

УДК 630*522.2+630*524.2+629.78
DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-42-54

ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВОСТОЕВ

В.Ф. Ковязин, д-р биол. наук, проф.; *ResearcherID:* [Y-5917-2018](https://orcid.org/0000-0002-3118-8515),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3118-8515>

К.П. Виноградов, канд. техн. наук, доц.; *ResearcherID:* [B-4864-2018](https://orcid.org/0000-0001-9339-0316),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9339-0316>

А.А. Киценко, аспирант; *ResearcherID:* [AAP-2113-2020](https://orcid.org/0000-0002-0114-3252),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0114-3252>

Е.А. Васильева, инж.; *ResearcherID:* [AAH-3855-2019](https://orcid.org/0000-0003-1020-2573),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1020-2573>

Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия В.О., д. 2, Санкт-Петербург, Россия, 199106; e-mail: vfkedr@mail.ru, kostya1495@mail.ru, kna1994@bk.ru, katrinvasileva1997@icloud.com

На сегодняшний день для мониторинга лесов, оценки лесных земель и постановки их на кадастровый учет разрабатываются новейшие бесконтактные методы и технологии изучения лесного фонда. Применение воздушного лазерного сканирования при инвентаризации лесов призвано решить стоящие перед лесоустройством задачи. Лазерное сканирование – единственный метод сбора данных о реальной поверхности, покрытой лесной растительностью, который позволяет получать данные о форме, местоположении и отражательной характеристике исследуемых лесных объектов. Результатом воздушного лазерного сканирования является 3D-массив лазерных отражений с плотностью до нескольких десятков точек на 1 м² и точностью определения их координат менее 10 см в плане и по высоте. Для съемки используются различные сканирующие системы импортного производства. Воздушное лазерное сканирование растительного покрова Земли по множеству характеристик в настоящее время превосходит все существующие технологии оценки количественных и качественных характеристик древостоев. Этот метод оценки и инвентаризации лесов не имеет конкурентов в сфере мониторинга и таксации лесных насаждений, обладает достаточной точностью картографирования древесной растительности, вплоть до подеревной съемки земель, покрытых лесом. Предложенная нами методика определения таксационных показателей (породного состава, густоты, запаса, высоты и диаметра древостоев) прошла проверку на лесном участке Всеволожского района Ленинградской области. Породный состав и густота устанавливались по горизонтальным проекциям крон деревьев, высота деревьев – с помощью программного обеспечения Global Mapper, их средний диаметр – по известным в таксации уравнениям связи диаметра и высоты. Запас насаждения рассчитывался по формулам Дементьева, Денцина и Кювье. Установлено, что результаты определения таксационных показателей посредством воздушного лазерного сканирования могут использоваться при мониторинге лесов наравне с данными глазомерно-измерительной таксации, поскольку полученные сведения о древостое не выходят за пределы допустимых ошибок, указанных в лесоустроительной инструкции.

Для цитирования: Ковязин В.Ф., Виноградов К.П., Киценко А.А., Васильева Е.А. Воздушное лазерное сканирование для уточнения таксационных характеристик древостоев // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 42–54. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-42-54

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование, древостой, мониторинг, таксационные показатели.

Введение

В настоящее время воздушное лазерное сканирование (ВЛС) применяется во многих отраслях национальной экономики (при управлении земельными ресурсами, инвентаризации земельно-имущественного комплекса, строительстве и реконструкции автомобильных и железных дорог, экологическом мониторинге и др.), поскольку является одним из самых современных и точных методов получения информации о земной поверхности в кратчайшие сроки [27, 30]. Использование метода ВЛС для определения таксационных показателей лесов Всеволожского района Ленинградской области применено впервые.

Целью исследования является сравнение основных таксационных показателей древостоев, полученных по результатам ВЛС напочвенного покрова Земли и наземной глазомерно-измерительной таксации лесного фонда (на примере Ленинградской области).

Предмет исследований – аэрофотоснимки масштаба 1:2000 и облако точек лазерных отражений, полученные при съемке лесного участка, а также материалы лесоустройства Чернореченского лесничества Всеволожского района Ленинградской области.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований являлись выдела, расположенные в кварталах 176 и 177 Чернореченского лесничества Всеволожского района Ленинградской области [1], общей площадью 160 га, в которых заложены пробные площади размером 50×50 м с количеством деревьев не менее 200 шт. Пробные площади являлись контролем для установления густоты древостоя.

На рис. 1 представлены снимки, полученные по результатам ВЛС, на рис. 2 и 3 – планшеты кварталов 176 и 177 и карта-схема расположения опытных объектов (кварталов) в Чернореченском лесничестве.

Основными древесными породами в насаждениях лесничества являются сосна, береза и осина, именно для этих древостоев и определялись таксационные показатели.



Рис. 1. Снимки исследуемого участка

Fig. 1. Images of the study area

Исходными данными при исследовании служили аэрофотоснимки в спектральных диапазонах R, G, B, NIR (нм) электромагнитных волн, полученные среднеформатной метрической цифровой аэрофотокамерой Leica RCD-30 (фокусное расстояние 80 мм, размер пикселя 6 мкм). Число пикселей результирующего кадра вдоль и поперек маршрута составляло 8956–6708, высота полета – 500 м при частоте сканирования 500 тыс. имп./с и максимальной частоте импульсов 200 кГц. Использовался сканер Leica ALS-70 с объемом запоминающего устройства 6 ч. Точность измерения: по высоте – 7...10 см, в плане – 5...15 см. В результате съемки получены снимки и геопривязки. По файлам геопривязки происходило соединение снимков. Результатом сканирования являлось облако точек с координатами, привязанными к местности. Облако точек имеет свои характеристики, которые можно изменять и настраивать в процессе съемки. С помощью облака точек определялись высоты древостоев [20–22, 26].

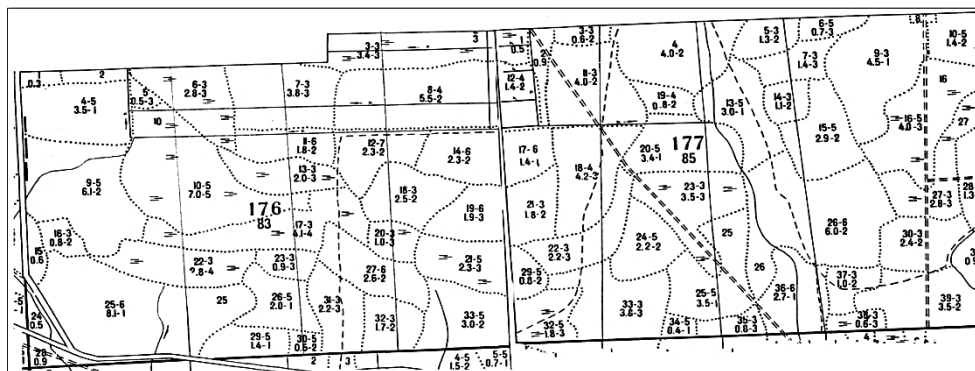


Рис. 2. Планшеты кварталов 176 и 177 Чернореченского лесничества
Fig. 2. Plates of quarters No. 176 and No. 177 of the Chernorech'ye forestry



Рис. 3. Карта-схема расположения опытных кварталов (красным выделены опытные квартала 176 и 177)
Fig. 3. Schematic map showing the location of the test quarters (No. 176 and No. 177 in red)

Главным и прямым дешифровочным признаком служила форма кроны дерева. При таксации лесных насаждений по снимкам чаще всего используют классификацию горизонтальных проекций крон Г.Г. Самойловича [16, 18] (рис. 4).

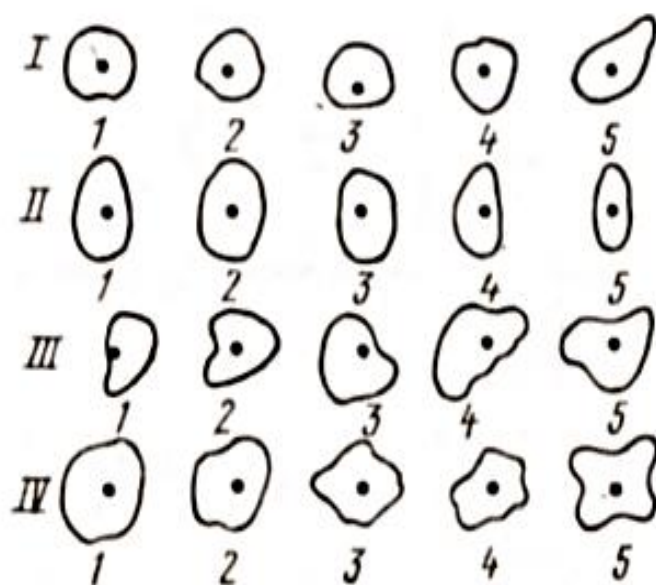


Рис. 4. Схема классификации форм горизонтальной проекции крон деревьев

Fig. 4. Classification schedule of the horizontal projection forms of tree crowns

Для определения состава древостоя в каждом квартале выбиралось по 5 выделов, расположенных в центральной части снимков, чтобы уменьшить влияние искажений и добиться репрезентативности выборки [3–5, 7–10, 13]. Репрезентативность выборки достигалась методом рендомизации, т. е. случайным отбором выделов и числом деревьев на выделе (генеральная совокупность – не менее 200 шт.). Расхождения между выборочной и генеральной совокупностью не превышали $\pm 5\%$. Таксационные показатели насаждений, приведенные в материалах лесоустройства 2015 г., служили контрольными. С использованием классификации Г.Г. Самойловича и прямых дешифровочных признаков установлено [12], что преобладающей породой является береза, примесями – сосна и осина.

Высоты деревьев определялись с помощью программного обеспечения Global Mapper [25], позволившего проанализировать и обработать данные геоинформационной системы со всеми векторными и растровыми картами, провести монтаж снимков, средний диаметр древостоя – по уравнениям связи диаметра и высоты, которые приведены в лесотаксационном справочнике [14]. Для березы, как преобладающей в насаждениях породы, использовалось следующее уравнение:

$$D = 0,96875H - 3; \quad (1)$$

для остальных пород:

сосна

$$h = 1,185H - 1,5; \quad d = 0,070312H^2 - 0,6875H + 10; \quad (2)$$

осина

$$h = H + 2; \quad d = 1,53125H - 6,7, \quad (3)$$

где D – средний диаметр преобладающей породы, см; H – средняя высота преобладающей породы, м; h – средняя высота породы примеси, м; d – средний диаметр породы примеси, см.

Для определения запасов древесины применялись упрощенные формулы объемов стволов деревьев Дементьева, Денцина и аллометрическая зависимость [4–6].

Формула Дементьева [2]:

$$V = \frac{d^2 h}{3}, \quad (4)$$

где h – высота ствола, м; d – диаметр ствола на высоте 1,3 м, см.

Формула Денцина [2]:

$$V = \frac{d^2}{1000}. \quad (5)$$

Аллометрическая зависимость, или закон структурной корреляции Кювье [6]:

$$V = a \cdot 10^{-5} h^b (d + 1), \quad (6)$$

где a и b – параметры дерева.

Густота древостоя рассчитывалась как средняя сумма деревьев на пробной площади с расчетом количества древесных растений на 1 га.

Результаты исследования и их обсуждение

По классификации горизонтальных проекций крон деревьев Г.Г. Самойловича определялись древесные породы в кварталах 176 и 177 (рис. 5–7).



Рис. 5. Береза (вид сверху)
Fig. 5. Birch (top view)



Рис. 6. Осина (вид сверху)
Fig. 6. Aspen (top view)



Рис. 7. Сосна (вид сверху)
Fig. 7. Pine (top view)

На следующем этапе анализировались данные лесоустроительных материалов и после дешифрирования снимков [11, 17]. По результатам лесоустроительных материалов [15] составлялись диаграммы распределения лесного фонда изучаемых объектов по породам (рис. 8), откуда видно, что преобладающими древесными породами в кварталах 176 и 177 являются береза, сосна и осина.

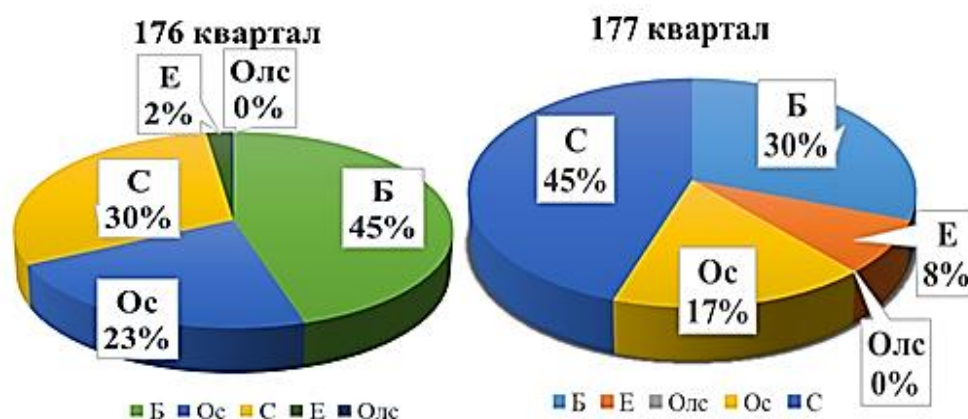


Рис. 8. Распределения исследуемых древостоев по породам

Fig. 8. Distribution of the studied stands by species

Результаты дешифрирования снимков и натурных измерений подлежали сравнению (табл. 1).

Таблица 1

Результаты определения породного состава насаждений

№ квартала	№ выдела	Породный состав насаждений		Разница
		по дешифрированию	по глазомерно-измерительной таксации	
176	21	6Б3С1Ос	6Б2Ос2С	+1С -1Ос
	16	7С3Б	8С2Б	-1С +1Б
	19	4Б4С2Ос	4Б4С2Ос	-
	15	5Б4С1Ос	4Б4Ос2С	+1Б +0С -1Ос
	26	7Б2Ос1С	8Б1С1Ос	-1Б +1Ос
177	21	6С3Б1Ос	7С2Б1Ос	-1С +1Б
	9	6С3Б1Ос	6С3Б1Е	-1Е +1Ос
	6	7Б2С1Ос	8Б2С	-1Б +1Ос
	18	7С3Б	8С2Б	-1С +1Б
	22	7С3Б	8С2Б	-1С +1Б

Примечание. «+» – доля состава больше, чем по результатам наземной инвентаризации; «-» – доля состава меньше, чем по результатам наземной инвентаризации.

Как видно из данных последнего столбца табл. 1, разница между результатами измерений, полученными различными методами, незначительна и колеблется в пределах 1,5 коэффициента состава, что находится в допустимых границах для нормативов глазомерно-измерительной таксации насаждений [15].

На следующем этапе исследований с помощью программного обеспечения Global Mapper [25] для каждого квартала по точкам лазерных отражений строились графики высот (рис. 9). Полученные результаты сопоставлялись с данными наземной таксации. Ошибка определения средней высоты древостоя составила менее 2 м, что находится в пределах, допустимых нормативом [15] (табл. 2).

Рассчитав разницу высот между крайними точками, определили среднюю высоту древостоев для каждой породы, которая совпала для березы, но различалась в допустимых по лесоустроительной инструкции [15] пределах (до 10 %) у осины и сосны.

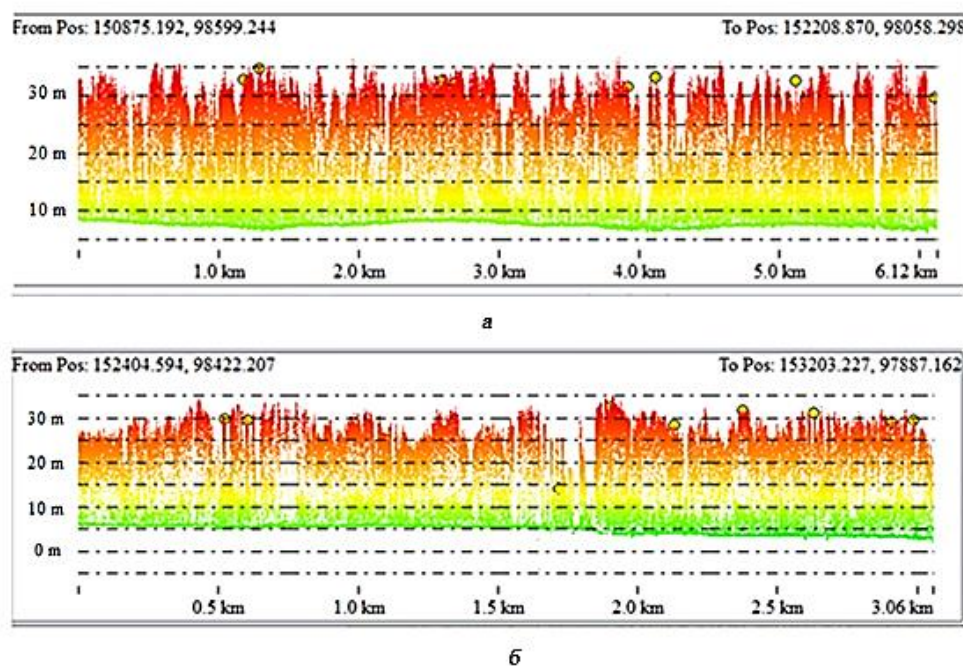


Рис. 9. График высот для древостоев квартала 176 (а) и 177 (б)

Fig. 9. Diagram of heights for the stands of quarter No. 176 (a) and quarter No. 177 (b)

Таблица 2

Результаты определения средних высот древостоев

Порода	Средняя высота, м		Разность высот, м
	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	
Береза	18	18	0
Осина	19	20	-1
Сосна	19	18	+1

Следующим таксационным показателем являлся средний диаметр древостоя.

В табл. 3 представлены результаты исследований и разница между значениями диаметров, полученных методами ВЛС и глазомерно-измерительной таксации. Разность средних диаметров древостоев не превышает норматив определения диаметра (не более 12 %) по инструкции [15]. Следовательно,

данный метод определения средней высоты древостоя может быть применен в лесохозяйственной практике.

Таблица 3

Результаты определения средних диаметров древостоев

Порода	Средний диаметр древостоя, см		Разность диаметров, см
	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	
Береза	15	15	0
Осина	21	22	-1
Сосна	16	17	-1

На дальнейшем этапе исследований, используя формулы (4)–(6) и данные табл. 2 и 3, рассчитывались объемы стволов различных пород и различие между ними при использовании различных методов их определения. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов объемов стволов различных древесных пород (м³)

Порода	По Дементьеву			По Денцину			По аллометрическим зависимостям		
	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	разность, м ³ /%	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	разность, м ³ /%	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	разность, м ³ /%
Сосна	0,1387	0,1436	0,0049/3	0,2189	0,3140	0,0951/30	0,1665	0,2087	0,0422/22
Береза	0,1351	0,1350	0,0001/0	0,2276	0,2250	-0,0026/1	0,1488	0,1487	-0,0001/0
Осина	0,2803	0,3088	0,0285/9	0,4238	0,4840	0,0602/12	0,3274	0,3515	0,0241/7

Приведенные в табл. 4 данные позволяют сделать вывод, что формула Денцина дает менее точные результаты, так как в ней представлен только один показатель – диаметр ствола, т. е. ее не следует использовать при расчетах таксационных показателей. Результаты, полученные по формуле Дементьева и по аллометрической зависимости, очень близки между собой и их можно использовать при инвентаризации лесов Северо-Запада России.

Далее выполнялся расчет густоты насаждения вначале на пробной площади (п. п.), а затем на площади 1 га, результаты которого приведены в табл. 5.

Таким образом, на площади 160 га произрастает 36 800 деревьев, средняя густота составляет 230 шт./га.

На заключительном этапе исследований определялся запас древостоев по трем породам с использованием результатов ВЛС (табл. 6).

Таблица 5

Результаты определения густоты насаждений

Квартал	Выдел	Количество стволов, шт./п.п.	Средняя густота, шт./га
176	21	60	252
	16	83	
	15	56	
	19	53	
177	6	22	208
	21	50	
	9	59	
	18	77	

Таблица 6

Результаты определения запаса древостоев по ВЛС

Порода	Запас, м ³ /га		Разность, м ³ /%
	по Дементьеву	по аллометрическим зависимостям	
Сосна	381	436	55/14
Береза	307	354	47/15
Осина	322	375	53/16

Разность между двумя способами определения запаса древостоя составила 14...16 %, что не превышает нормативы (не более 20 %), указанные в лесоустроительной инструкции [15].

Заключение

Воздушное лазерное сканирование на сегодняшний день не имеет аналогов, особенно при съемке лесных массивов [18, 24, 29, 30], так как позволяет с достаточной точностью получать таксационные показатели для отдельного дерева и древостоя в целом и создавать картографические материалы не только по опытным участкам, но и для всего лесного фонда Российской Федерации. Дешифрирование снимков воздушного лазерного сканирования, является основой для определения породного состава и густоты насаждений, их средних высот, диаметров и запасов [19, 23, 28].

При установлении таксационных показателей насаждений рекомендуется применять предложенную в данной статье методику. Значения таксационных показателей, полученных посредством воздушного лазерного сканирования, отличаются от результатов глазомерно-измерительной таксации в допустимых нормативами пределах [15]. Следовательно, предлагаемый бесконтактный метод определения таксационных показателей древостоев может быть применен при инвентаризации лесного фонда Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аналитическая записка о состоянии и использовании земель на территории Всеволожского района Ленинградской области в рамках выполнения работ по Государственному контракту № 0008-16-17 от 19.06. 2017 г. 2017. 129 с. // Росреестр. Режим доступа: [https://rosreestr.ru/upload/Doc/16-urp/Аналитическая записка Ленинградская область.pdf](https://rosreestr.ru/upload/Doc/16-urp/Аналитическая_записка_Ленинградская_область.pdf) (дата обращения: 18.05.19). [*Analytical Note on the State and Use of Land in the Territory of the Vsevolozhsk District of the Leningrad Region within the Performance of Works under the State Contract No. 0008-16-17 Dated on 19.06.2017.* Rosreestr, 2017. 129 p.].
2. Анухин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 511 с. [Anuchin N.P. *Forest Valuation.* Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 511 p.].
3. Варыгин К.А., Данилин И.М., Рылский И.А. Инвентаризация и мониторинг лесов на основе лазерной локации, цифровой аэро- и космической фотосъемки и спутникового геопозиционирования // Материалы 3-й междунар.-практ. конф. по лесоустройству. Новосибирск, 2012. 56 с. [Varygin K.A., Danilin I.M., Rylskiy I.A. *Forest Inventory and Monitoring Based on Laser Detection and Ranging, Digital Aerial and Space Photography and Satellite Geolocation. Proceedings of the 3rd International Practical Conference on Forest Management.* Novosibirsk, 2012. 56 p.].
4. Данилин И.М. Морфологическая структура, продуктивность и дистанционные методы таксации древостоев Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Красноярск, 2003. 35 с. [Danilin I.M. *Morphological Structure, Productivity and Remote Methods of Valuation of Siberian Tree Stands: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs.* Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2003. 35 p.].
5. Данилин И.М., Медведев Е.М. Некоторые результаты международного проекта по исследованию возможностей лазерной, радарной и цифровой аэросъемки лесов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2008. № 1. С. 15–23. [Danilin I.M., Medvedev E.M. *Some Results of International Project on Investigation of Possibilities for Laser, Radar and Digital Aerial Survey of Forests. Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal], 2008, no. 1, pp. 15–23.* URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b1a/b1adb20eb1cbc07b009065c60bf89a9f.pdf>
6. Демаков Ю.П., Пуряев А.С., Черных В.Л., Черных Л.В. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестн. Поволж. гос. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2(26). С. 19–36. [Demakov Yu.P., Puryaev A.S., Chernyh V.L. *Allometric Dependences Application to Assess Phytomass of Various Fractions of Trees and Simulation of Their Dynamics. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2015, no. 2(26), pp. 19–36.*
7. Дмитриев И.Д., Мурахтанов Е.С., Сухих В.И. Лесная авиация и аэрофотосъемка. 2-е изд. М.: Агропромиздат, 1989. 366 с. [Dmitriyev I.D., Murakhtanov E.S., Sukhikh V.I. *Forest Aviation and Aerial Photography.* Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 366 p.].
8. Ефремова М.Н., Шевелев С.Л. Упрощенные формулы для определения объемов стволов березы // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2018. № 3. С. 81–86. Режим доступа: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 21.05.19). [Efremova M.N., Shevelev S.L. *Simplified Formulas for Determining the Volumes of the Trunks of Birch. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information], 2018, no. 3, pp. 81–86.* DOI: [10.24419/LHI.2304-3083.2018.3.10](https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.3.10)
9. Ковязин В.Ф., Богданов В.Л., Гарманов В.В., Осипов А.Г. Мониторинг зеленых насаждений с применением беспилотных летательных аппаратов // Аграр. науч. журн. Естеств., техн. и экон. науки. 2016. № 4. С. 14–19. [Kovyazin V.F.,

Bogdanov V.L., Garmanov V.V. Monitoring of Green Plantations with the Use of Unmanned Aerial Vehicles. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [The Agrarian Scientific Journal], 2016, no. 4, pp. 14–19].

10. Ковязин В.Ф., Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Аникин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В. Основы лесного хозяйства и таксация леса. СПб.: Лань, 2012. 432 с. [Kovyazin V.F., Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Anikin A.S., Minayev V.N., Belyayeva N.V. *Basics of Forestry and Forest Inventory*. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2012. 432 p.].

11. Крутов Н.Г. Дешифрирование снимков: методические указания к выполнению лабораторных работ. Вологда: ВоГУ, 2014. 55 с. [Krutov N.G. *Image Interpretation: Laboratory Operations Manual*. Vologda, VSU Publ., 2014. 55 p.].

12. Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с. [Kuz'michev V.V. *Patterns of Tree Growth*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 160 p.].

13. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Геолидар, Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. 230 с. [Medvedev E.M. *Laser Detection and Ranging of Land and Forest*. Moscow, Geolidar Publ., 2007. 230 p.].

14. Мошкалев А.Г., Давидов Г.М., Яновский Л.Н., Моисеев В.С., Столяр Д.П., Бурневский Ю.И. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР. Л.: ЛТА, 1984. 319 с. [Moshkalev A.G., Davidov G.M., Yanovskiy L.N., Moiseyev V.S., Stolyarov D.P., Burnevskiy Yu.I. *Forest Inventory Handbook for the North-West of the USSR*. Leningrad, LTA Publ., 1984. 319 p.].

15. Об утверждении Лесоустроительной инструкции: приказ М-ва природных ресурсов и экологии РФ от 29 марта 2018 г. № 122. М., 2018. 25 с. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/542621790/> (дата обращения: 10.05.19) [On the Approval of Forest Management Instruction: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation Dated March 29, 2018, No. 122. Moscow, 2018. 25 p.].

16. Самойлович Г.Г. Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве. Л., 1972. 64 с. [Samoylovich G.G. *The Use of Aerial Photography and Aviation in Forestry*. Leningrad, 1972. 64 p.].

17. Стариков А.В., Батулин К.В. Применение лазерного сканирования в технологии учета древесины // Лесотехн. журн. 2015. № 4. С. 114–122. [Starikov A.V., Baturin K.V. The Use of Laser Scanning Technology of Accounting for Wood. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2015, no. 4, pp. 114–122]. DOI: [10.12737/17409](https://doi.org/10.12737/17409)

18. Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 853 с. [Tret'yakov N.V., Gorskiy P.V., Samoylovich G.G. *Forest Cruiser Handbook*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1952. 853 p.].

19. Abegg M., Kükenbrink D., Zell J., Schaepman M.E., Morsdorf F. Terrestrial Laser Scanning for Forest Inventories – Tree Diameter Distribution and Scanner Location Impact on Occlusion. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 6, art. 184. DOI: [10.3390/f8060184](https://doi.org/10.3390/f8060184)

20. Bienert A., Maas H.-G., Scheller S. Analysis of the Information Content of Terrestrial Laserscanner Point Clouds for the Automatic Determination of Forest Inventory Parameters. *Proceedings of the International Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, Vienna, February 14–15, 2006*. Vienna, BOKU, 2006, pp. 55–60.

21. Bienert A., Scheller S., Keane E., Mullooly G., Mohan F. Application of Terrestrial Laser Scanners for the Determination of Forest Inventory Parameters. *ISPRS Archives: Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium "Image Engineering and Vision Metrology"*, Dresden, Germany, September 25–27, 2006. Dresden, 2006, vol. XXXVI, part 5. 5 p.

22. Cabo C., Ordóñez C., López-Sánchez C.A., Armesto J. Automatic Dendrometry: Tree Detection, Tree Height and Diameter Estimation Using Terrestrial Laser Scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018, vol. 69, pp. 164–174. DOI: [10.1016/j.jag.2018.01.011](https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.01.011)

23. Dassot M., Colin A., Santenoise P., Fournier M., Constant T. Terrestrial Laser Scanning for Measuring the Solid Wood Volume, Including Branches, of Adult Standing Trees in the Forest Environment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, vol. 89, pp. 86–93. DOI: [10.1016/j.compag.2012.08.005](https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.08.005)

24. Disney M., Burt A., Calders K., Raunonen P., Gonzalez De Tanago Meñaca J. et al. New Applications of 3D Measurement and Modelling for Quantifying Forest Structure and Biomass. *Proceedings of the International Conference Global Vegetation Monitoring and Modelling (GV2M)*, Avignon, France, February 3–7, 2014. Avignon, INRA, 2014, pp. 208–209.

25. *Global Mapper: Getting Started Guide*. Blue Marble Geographics, 2018. 24 p. Available at: <https://www.bluemarblegeo.com/docs/guides/global-mapper-19-getting-started-guide-en.pdf> (accessed 13.10.19).

26. Lovell J.L., Jupp D.L.B., Newnham G.J., Culvenor D.S. Measuring Tree Stem Diameters Using Intensity Profiles from Ground-Based Scanning Lidar from a Fixed Viewpoint. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2011, vol. 66, iss. 1, pp. 46–55. DOI: [10.1016/j.isprsjprs.2010.08.006](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.08.006)

27. Maltamo M., Næsset E., Vauhkonen J. *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning*. Dordrecht, Springer, 2014. 464 p. DOI: [10.1007/978-94-017-8663-8](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8)

28. McElhinny C., Gibbons P., Brack C., Bauhus J. Forest and Woodland Stand Structural Complexity: Its Definition and Measurement. *Forest Ecology and Management*, 2005, vol. 218, iss. 1-3, pp. 1–24. DOI: [10.1016/j.foreco.2005.08.034](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.034)

29. Næsset E. Predicting Forest Stand Characteristics with Airborne Scanning Laser Using a Practical Two-Stage Procedure and Field Data. *Remote Sensing Environment*, 2002, vol. 80, iss. 1, pp. 88–99. DOI: [10.1016/S0034-4257\(01\)00290-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00290-5)

30. Wulder M.A., Franklin S.E. *Remote Sensing of Forest Environments*. New York, Springer, 2003. 519 p. DOI: [10.1007/978-1-4615-0306-4](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0306-4)

AIRBORNE LASER SCANNING FOR CLARIFICATION OF THE VALUATION INDICATORS OF FOREST STANDS

V.F. Kovyazin, Doctor of Biology, Prof.; ResearcherID: [Y-5917-2018](https://orcid.org/0000-0002-3118-8515),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3118-8515>

K.P. Vinogradov, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [B-4864-2018](https://orcid.org/0000-0001-9339-0316),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9339-0316>

A.A. Kitcenko, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAP-2113-2020](https://orcid.org/0000-0002-0114-3252),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0114-3252>

E.A. Vasilyeva, Engineer; ResearcherID: [AAH-3855-2019](https://orcid.org/0000-0003-1020-2573),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1020-2573>

Saint-Petersburg Mining University, 21-ya liniya Vasil'yevskogo ostrova, 2, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation; e-mail: vfkedr@mail.ru, kostya1495@mail.ru, kna1994@bk.ru, katrinvasileva1997@icloud.com

Nowadays the latest non-contact methods and technologies for studying the forest fund are being developed for forest monitoring improvement, forest lands assessment and their cadastral registration. It is the use of airborne laser scanning (ALS) in forest inventory that is designed to solve the challenges forest management facing. Laser scanning is the only method of collecting data on the real surface covered with forest vegetation, which allows to

obtain data on the shape, location and reflectivity of the studied forest objects. The result of ALS is a 3D array of laser reflections with a density of up to several dozens of points per 1 m² and accuracy of determining their coordinates of less than 10 cm in plan and height. Various imported scanning systems are used for surveying. The ALS of the Earth's vegetation cover is superior to all existing technologies for assessing the quantitative and qualitative parameters of forest stands in a set of characteristics. This method of assessment and inventory of forests has no competitors in the field of monitoring and valuation of forest stands. It also has sufficient accuracy in mapping woody vegetation, up to the tree survey of forested lands. The article proposes a method for determining valuation indicators: species composition, density, stock, height and diameter of forest stands according to the results of ALS in the forest area of the Vsevolozhsk district (Leningrad region). The species composition and density were determined by horizontal projections of tree crowns. The heights of the trees were determined using the Global Mapper software, and their average diameter was found using the diameter and height relationship equations known in forest valuation. The planting stock was calculated using the equations of Dementiev, Dentsin and G. Cuvier. It was found that the results of determining the valuation indicators by means of ALS can be used in forest monitoring along with the data of visual valuation, since the obtained information on the forest stand stays within the limits of permissible errors specified in the forest management instruction.

For citation: Kovyazin V.F., Vinogradov K.P., Kitcenko A.A., Vasilyeva E.A. Airborne Laser Scanning for Clarification of the Valuation Indicators of Forest Stands. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 42–54. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-42-54

Keywords: airborne laser scanning, tree stand, monitoring, valuation indicators.

Поступила 13.10.19 / Received on October 13, 2019
