DOI:10/58168/FECC2025_80-84
УДК 630*522:630*587.5

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРЕВЬЕВ МОБИЛЬНЫМ ЛАЗЕРНЫМ 3D СКАНЕРОМ Л-СКАН НАНО

К.Б. Абишев, И.В. Шевелина, А.В. Демидова, З.Я. Нагимов, Т.С. Воробьева
Уральский государственный лесотехнический университет,
г. Екатеринбург, Россия, email: shevelinaiv@m.usfeu.ru

Аннотация. В статье приведены результаты оценки точности определения основных объемообразующих показателей деревьев (диаметра на высоте груди и высоты) мобильным 3D сканером Л-СКАН НАНО при таксации лесных участков. Установлено, что общие ошибки определения и диаметра и высоты деревьев не выходят за пределы ±2%.

Ключевые слова: облако точек, лазерное сканирование, таксация деревьев, высота, диаметр, мобильный комплекс.

ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE MAIN TAX INDICATORS OF TREES MOBILE 3D LASER SCANNER L-SCAN NANO

K.B. Abishev, I.V. Shevelina, A.V. Demidova, Z.Ya. Nagimov, T.S. Vorobyova

Ural State Forestry Engineering University,
Yekaterinburg, Russia, email: shevelinaiv@m.usfeu.ru

Annotation. The article presents the results of evaluating the accuracy of determining the main volume-forming parameters of trees (diameter at chest height and height) with the mobile 3D scanner L-SCAN NANO when taxing forest areas. It was found that the general errors in determining both the diameter and height of trees do not exceed ± 2%.

Keywords: point cloud, laser scanning, tree taxation, height, diameter, mobile complex.

Получение достоверных и актуальных данных о лесных ресурсах является одной из основных задач лесной таксации. Перечислительные и измерительные способы таксации, обеспечивающие нормативную точность определения таксационных показателей, являются достаточно трудоемкими. Внедрение в лесотаксационную практику технологий дистанционного зондирования (получение снимков высокого разрешения с космических

© Абишев К. Б., Шевелина И. В., Демидова А. В., Нагимов З. Я., Воробьева Т. С., 2025

спутников и беспилотных летательных аппаратов, лазерное сканирование) делает процессы сбора необходимой информации менее трудозатратными и более эффективными.

Использование лидара при исследовании лесных экосистем позволяет проводить лазерное сканирование местности и создавать её трехмерную модель из «облака точек» с пространственными координатами (Данилин и др., 2005; Watt et al., 2007; 2019; Wang et al., 2019; Толкач, Шульга, 2024; и др.). Воздушное лазерное сканирование применяют при работе на больших площадях (Толкач, Шульга, 2024; и др.), наземное и мобильное – на небольших по площади объектах (Wang et al., 2019; и др.). Технология лазерного сканирования предусматривает наличие сигнала глобальных навигационных систем (GNSS), а при отсутствии спутникового сигнала PPK/RTK данная технология становится бесполезной. Для использования лазерного сканирования в производственной таксации необходимо оценить точность определения лидаром основных таксационных показателей (диаметр на высоте груди и высота деревьев) и разработать технологии их оценки (Watt et al., 2007; Wang et al., 2019; Гришин и др., 2022; Толкач, Шульга, 2024; и др.).

Целью нашего исследования явилась оценка точности определения таксационных характеристик деревьев, получаемых при помощи лидарной технологии. При выполнении работ использовали ручной мобильный лазерный 3D сканер Л-Скан Нано (https://geomatics.ru/). Устройство позволяет проводить съёмку в условиях полного отсутствия сигнала глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS). Лазерная головка имеет сверхширокоугольную камеру, позволяющую увеличить поле обзора по вертикали до 59º. Длина волны сканера 905 нм, скорость сканирования 200000 точек/сек, дальность сканирования до 70 метров.

Для достижения поставленной цели было подобрано два участка, на которых проведены измерения деревьев методами традиционной таксации и наземного лазерного сканирования ручным мобильным лазерным 3D сканером Л-Скан Нано.

Участок №1 представляет собой смешанное насаждение. Здесь произрастают пять древесных видов: лиственница сибирская, ель сибирская, береза повислая, липа мелколистая, ива древовидная. Участок №2 – это лесные культуры лиственницы сибирской. Характеристики участков представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные характеристики участков

№ п/п участка	Возраст, лет	Количество деревьев, шт.	Количество видов, шт.	Диаметр, см		Высота, м	
				минимальное	максимальное	минимальное	максимальное
1	45	49	5	11	45	13	26
2	40	22	1	29	52	17	21

Как видно из данных табл. 1, общее количество обмеренных деревьев на первом участке составило 49, а на втором – 22 шт. Исследуемые деревья характеризуются достаточно широким диапазоном варьирования диаметра и высоты стволов. Диаметры деревьев на участке №1 изменяются в пределах от 11 до 45 см, на участке №2 – от 29 см до 52 см. Диапазон изменения высоты деревьев на этих участках варьирует от 13 до 26 м и от 17 до 21 м, соответственно.

На первом этапе работы на указанных участках у всех деревьев были определены диаметры на высоте груди в двух направлениях мерной вилкой с точностью до 0,1 см с выводом среднего значения и высоты – лазерным высотомером Tru Pulse 360B с точностью 0,1 м. На втором этапе было проведено лазерное сканирование выбранных участков ручным мобильным лазерным 3D сканером Л-Скан Нано. При сканировании применялся челночный ход движения оператора с прибором по территории участков.

Камеральная обработка 3D облака точек проводилась в специализированной программе Cloud Compare с использованием программного модуля 3DFin: Forest Inventory. Базовый алгоритм использует самые современные методы для точного обнаружения и определения местоположения деревьев в наземных облаках точек лесных участков, а также для расчета основных параметров деревьев: шумоподавление, нормализация высоты облака точек, извлечение ствола, измерение его высоты и диаметра на нужных высотах (Laino et al., 2024). При обработке данных с использованием алгоритмов программы, были установлены местоположение всех деревьев на участках, их диаметры на высоте груди и высоты.

Для установления точности определения таксационных показателей деревьев мобильным лазерным 3D сканером были рассчитаны ошибки (систематическая, среднеквадратическая, общая) по алгоритму, используемому в лесной таксации. Все расчеты производились в пакете MO Excel. Диаметры и высоты деревьев, определенные традиционными способами (мерной вилкой и высотомером, соответственно), принимались за условно точные. Результаты расчетов ошибок по диаметру представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Ошибки определения диаметра на высоте груди деревьев мобильным лазерным 3D сканером

№ участка	Ошибка, %		
	систематическая	среднеквадратическая	общая
1	+0,72	±9,85	±1,41
2	-1,33	±5,27	±1,12

Представленные в табл. 2 материалы позволяют отметить следующее. Лазерный сканер при определении диаметра стволов обеспечивает сравнительно низкие систематические ошибки: +0,72 % на первом участке и -1,33%, – на втором участке. Среднеквадратическая ошибка (ошибка отдельных наблюдений) при определении диаметра стволов сканером на первом участке составляет ±9,85%, а на втором ±5,27%. Общая ошибка по всем деревьям на обоих участках не выходит за пределы ±2%. Она значительно ниже допустимых случайных ошибок при глазомерной (±12%) и глазомерно-измерительной (±10%) таксации.

В табл. 3 представлены результаты расчета ошибок определения высоты деревьев мобильным лазерным 3D сканером.

Таблица 3 – Ошибки определения высоты деревьев мобильным лазерным 3D сканером

№ участка	Объем выборки, шт.	Ошибки, %		
		систематическая	среднеквадратическая	общая
1	49	-5,00	±9,74	±1,45
2	22	+1,43	±3,38	±0,72

Из данных табл. 3 видно, что лазерный сканер при определении высоты деревьев дает более высокие систематические отклонения, особенно на первом участке (-5,00%). Величины среднеквадратических ошибок (±9,74% и ±3,38%) при определении высоты стволов находятся на уровне ошибок определения диаметра стволов. Общие ошибки определения высоты по всем деревьям на исследуемых участках составляют: на первом участке ±1,45%, на втором – ±0,72%. Они, как и в случае с диаметром стволов, значительно ниже допустимых случайных ошибок при производственной таксации. Известно, что при глазомерной таксации допустимая ошибка определения средней высоты составляет ±10%, а при глазомерно-измерительной – ±8%.

В целом, в ходе проведенного исследования установлено, что мобильный 3D сканер в совокупности с программным обеспечением обработки облаков точек (3D Fin) позволяет определить с достаточной точностью основные объемообразующие показатели – диаметр и высоту деревьев. Общие ошибки определения и диаметра и высоты деревьев не выходят за пределы ±2%. Они значительно ниже допустимых случайных ошибок определения этих показателей при глазомерной и глазомерно-измерительной таксации. Использование технологии лазерного сканирования, на наш взгляд, наиболее перспективно при таксации городских насаждений и редкостойных древостоев, в частности, в переходной зоны между лесными и безлесными территориями в высокогорьях.

Работа выполнена в рамках исполнения госбюджетной темы FEUG-2023-0002.

Список литературы

1. Данилин, И. М. Лазерная локация земли и леса : учебное пособие / И. М. Данилин, Е. М. Медведев, С. Р. Мельников – Красноярск : Издательство института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с. – ISBN 5-903055-09-5. – Текст : непосредственный.

2. Watt P. J. Measuring Forest structure with terrestrial laser scanning / P.J. Watt, D.N. Donoghue. - DOI:10.1080/01431160512331337961. – Текст : непосредственный // International Journal of Remote Sensing. – 2005. – No. 26(7). – pp. 1437–1446.

3. Wang P. Analysis of Parameters for the Accurate and Fast Estimation of Tree Diameter at Breast Height Based on Simulated Point Cloud / P. Wang, X. Gan, Q. Zhang, G. Bu, L. Li, X. Xu, Y. Li, Z. Liu, X. Xiao. - DOI:10.3390/rs11222707. – Текст : электронный // Remote Sens. – 2019. – No. 11. – 19 p. – URL: https://www.mdpi.com/2072-4292/11/22/2707 (дата обращения: 03.05.2025).

4. Толкач, И. В. Определение высот и диаметров крон деревьев по данным лидарной съемки / И.В. Толкач, Е.А. Шульга. - DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-2. – Текст : электронный // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. - 2024. – №1. – С. 15-21. – URL: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/62750/1/2.%20%d0%a2%d0%be%d0%bb%d0%ba%d0%b0%d1%87.pdf (дата обращения: 11.05.2025).

5. Laino D. 3DFin: a software for automated 3D forest inventories from terrestrial point clouds / D. Laino, C. Cabo, C. Prendes, R. Janvier, C. Ordonez, T. Nikonovas, S. Doer, C. Santin. -

DOI.org/10.1093/forestry/cpae020. – Текст : непосредственный // Forestry: An International Journal of Forest Research. – 2024. – V. 97. - No. 4. – pp. 479–496.

References

1. Danilin I. M. Laser location of the earth and forests: a textbook / I. M. Danilin, E. M. Medvedev, S. R. Melnikov. – Krasnoyarsk : Publishing House of the V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2007. – 230 p. ISBN 5-903055-09-5. – Text : direct.

2. Watt P. J. Measuring Forest structure with terrestrial laser scanning / P.J. Watt, D.N. Donoghue. - DOI:10.1080/01431160512331337961. – Text : direct // International Journal of Remote Sensing. – 2005. – No. 26(7). – pp. 1437–1446.

3. Wang P. Analysis of Parameters for the Accurate and Fast Estimation of Tree Diameter at Breast Height Based on Simulated Point Cloud / P. Wang, X. Gan, Q. Zhang, G. Bu, L. Li, X. Xu, Y. Li, Z. Liu, X. Xiao. - DOI:10.3390/rs11222707. – Text : electronic // Remote Sens. – 2019. – No. 11. – 19 p. – URL: https://www.mdpi.com/2072-4292/11/22/2707 (date of access: 03.05.2025).

4. Tolkach I. V. Determination of heights and diameters of tree crowns according to lidar survey data / I.V. Tolkach, E.A. Shulga. - DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-2. – Text : electronic // Proceedings of BSTU. Issue 1 : Forestry. Nature management. Processing of renewable resources. - 2024. – No. 1. – pp. 15–21.

5. Laino D. 3DFin: a software for automated 3D forest inventories from terrestrial point clouds / D. Laino, C. Cabo, C. Prendes, R. Janvier, C. Ordonez, T. Nikonovas, S. Doer, C. Santin. - DOI.org/10.1093/forestry/cpae020. – Text : direct // Forestry: An International Journal of Forest Research. – 2024. – V. 97. - No. 4. – pp. 479–496.