>. Text. Image: electronic.