

Оригинальная статья

УДК 502/504: 630\*587.2+630\*587.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-129-138

## ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ДРЕВЕСНЫХ РЕСУРСОВ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**ХЛЮСТОВ ВИТАЛИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ**<sup>1✉</sup>, д-р с.-х. наук, профессор,  
заслуженный лесовод России  
vitakhlustov@mail.ru<sup>✉</sup>

**ЮРЧУК СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, генеральный директор ООО «Лесресурс – Аналитика»  
sergey@urtchuk.ru

**ХЛЮСТОВ ДМИТРИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ**<sup>3</sup>, канд. с.-х. наук,  
главный специалист отдела технологического контроля  
dimi\_work@mail.ru

**ГАНИХИН АЛЕКСАНДР МАКСИМОВИЧ**<sup>3</sup>, инженер-таксатор  
ganikhin.timacad@mail.ru

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

<sup>2</sup> Общество с ограниченной ответственностью «Лесресурс – Аналитика»; 117461, г. Москва, пр-кт Севастопольский, 83, корп. 2, кв. 62, Россия

<sup>3</sup> Филиал ФГПУ «Рослесинфорг» «Центрлеспроект»; 141280, Московская область, г. Ивантеевка, Заводская улица, 10, Россия

*Актуальность и значимость проблемы автоматизированной инвентаризации лесов продиктована нормативно-правовыми документами, определяющими основные направления и принципы цифровизации отраслей экономики страны, в том числе и лесного сектора. Статья посвящена проблеме автоматизированной инвентаризации лесов и цифровизации древесных ресурсов техническими средствами наземной таксации древостоев, а также методами аэрофотосъемки, аналитического дешифрирования лесного полога и определения комплекса таксационных показателей путем применения информационно-справочных систем многомерных лесотаксационных нормативов. Для построения ортофотоплана и получения цифровой модели растительности описано выполнение аэрофотосъемочных работ, отвечающих требованиям фотограмметрического метода и метода воздушно-лазерного сканирования (ВЛС). Изложены требования к параметрам аэрофотосъемки при фотограмметрическом методе, а также к параметрам ВЛС. Предложены варианты технологии инвентаризации древостоев с указанием соответствующего инструментария получения данных дистанционного зондирования Земли. Приведена оценка достоверности контурного дешифрирования породного состава древостоев при различном пространственном разрешении данных ДЗЗ. Указаны точность цифровых моделей растительности при различном пространственном разрешении данных, возможность оценки морфометрических и объемных показателей крон деревьев, а также сомкнутости полога. Важными элементами автоматизированной инвентаризации лесов являются отвод и таксация лесосек, оценка товарно-денежного потенциала древостоев, отводимых в рубку.*

**Ключевые слова:** аэрофотосъемка, беспилотное воздушное судно, фотограмметрия, воздушно-лазерное сканирование, IT-платформа, оценка древесных ресурсов

**Формат цитирования:** Хлюстов В.К., Юрчук С.А., Хлюстов Д.В., Ганихин А.М. Технология комплексной оценки древесных ресурсов методами дистанционного зондирования земли // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 129-138. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-129-138.

© Хлюстов В.К., Юрчук С.А., Хлюстов Д.В., Ганихин А.М., 2021

Scientific article

# TECHNOLOGY OF INTEGRATED ASSESSMENT OF WOOD RESOURCES BY REMOTE SENSING METHODS OF THE EARTH

**KHLYUSTOV VITALY KONSTANTINOVICH**<sup>1</sup>✉, *doctor of agricultural sciences, professor, honored forester of Russia*

vitakhlustov@mail.ru✉

**YURCHUK SERGEJ ALEXANDROVICH**<sup>2</sup>, *General director OOO «Lesresurs – Analitica»*

sergey@urtchuk.ru

**KHLYUSTOV DMITRY VITALJEVICH**<sup>3</sup>, *candidate of agricultural sciences, chief specialist of the department of technological control*

dimi\_work@mail.ru

**GANIKHIN ALEXANDER MAKSIMOVICH**<sup>3</sup>, *engineer-taxator*

ganikhin.timacad@mail.ru

<sup>1</sup> Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

<sup>2</sup> Limited liability company «Lesresurs – Analitica»; 117461, Moscow, prospect Sevastopolsky, d. 83 corp. 2, kv. 62. Russia

<sup>3</sup> Branch FSPU «Roslesinform» «Centresproject»; 141280, Moscow region, town Ivanteevka, Zavodskaya ul., 10. Russia

*The relevance and significance of the problem of automated forest inventory is dictated by regulatory documents defining the main directions and principles of digitalization of the country's economic sectors, including the forest sector. The article is devoted to the problem of automated inventory of forests and digitalization of wood resources by technical means of ground-based taxation of stands, as well as remote aerial photography methods, analytical decoding of the forest canopy and determination of the complex of taxation indicators through the use of information and reference systems of multidimensional forest taxation standards. To construct an orthophotoplane and obtain a digital vegetation model, aerial photography works that meet the requirements of the photogrammetric method and the method of air-laser scanning (ALS) are described. The requirements for the parameters of aerial photography using the photogrammetric method, as well as for the parameters in the BOS, are set out. Variants of the technology of inventory of stands are proposed, indicating the appropriate tools for obtaining remote sensing data of the Earth. An assessment of the reliability of contour decoding of the species composition of stands with different spatial resolution of remote sensing data is given. The accuracy of digital vegetation models with different spatial resolution of data, the possibility of evaluating morphometric and volumetric indicators of tree crowns, as well as the resulting indicators of canopy closeness as a result of automation are indicated. An important element of the automated digitalization of wood resources is the allocation and taxation of cutting areas, the assessment of the commodity-monetary potential of stands allocated for logging.*

**Keywords:** *aerial photography, unmanned aircraft, photogrammetry, airborne laser scanning, IT platform, assessment of wood resources*

**Format of citation:** *Khlyustov V.K., Yurchuk S.A., Khlyustov D.V., Ganikhin A.M. Technology of integrated assessment of wood resources by remote sensing methods of the earth // Prirodobustroistvo. – 2021. – No. 4. – S. 129-138. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-129-138.*

**Введение.** Приоритетными направлениями в инвентаризации лесов являются автоматизация дистанционного зондирования Земли, аналитического дешифрирования аэрофотоснимков с определением морфологических признаков лесного полога и комплексная цифровизация древесных ресурсов. На современном этапе развития IT-технологий появилась возможность значительно расширить спектр показателей, характеризующих структуру показателей древесных ресурсов. А именно распределение по толщине деревьев объёма

стволовой древесины, категорий крупности древесины, биомассы фракций фитомассы, биоэнергетического потенциала фракций и пр.

Автоматизированная оценка древесных ресурсов требует использования материалов аэрофотосъёмки. Технология таксации лесов дешифровочным способом существенно повышает производительность труда инженера-таксатора [1-3] и включена в действующую лесоустроительную инструкцию [4].

Совершенствованием дистанционных методов инвентаризации лесов активно занимаются

за рубежом [5-7]. Группа российских [8, 9] и норвежских исследователей [10] провели сравнительную оценку натурной таксации с данными, полученными методами аэрофотограмметрии и воздушно-лазерного сканирования (LiDAR).

Анализ данных, полученных с космических снимков, указывают на большую погрешность таксации высоты лесного полога [11]. Всё активнее используются для таксации лесов беспилотные летательные аппараты [12]

Российские [13, 15] и зарубежные специалисты Испании, Норвегии, Австрии, Германии и Англии [14] подчеркивают актуальность исследования оценки пространственной структуры насаждений, а также применение автоматизированных методов таксации лесов.

Актуальность решения проблемы автоматизированной инвентаризации лесов очевидна и продиктована нормативно-правовыми актами Российской Федерации:

1. Указом Президента Российской Федерации «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы».

2. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июня 2017 г. № 1632-р об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

3. Перечнем поручений Президента Российской Федерации по итогам состоявшегося 29 сентября 2020 г. совещания по вопросам развития и декриминализации лесного комплекса.

4. Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2021 г. № 312-р.

Указанные документы обязывают органы управления лесным комплексом провести технологическую модернизацию и внедрение в производство научных и технических решений, обеспечивающих автоматизацию комплексной оценки, учета и использования древесных ресурсов.

**Цель исследования** заключалась в широкомасштабном использовании технологической платформы дистанционного зондирования Земли, аналитического дешифрирования структуры лесного полога и автоматизированного определения таксационных показателей насаждений с использованием IT-портала информационно-справочных систем лесотаксационных нормативов (ИССЛТН) для комплексной оценки древесных ресурсов.

**Методика исследований.** Аналитический обзор технических решений, составляющих основу технологической платформы с описанием математических моделей и экологических нормативов роста, строения и продуктивности древостоев, подробно изложен в работах [16-21].

Общая схема проведения автоматизированной инвентаризации лесов конкретного субъекта РФ с комплексной оценкой древесных ресурсов по лесотаксационным выделам показана на рисунке 1.

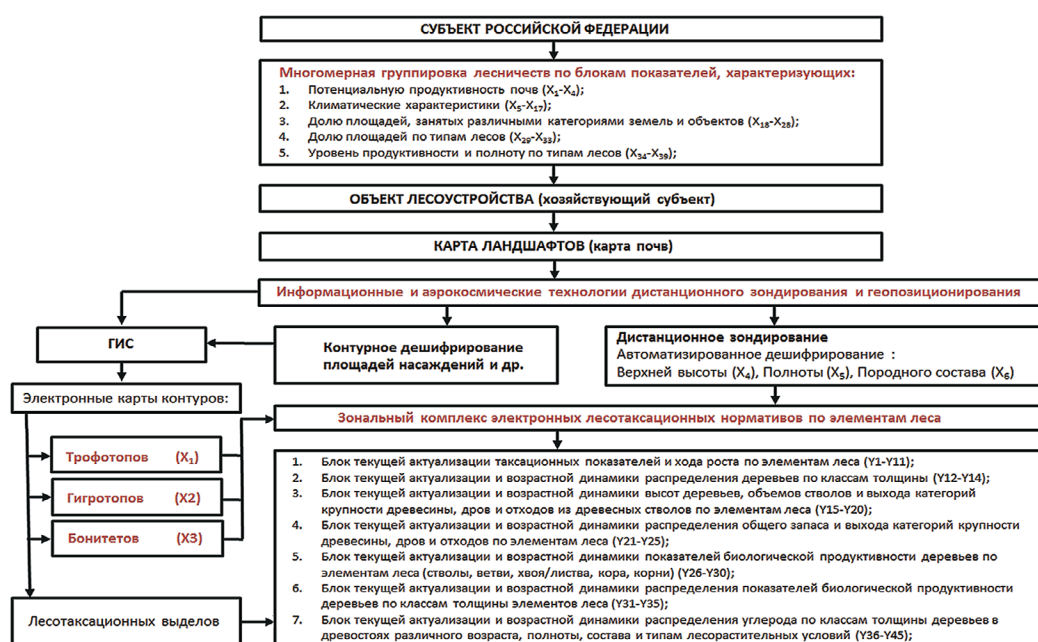


Рис. 1. Общая схема проведения дистанционной инвентаризации насаждений и комплексной оценки древесных ресурсов субъекта РФ [16]

Fig. 1. General scheme of remote inventory of plantations and integrated assessment of wood resources of the region of the Russian Federation [16]

Основной технологический элемент автоматизированной инвентаризации насаждений базируется на методических требованиях получения исходных данных дистанционного зондирования Земли, включающего в себя следующие материалы:

- ортофотоплан с разрешением 8 см на пиксель, цветность RGB + NIR, диапазон с разрешением 1 м на пиксель в прямоугольной системе координат (например, WGS84 UTM);
- высотную модель растительности в прямоугольной системе координат с точностью не более  $\pm 1$  м (шаг сетки для молодняков – 0,3 м, для приспевающих и спелых древостоев – 0,5 м);
- облако точек в формате LAZ(LAS) в прямоугольной системе координат (плотность точек – не менее 30 точек на 1 кв. м); векторный слой кварталов в той же прямоугольной системе координат.

Для построения ортофотоплана и получения цифровой модели растительности следует соблюдать параметры выполнения аэрофотосъемочных работ, отвечающих требованиям фотограмметрического метода и метода воздушно-лазерного сканирования (ВЛС), указанным ниже.

1. Требования к параметрам аэрофотосъемки при фотограмметрическом методе:

- надирные аэрофотоснимки видимого диапазона (RGB) с пространственным разрешением в центре кадра не более 6 см на пиксель;
- надирные мультиспектральные снимки видимого диапазона и ближнего ИК диапазона (RGB + NIR) с пространственным разрешением в центре кадра не более 1 м на пиксель;
- центры фотографирования с точностью определения координат центра снимка не более 0,1 м;
- параметры перекрытий (продольное – 85%, поперечное – 60%);
- требования к параметру ISO (от 100 до 800 ед.);
- выполнение съемки при сплошной облачности или в безоблачные дни.

2. Требования к параметрам ВЛС и фотограмметрического метода:

- надирные аэрофотоснимки видимого диапазона (RGB) с пространственным разрешением в центре кадра не более 12 см на пиксель;
- надирные мультиспектральные снимки видимого диапазона и ближнего ИК диапазона (RGB + NIR) с пространственным разрешением в центре кадра не более 1 м на пиксель;
- центры фотографирования с точностью определения координат центра снимка не более 0,1 м;
- параметры перекрытий (продольное – 75%, поперечное – 50%);

- требования к параметру ISO (от 100 до 800 ед.);
- выполнение съемки при сплошной облачности или в безоблачные дни.

Параметры ВЛС:

- плотность точек лазерного сканирования – не менее 1 точки на 1 кв. м;
- фиксация не менее двух отражений;
- точность плановых координат точек лазерных отражений – 20 см;
- точность высотных координат точек лазерных отражений – 20 см.

Для получения цифровой модели растительности с распознаванием древостоев при использовании ВЛС следует соблюдать следующие параметры выполнения аэрофотосъемочных работ:

- надирные мультиспектральные снимки видимого диапазона и ближнего ИК диапазона (RGB + NIR) с пространственным разрешением в центре кадра – не более 1 м на пиксель;
- центры фотографирования с точностью определения координат центра снимка не более 0,1 м;
- параметры перекрытий (продольное – 70%, поперечное – 50%);
- требования к параметру ISO (от 100 до 800 ед.);
- выполнение съемки при сплошной облачности или в безоблачные дни.

Параметры ВЛС:

- плотность точек лазерного сканирования – не менее 30 точек на 1 кв. м;
- фиксация не менее трех отражений;
- точность плановых координат точек лазерных отражений – 20 см;
- точность высотных координат точек лазерных отражений – 20 см.

В зависимости от выбранной технологии следует использовать различный инструментарий получения данных дистанционного зондирования Земли, а именно:

**при площадях от 50 до 200 га** – такие технические средства, как БВС коптерного типа DJI Phantom 4 RTK (PPK), Geoscan Gemini, Geoscan 401 и Supercam X6M2 с аэрофотокамерами на базе SonyRX1 и бортовым геодезическим приемником или другие средства со схожими характеристиками;

**при площадях от 200 до 5000 га** – БВС самолетного типа Geoscan 101, Supercam 150, Диам 3 с аэрофотокамерами на базе SonyRX1 и бортовым геодезическим приемником;

**при площадях от 5000 до 25000 га** – БВС самолетного типа Geoscan 201, Supercam 350, Диам 20, Орлан 10, оснащенные аэрофотокамерами на базе SonyRX1 RM2,

ультраспектральными камерами RedEdge-MX и бортовым геодезическим приемником;

**при площадях более 25000 га** – БВС самолетного типа Supercam 450, Диам 20, Орлан 10 и пилотируемые воздушные суда.

На следующем этапе ведется обработка аэрофотоснимков в фотограмметрическом программном обеспечении, которое позволяет автоматизировать процесс построения трехмерных моделей растительности. Модели обеспечивают

достоверное распознавание древесных пород и позволяют определять необходимые таксационные показатели для автоматизированного получения значений комплекса расчетных показателей. Контурное дешифрирование площади выдела насаждений, их породный состав хорошо поддаются автоматизации по мультиспектральным снимкам. Разрешение исходных данных дистанционного зондирования Земли определяет качество и объем цифровой информации.

Таблица 1

**Достоверность контурного дешифрирования породного состава древостоев при различном пространственном разрешении данных ДЗЗ**

Table 1

**Reliability of contour decoding of the species composition of stands at different spatial resolution of remote sensing data**

<b>Пространственное разрешение данных ДЗЗ(метр/пиксель)</b> <i>Spatial resolution of remote sensing data (meter/pixel)</i>	<b>Показатели, получаемые при автоматизированной обработке снимков</b> <i>Indicators obtained during automated image processing</i>
2,5-10	<b>Контурное дешифрирование</b> <i>Contour decoding</i>
0,7-2	<b>Контурное дешифрирование и дешифровочный состав</b> <i>Contour decoding and decryption composition</i>
0,3-0,6	<b>Контурное дешифрирование, дешифровочный состав, сомкнутость полога, оценка размеров крон</b> <i>Contour decoding, decryption composition, canopy closure, assessment of the crown sizes</i>
0,05-0,15	<b>Контурное дешифрирование не только по составу, но и по высоте древостоев. Дешифровочный состав исходя из породы и таксационных характеристик каждого дерева, размеры и объемная форма кроны</b> <i>Contour decoding not only in composition, but also in height of stands. Decryption composition based on the species and taxation characteristics each tree, the sizes and volumetric shape of the crown</i>
<b>ВЛС с полностью точек от 30 т. м<sup>2</sup></b> <i>ALS with fully points from 30 t. m<sup>2</sup></i>	<b>Контурное дешифрирование не только по составу, но и по высоте древостоев. Дешифровочный состав по всем ярусам, включая подрост, исходя из породы и таксационных характеристик каждого дерева, размеры и объемная форма кроны</b> <i>Contour decoding not only in composition, but also in height of stands. Decryption composition based on the species and taxation characteristics of each tree, the size and volumetric shape of the crown</i>

Данные ДЗЗ с разрешением 0,05-0,1 м используются для распознавания древесных пород. Применение технологии нейронных сетей при таком разрешении обеспечивает достоверное определение породного состава древостоев в 96% случаев.

Определение высоты древостоев и отдельных деревьев реализовано в фотограмметрическом методе измерений как разница между отметкой высоты верхней части кроны и высотной отметкой рельефа местности у основания деревьев. Также возможно определение высоты деревьев по данным лазерного сканирования, но указанный метод не находит широкого применения ввиду высокой стоимости лидарной съемки.

В настоящее время автоматизированная обработка данных ДЗЗ с разрешением

0,05-0,07 м/пиксель позволяет получить отметки поверхности земли в густых древостоях с шагом не более 80 м, построить горизонтальную поверхность и сформировать высотную модель растительности для последующего распознавания деревьев и измерения таксационных показателей (рис. 2).

В таблице 2 показано пространственное разрешение данных ДЗЗ с оценкой результатов автоматизированного дешифрирования снимков.

Важным элементом ДЗЗ является выделение крон деревьев. Достоверность сегментации крон зависит как от разрешения данных, так и от наличия спектральных каналов для разделения пород. В зависимости от качества построения высотной модели растительности представляется возможным оценивать

не только морфометрические размеры крон деревьев, но и их объемные характеристики – например, инсоляционную поверхность.



Рис. 2. Схема формирования высотной модели растительности

Fig. 2. Scheme of formation of high-altitude vegetation model

Более достоверно сомкнутость полога оценивается не по плоскостному ортофотоплану,

а по облаку точек лазерного сканирования либо по высотным моделям растительности.

Завершающий этап автоматизированной инвентаризации насаждений и комплексной оценки древесных ресурсов осуществляется в программном обеспечении «Информационно-справочные системы лесотаксационных нормативов» (ИССЛТН). Подтверждением инновационной составляющей нормативно-справочной системы являются авторские свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ: № 2011615418 от 12.07.2011 г. «Справочная система лесоводственно-таксационных нормативов для инвентаризации древостоев по элементам леса», № 2012613879 от 25.04.2012 г. «Автоматизированная система лесоводственно-таксационных нормативов для инвентаризации древостоев по элементам леса». Наряду с этим была разработана и рекомендована к внедрению IT-платформа portalного типа. Платформа предназначена для практического использования специалистами любого уровня (из органов управления лесами, лесопользователями, арендаторами, работниками научных и образовательных учреждений лесного профиля, экологами и др.).

Таблица 2

Точность цифровых моделей растительности при различном пространственном разрешении данных

Table 2

Accuracy of digital vegetation models with different spatial data resolution

Пространственное разрешение данных ДЗЗ (метр/пиксель) <i>Spatial resolution of remote sensing data (meter/pixel)</i>	Данные, получаемые в результате автоматизации <i>Automation data</i>
2,5-10	Точность цифровой модели недостаточна для получения высот деревьев. Среднее квадратическое отклонение (СКО) данных, полученных по снимкам от фактических данных, составляет $\pm 10-40$ м <i>Accuracy of digital model is not sufficient to obtain the height of trees. Standard data deviation (SDD) obtained by images from the factual data is <math>\pm 10-40</math> m</i>
0,7-2	Точность цифровой модели недостаточна для получения высот деревьев СКО = 3,5-8 м <i>Accuracy of digital model is not sufficient to obtain the height of trees SDD = 3.5-8 m</i>
0,3-0,6	Получение средней максимальной высоты дерева в выделе. СКО = $\pm 1-2,5$ м <i>Obtaining the average maximum height of the tree in the allotment. SDD = <math>\pm 1-2,5</math> m</i>
0,05-0,15	Получение высот каждого дерева, находящегося в первом ярусе, и видимых деревьев второго яруса. СКО = $\pm 0,1-0,3$ м <i>Obtaining the heights of each tree in the first tier and the visible trees of the second tier. SDD = <math>\pm 0,1-0,3</math> m</i>
ВЛС с полностью точек от 30 т. м <sup>2</sup> <i>ALS with fully points from 30 t. m<sup>2</sup></i>	Получение высоты каждого дерева во всех ярусах. СКО = $\pm 0,1$ м <i>Obtaining the height of each tree in all tiers. SDD = <math>\pm 0,1</math> m</i>

Весь объем цифровой информации о комплексе показателей, характеризующих

древесные ресурсы, графическая визуализация распределения конкретного таксационного

показателя по толщине деревьев по каждому отдельно взятому древостоя могут быть предоставлены Заказчику в онлайн-режиме при условиях:

1. Предоставления Исполнителю материалов аэрофотосъемки, отвечающих всем техническим требованиям.

2. Предоставления Исполнителю сведений о конкретном древостое:

- данные о верхней ( $H_{\text{верх}}$ ) или средней ( $H_{\text{ср}}$ ) высоте древостоя по ярусам, м;

- данные о сомкнутости полога или относительной полноте древостоя (ед.);

- данные о формуле состава древостоя по ярусам;

- данные о густоте стояния деревьев (шт/га) или среднем расстоянии между деревьями, м, по ярусам;

- данные о возрасте каждого элемента леса, лет;

- максимальный диаметр крон деревьев по элементам леса, м.

Таблица 3

### Возможность оценки морфометрических и объёмных показателей крон деревьев при различном пространственном разрешении данных ДЗЗ

Table 3

#### Possibility of assessment of volumetric indicators of trees crowns at different spatial resolution of remote sensing data

Пространственное разрешение данных (метр/пиксель) <i>Spatial resolution of remote sensing data (meter/pixel)</i>	Данные, получаемые в результате автоматизации <i>Automation data</i>
2,5-10	<b>Оценка размеров крон отдельных деревьев невозможна</b> <i>Assessment of the crown sizes of individual trees is impossible</i>
0,7-2	<b>Возможна оценка размеров крон отдельных крупных деревьев</b> <i>Assessment of the crown sizes of individual large trees is possible</i>
0,3-0,6	<b>Определение размеров крон всех деревьев первого яруса</b> <i>Determining the size of the crowns of all trees of the first tier</i>
0,05-0,15	<b>Определение морфометрических и объёмных показателей крон всех деревьев первого яруса и видимых деревьев второго яруса</b> <i>Determination of morphometric and volumetric indicators of the crowns of all trees of the first tier and visible trees of the second tier</i>
<b>ВЛС с полностью точкой от 30 т. м<sup>2</sup></b> <i>ALS with fully points from 30 t. m<sup>2</sup></i>	<b>Определение морфометрических и объёмных размеров кроны каждого дерева в каждом ярусе</b> <i>Determination of morphometric and volumetric indicators of the crown of each tree in every tier</i>

Таблица 4

### Пространственное разрешение данных ДЗЗ и получаемые показатели сомкнутости полога в результате автоматизации

Table 4

#### Spatial resolution of remote sensing data and obtained indicators of canopy closedness as a result of automation

Пространственное разрешение данных (метр/пиксель) <i>Spatial resolution of remote sensing data (meter/pixel)</i>	Получаемые данные в результате автоматизации <i>Automation data</i>
2,5-10	<b>Невозможно произвести оценку сомкнутости</b> <i>It is impossible to assess the closedness</i>
0,7-2	<b>Невозможно произвести оценку сомкнутости</b> <i>It is impossible to assess the closedness</i>
0,3-0,6	<b>Оценка сомкнутости полога возможна без учета высотной составляющей</b> <i>Assessment of the closedness of the canopy is possible without taking into account the high-altitude component</i>
0,05-0,15	<b>Оценка сомкнутости полога возможна по первому ярусу и при видимости 2 яруса</b> <i>Assessment of the closedness of the canopy is possible on the first tier and with visibility of the 2<sup>nd</sup> tier</i>
<b>ВЛС с полностью точкой от 20 т. м<sup>2</sup></b> <i>ALS with fully points from 20 t. m<sup>2</sup></i>	<b>Оценка сомкнутости полога возможна на всех ярусах</b> <i>Assessment of the closedness of the canopy is possible in all tiers</i>

Портальные решения представляют собой сервис по вычислению необходимых таксационных показателей не на рабочем компьютере Потребителя услуги, а в онлайн-среде на средствах и мощностях Исполнителя.

Преимущества портального решения заключаются в том, что:

1) потребителю нет необходимости иметь программное обеспечение на рабочем компьютере (в лесничестве, у арендатора и пр.);

2) потребителю нет необходимости обновлять программное обеспечение и обращаться за технической поддержкой;

3) требования к рабочему месту (компьютеру) являются минимальными – наличие доступа к сети Интернет для формирования запроса и загрузки данных в сервис для проведения расчетно-графических работ;

4) обработка данных и расчет таксационных показателей осуществляются на ресурсах Исполнителя;

5) достоверность результатов таксации древостоев контролируется Исполнителем и обеспечивается адресным применением зональных нормативов, относящихся к конкретному субъекту РФ.

Следующими элементами автоматизированной цифровизации древесных ресурсов являются отвод и таксация лесосек, оценка товарно-денежного потенциала древостоев, отведенных в рубку.

В рамках действующего законодательства арендатор обязан выполнять фотофиксацию лесосеки до рубки и после нее.

Предлагаемая технология позволяет:

1) провести фотофиксацию участка, планируемого к отведению в рубку;

2) оценить состояние лесного древесного ресурса на лесном участке;

### Библиографический список

1. **Верхунов П.М., Черных В.Л.** Таксация леса: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 395 с.

2. **Архипов В.И.** Современная технология таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту» / В.И. Архипов, В.И. Березин, Д.М. Черниковский и др. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – № 208. – С. 22.

3. **Архипов В.И., Березин В.И., Черниковский Д.М.** Новая технология стереоскопической таксации лесов «От съемки – к проекту» // Геопрофи. – 2014. – № 4. – С. 17.

4. Об утверждении Лесоустроительной инструкции: приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 марта 2018 г.

3) картометрически отвести границы лесосеки с точностью до нескольких сантиметров в плановых координатах;

4) обеспечить разработчика технологической картой лесосечных работ, исчерпывающей информацией о местоположении лесосеки;

5) предоставить детальную таксационную характеристику лесосеки, оценить количественное и качественное состояние древесного ресурса в границах отведенной лесосеки с точностью перечислительного способа таксации древостоев;

6) предоставить заказчику перечетную ведомость деревьев и ведомость материально-денежной оценки лесосеки;

7) предоставить картографические материалы в виде абриса лесосеки.

### Выводы

1. Автоматизированная инвентаризация древостоев успешно реализуется методами фотограмметрии на аэрофотоснимках сверхвысокого разрешения и использования IT-портала региональных информационно-справочных систем лесотаксационных нормативов комплексной оценки древесных ресурсов.

2. База данных о древесных ресурсах, полученная при использовании информационно-справочных систем лесотаксационных нормативов, превышает объем данных, соответствующих требованиям действующей лесоустроительной инструкции на два порядка.

3. Рекомендуемая технология автоматизированной инвентаризации позволяет превысить производительность действующей технологии на 30% с увеличением точности при массовой таксации древостоев до глазомерно-измерительного метода, а при инвентаризации лесосечного фонда обеспечить точность, соответствующую перечислительному методу таксации древостоев (сплошному перечету деревьев).

### References

1. **Verhunov P.M., Chernyh V.L.** Taksatsiya lesa: uchebnoe posobie. – Yoshkar-Ola: MarGTU, 2007. – 395 s.

2. **Arkhipov V.I.** Sovremennaya tehnologiya taksatsii lesov deshifrovannym sposobom «Ot sjemki–k proektu» / Arkhipov V.I., Berezin V.I., Chernihovsky D.M. i dr. // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. – 2014. – № 208. – S. 22.

3. **Arkhipov V.I., Berezin V.I., Chernihovsky D.M.** Novaya tehnologiya stereoskopicheskoy taksatsii lesov «Ot sjemki – k proektu» // Geoprofi. – 2014. – № 4. – S. 17.

4. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii RF ot 29 marta 2018 g. № 122 «Ob utverzhdenii Lesoustroitelnoj instruktsii»



№ 122, пер. 20 апреля 2018 г. № 50859, с изм. от 12 мая 2020 г. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71829772/>

5. **Баленович И., Селеткович А., Пернар Р., Марьянович Х., Вулетич Д., Бенко М.** Сравнение классического наземного и фотограмметрического метода при создании Подразделения управления // *Материалы 45 Международного симпозиума по механизации лесного хозяйства «Лесная инженерия: забота, знания и ответственность в современных условиях» 8-12 октября 2012 г. – Дубровник (Цавтат), Хорватия – 2012. – С. 1-13.*

6. **Баленович И., Селеткович А., Пернар Р.** Сравнение точности фотограмметрических характеристик древостоя на аэрофотоснимках с различным пространственным разрешением // *Список Шумарского. – 2017. – Т. 141. – № 1-2. – С. 15-26.*

7. **Болин Дж., Уоллерман Дж., Олсон Х., Франссон Дж.** Оценка видоспецифичных лесных переменных с использованием непараметрического моделирования данных многоспектрального фотограмметрического облака точек. Том XXXIX-B8, 2012. XXII Конгресс ISPRS (Мельбурн) (Австралия) – 2012. – С. 387-391.

8. **Томпальски П.** Количественная оценка вклада спектральных показателей, полученных с помощью цифровой аэрофотограмметрии, в зональные модели атрибутов лесного кадастра / П. Томпальски Дж.К. Уайт, Н.К. Купс и др. // *Дистанционное зондирование окружающей среды. – 2019. – Т. 234. – С. 111434.*

9. **Толкач И.В., Мицевич Л.А., Кравченко О.В.** Формирование цифровой модели высот древостоев с использованием цифровой фотограмметрической системы Photomod // *Труды БГТУ. Серия 1 «Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов». – 2020. – № 2. – С. 234.*

10. **Ральф Дж.** Цифровая аэрофотограмметрия может эффективно поддерживать инвентаризацию лесов на больших площадях в Норвегии / Дж. Ральф Дж. Брейденбах, С. Сольберг и др. // *Лесное хозяйство: Международный журнал лесных исследований. – 2017. – Т. 90. № 5. – С. 710-718.*

11. **Пирс Г.Д., Дэш Дж. П., Перссон Х. Дж., Уотт М.С.** Сравнение лидарной и спутниковой фотограмметрии высокой плотности для инвентаризации лесов // *Журнал ISPRS по фотограмметрии и дистанционному зондированию. – 2018. – Т. 142. – С. 257-267.*

12. **Фанхаузер К.Е., Стригуль Н.С., Гациолис Д.** Увеличение традиционной инвентаризации лесов и воздушного лазерного сканирования с помощью беспилотных летательных аппаратов и фотограмметрии для мониторинга лесов // *Дистанционное зондирование. – 2018. – Т. 10. № 10. – С. 1562.*

(Zaregistrovano v Ministerstve yustitsii Rossijskoj Federatsii 20.04.2018 N50859) (s izmeneniyami ot 12.05.2020) <https://www.garant.ru/products/ipo//doc/71829772/>

5. **Balenovich I., Seletkovich A., Pernar R., Marjanovich Kh, Vuletich D., Benko M.** Sravnenie klassicheskogo nazemnogo i fotogrammetricheskogo metoda pri sozdani Podrazdeleniya upravleniya / Mat-ly 45-go Mezhdunarodnogo simpoziuma po mehanizatsii lesnogo hozyajstva «Lesnaya inzheneriya: zabota, znaniya i odgovetstvennost v sovremennyh usloviyah» 8-12 oktyabrya 2012 goda. – S. 1-13

6. **Balenovich I., Seletkovich A., Pernar R.** Sravnenie tochnosti fotogrammetricheskikh harakteristik drevostoya na aerofotosnimkah s razlichnym prostranstvennym razresheniem // Spisok Shumarskogo. – 2017. – T. 141. № . 1-2. – S. 15-26.

7. **Bolin J., Wallermann J., Olson H. i Franssn J.** Otsenka vidospetsifichnyh lesnyh peremennyh s ispolzovaniem neparametricheskogo modelirovaniya dannyh mnogospetralnogo fotogrammetricheskogo oblaka tochek. – 2012. – S. 387-391.

8. **Tompalsky P.** Kolichestvennaya otsenka vklada spektralnyh pokazatelej, poluchennyh s pomoshchyu tsifrovoy aerofotogrammetrii, v zonalnye modeli atributov lesnogo kadastra / Tompalsky P., Wait J.K., Kups N.K. i dr. // *Distantcionnoe zondirovanie okruzhayushchej sredy. – 2019. – T. 234. – S. 111434.*

9. **Tolkach I.V., Mitsevich L.A., Kravchenko O.V.** Formirovanie tsifrovoy modeli vysot drevostoev s ispolzovaniem tsifrovoy fotogrammetricheskoy sistemy Photomod // *Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe hozyajstvo, prirodopolzovanie i pererabotka vozobnovlyаемых resursov. – 2020. – № 2. – S. 234*

10. **Ralf J.** Tsifrovaya aerofotogrammetriya mozhet effektivno podderzhivat inventarizatsiyu lesov na bolshih ploshchadyah v Norvegii / Ralf J., Breidenbah J., Solberg S. i dr. // *Lesnoe hozyajstvo: Mezhdunarodny zhurnal lesnyh issledovaniy. – 2017. – T. 90. № 5. – S. 710-718.*

11. **Pirs G.D., Dash J.P., Persson Kh.J. Watt, M.S.** Sravnenie ledarnoj i sputnikovoj fotogrammetrii vysokoy plotnosti dlya inventarizatsii lesov // *Zhurnal ISPRS po fotogrammetrii i distantcionnomu zondirovaniyu. – 2018. – T. 142. – S. 257-267.*

12. **Franauzer K.E., Strigul N.S., Gatsiolis D.** Uvelichenie traditsionnoj inventarizatsii lesov i vozdushnogo lazernogo skanirovaniya s pomoshchyu bespilotnyh letatelnyh apparatov i fotogrammetrii dlya monitoring lesov // *Distatsionnoe zondirovanie. – 2018. – T. 10. № . 10. – S. 1562.*

13. **Chernihovsky D.M.** Razrabotka, testirovanie i vnedrenie v proizvodstvo modulya stereoizmenenij PHOTOMOD dlya zadach stereoskopicheskogo dekodirovaniya lesov XV v. / Chernihovsky D.M.,

13. **Черниковский Д.М.** Разработка, тестирование и внедрение в производство модуля стереоизмерений PHOTOMOD для задач стереоскопического декодирования лесов XV в. / Д.М. Черниковский, В.И. Архипов, В.И. Березин и др. // Мат-лы научно-техн. конф. «От изображения к карте: Цифровые фотограмметрические технологии» (Мексика). – Юкатан, 2015. – С. 35-43.

14. **Иглаут Дж.** Структура по данным фотограмметрии движения в лесном хозяйстве: Обзор / Дж. Иглаут К. Кабо, С. Пулити и др. // Актуальные доклады по лесному хозяйству. – 2019. – Т. 5. № 3. – С. 155-168.

15. **Черниковский Д.М., Любимов А.В., Белов В.А.** Оценка возможностей автоматического дешифрирования страт государственной инвентаризации лесов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2015. – № 213. – С. 110-129.

16. **Хлюстов В.К.** Концепция научно-методического сопровождения инвентаризации лесов в XXI в. // Мат-лы Третьей Междун. научно-практ. конф., Новосибирск, 29 ноября-1 декабря 2012 г. – М.: ФГУП «Рослесинфорг», 2013. – С. 28-33.

17. **Хлюстов Д.В., Хлюстов В.К.** Автоматизация инвентаризации лесных ресурсов с применением технологий дистанционного зондирования Земли // Мат-лы Третьей Междун. научно-практ. конф., Новосибирск, 29 ноября-1 декабря 2012 г. – М.: ФГУП «Рослесинфорг», 2013. – С. 185-188.

18. **Хлюстов В.К., Устинов М.М., Хлюстов Д.В.** Многомерные закономерности текущей актуализации таксационных показателей древостоев. Лесотаксационный справочник: учебное пособие. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – 141 с.

19. **Хлюстов В.К.** Комплексная оценка и управление древесными ресурсами: модели – нормативы – технологии. Кн. I. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 399 с.

20. **Хлюстов В.К.** Комплексная оценка и управление древесными ресурсами: модели – нормативы – технологии. Кн. II. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 448 с.

21. **Хлюстов В.К., Лямеборшай С.Х.** Научное решение проблем лесного комплекса России: научно-методические рекомендации. – Иркутск: ООО «Мегапринт», 2017. – 164 с.

#### Критерии авторства

Хлюстов В.К., Юрчук С.А., Хлюстов Д.В., Ганихин А.М. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 05.09.2021 г.

Одобрена после рецензирования 15.09.2021 г.

Принята к публикации 24.09.2021 г.

Arkhipov V.I., Berezin V.I. i dr. // Nauchno-tehn. konf. «Ot izobrazheniya k karte: Tsifrovye fotogrammetricheskie tehnologii» (Meksika). – Yukatan: 2015. – S. 35-43.

14. **Iglaut J.** Struktura po dannym fotogrammetrii dvizheniya v lesnom hozyajstve: obzor / Iglaut J., Kabo K., Puliti S. i dr. // Aktualnye doklady po lesnomu hozyajstvu. – 2019. – T. 5. № 3. – S. 155-168.

15. **Chernihovsky D.M., Lyubimov A.V., Belov V.A.** Otsenka vozmozhnostej avtomaticheskogo deshifrovaniya strat osudarstvennoj inventarizatsii lesov // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. – 2015. – № 213. – S. 110-129.

16. **Khlyustov V.K.** Kontseptsiya nauchno-metodicheskogo soprovozhdeniya inventarizatsii lesov v XXI v. // Mat-ly 3-j Mezhdunar. nauchno-praktich. konf.; Novosibirsk, 29 noyabrya – 1 dekabrya 2012 g. – M.: FGUP «Roslesinform», 2013. – S. 28-33

17. **Khlyustov D.V.** Avtomatizatsiya inventarizatsii lesnyh resursov s primeneniem tehnologij distantsionnogo zondirovaniya Zemli / D.V. Khlyustov, V.K. Khlyustov // Mater. 3-j Mezhdunar. nauchno-praktich. konf.; Novosibirsk, 29 noyabrya – 1 dekabrya 2012 g. – M.: FGUP «Roslesinform», 2013. – С. 185-188.

18. **Khlyustov V.K., Ustinov M.M., Khlyustov D.V.** Mnogomernye zakonomernosti tekushchej aktualizatsii taksatsionnykh pokazatelej drevostoev. Lesotaksatsionny spravochnik: uchebnoe posobie. – M.: RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva, 2013. – 141 s.

19. **Khlyustov V.K.** Kompleksnaya otsenka i upravlenie drevesnymi resursami: modeli-normativy-tehnologii. Kniga I. – M.: RGAU-MSHA, 2015. – 399 s. <http://elib.timacad.ru/dl/local/233.pdf>

20. **Khlyustov V.K.** Kompleksnaya otsenka i upravlenie drevesnymi resursami: modeli-normativy-tehnologii. Kniga II. – M.: RGAU-MSHA, 2015. – 448 s. <http://elib.timacad.ru/dl/local/234.pdf>

21. **Khlyustov V.K., Lyameborshaj S.H.** Nauchnoe reshenie problem lesnogo kompleksa Rossii: nauchno-metodicheskie rekomendatsii. – Irkutsk: ООО «Мегапринт», 2017. – 164 с.

#### Criteria of authorship

Khlyustov V.K., Yurchuk S.A., Khlyustov D.V., Ganikhin A.M. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interests:

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 05.09.2021

Approved after reviewing 15.09.2021

Accepted for publication 24.09.2021