

## **Инвентаризация городских лесов г. Новосибирска с применением метода наземного лазерного сканирования**

*И. Е. Дорогова<sup>1\*</sup>, Д. Е. Еремин<sup>1</sup>, А. К. Михайлов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «СИБЭКОАУДИТ», г. Новосибирск  
\* e-mail: inna\_dorogova@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен процесс инвентаризации лесов города Новосибирска методом наземного лазерного сканирования. Методы и средства лазерного сканирования в настоящее время являются наиболее актуальным направлением для решения задач мониторинга и оценки, а относительно небольшие площади городских лесов позволяют обойтись без огромных вычислительных мощностей для обработки результатов и меньшим количеством трудозатрат, что делает данный метод более быстрой и экономически выгодной альтернативой традиционным полевым методам. В ходе исследования были отсканированы леса на территориях заложенных тренировочных полигонов и получены их основные характеристики – средняя высота, общее количество и диаметр каждого дерева. Сравнение результатов лазерного сканирования с традиционным глазомерным способом показало приемлемый уровень расхождений, что подтвердило актуальность и перспективность данного метода.

**Ключевые слова:** лазерное сканирование, мониторинг, инвентаризация, городские леса, тренировочный полигон, характеристики леса, глазомерный способ

## **Application of terrestrial laser scanning method for urban forest inventory in Novosibirsk**

*I. E. Dorogova<sup>1\*</sup>, D. E. Eremin<sup>1</sup>, A. K. Mikhailov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> ООО «SIBECOАUDIT», Novosibirsk  
\* e-mail: inna\_dorogova@mail.ru

**Abstract.** This article discusses the process of inventorying the urban forests of Novosibirsk by the method of terrestrial laser scanning. Laser scanning methods and tools are currently the most relevant direction for solving monitoring and evaluation problems, and relatively small areas of urban forests make it possible to do without huge computing capacity for processing results and fewer labor costs, which makes this method faster and more cost-effective alternative to traditional field methods. In the course of the study, forests in the territories of established training were scanned and the main characteristics were obtained - the average height, total number and diameter of each tree. Comparison of the results of laser scanning with the traditional visual method showed an acceptable level of discrepancies, which confirmed the relevance and perspective of this method.

**Keywords:** laser scanning, monitoring, inventory, urban forestry, training ground, forest characteristics, visual method

### ***Введение***

В настоящее время для решения задач мониторинга и оценки лесных насаждений использование методов и средств лазерного сканирования является одним из наиболее актуальных и приоритетных направлений. По ряду показателей ла-

зерное сканирование превосходит другие, известные на сегодняшний день, дистанционные методы оценки качественных и количественных характеристик лесного фонда. Основным достоинством лазерной локации от других методов мониторинга лесных насаждений является то, что лазерный луч способен проникать сквозь полог леса, тем самым сканируя все ярусы древостоя. Высокая плотность сканирования позволяет получать трехмерные изображения отдельных деревьев с высокой точностью [1].

Полученная трехмерная модель не требует обработки, в отличие от аэрокосмических методов дистанционного зондирования Земли, которые связаны с длительной и трудоемкой расшифровкой полученных снимков. Наземное лазерное сканирование, по сути, аналогично традиционным фотограмметрическим методам, однако оно позволяет получать координаты с одной точки стояния с возможностью контроля измерений непосредственно в полевых условиях, при этом обеспечивая более высокую точность измерений по сравнению с фотограмметрическими методами [2].

В соответствии с п.40 Лесоустроительной инструкции [3], на 1 этапе выполнения работ по муниципальному контракту (этап 1 – Подготовительные работы), на территории городских лесов г. Новосибирска заложен тренировочный полигон в количестве 10 тренировочных пробных площадей. Все 10 тренировочных площадей были отсканированы с помощью наземного лазерного сканера Riegl VZ 400 [4]. После обработки данных лазерного сканирования в программе Cyclone 7.3 [5] были определены следующие характеристики: средняя высота древостоя, общее количество деревьев на пробной площади (сплошной пересчет), диаметр каждого дерева с разбивкой по ступеням толщины [6].

### *Результаты*

Для определения диаметра облако точек ограничивается на высоте 1,3 м (рис. 1).

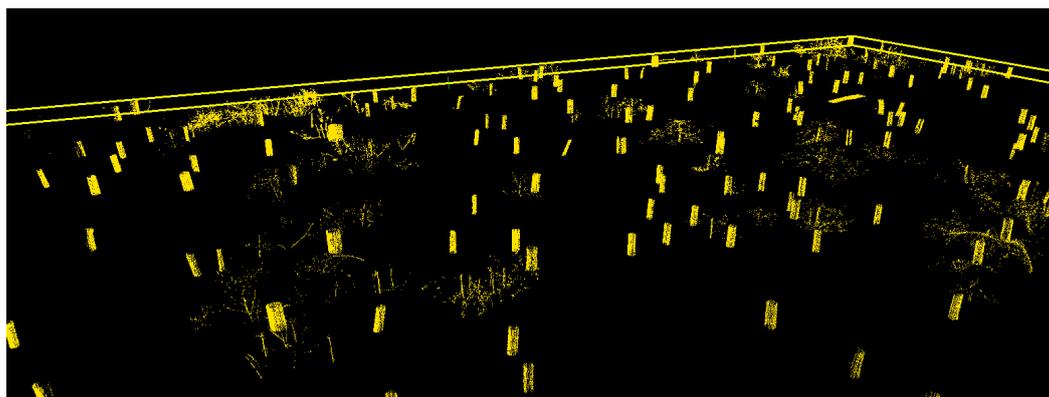


Рис. 1. Облако точек, ограниченное заданной высотой

Далее каждое дерево заменяется векторным объектом цилиндрической формы того же диаметра [7]. Процедура выполняется в программе в полуавтоматическом режиме (рис. 2).

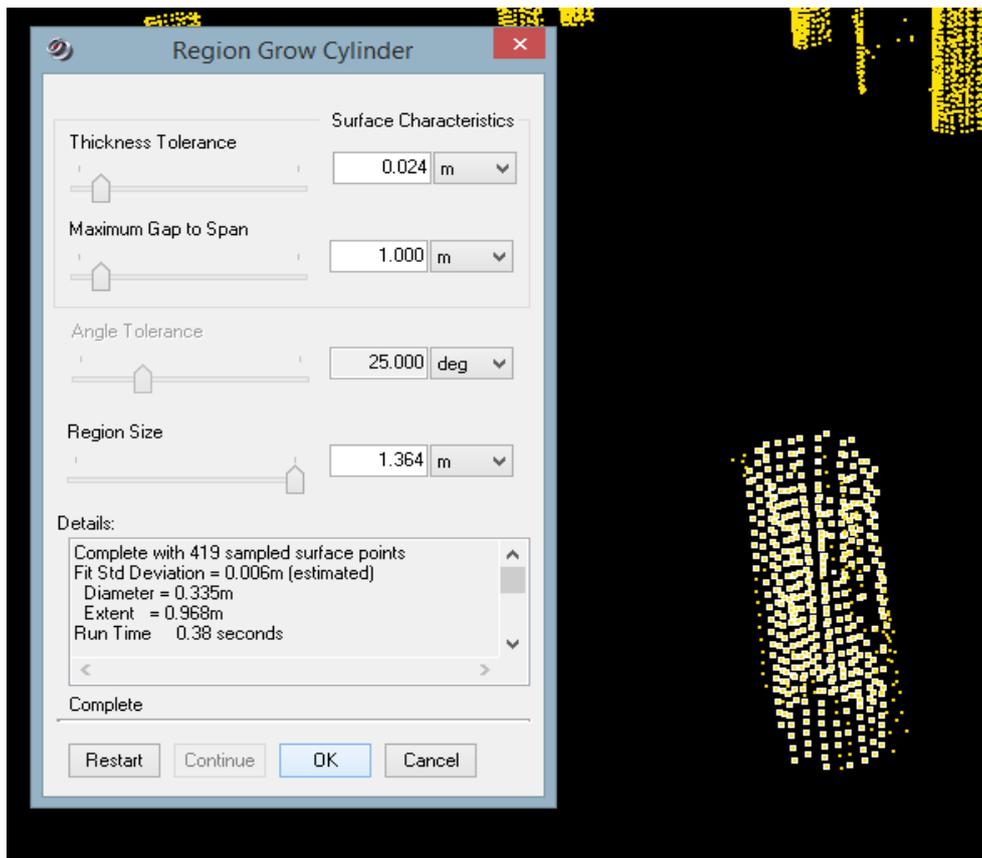


Рис. 2. Замена дерева цилиндрическим объектом

После замены всех деревьев на цилиндры объект экспортируется в программу Autocad [8], где уже в автоматическом режиме происходит выгрузка всех измеренных диаметров в отдельный файл.

В табл. 1 сопоставляются результаты, полученные в ходе обработки данных лазерного сканирования, с результатами, полученными в ходе закладки тренировочного полигона глазомерно-измерительным способом.

Таблица 1

Обработка результатов лазерного сканирования		Закладка полигона глазомерно-измерительным способом		Расхождение, %
Степень толщины	Кол-во деревьев	Кол-во деревьев	Сухостойные	
12	6	4	2	0
16	19	12	7	0
20	25	21	4	0
24	37	35	2	0
28	65	62	3	0
32	73	72		1,4
36	65	63		3,2

Обработка результатов лазерного сканирования		Закладка полигона глазомерно-измерительным способом		Расхождение, %
Ступень толщины	Кол-во деревьев	Кол-во деревьев	Сухостойные	
40	41	44		6,8
44	25	27		7,4
48	15	16		6,2
52	14	13		7,2
56	2	2		0
60	1	1		0
64	2	2		0
68	1	1		0
ИТОГО	391	375	18	0,51

Как видно из табл. 1, данные, полученные по результатам лазерного сканирования, отличаются от данных полученных глазомерно-измерительным способом максимум на 7,4%, что укладывается в рамки допустимых расхождений, предусмотренных п. 163 лесоустроительной инструкции (отклонения данных определения таксационных показателей при таксации лесов от данных проверки качества таксации лесов приведены в табл. 2).

Таблица 2

Способы таксации лесов	Нормативная точность определения запасов, кол-во деревьев	Допустимые отклонения от данных проверки качества таксации лесов	
		По высоте (Н), %	По диаметру (Д), %
Глазомерно-измерительный	15	8	10
Глазомерный	20	10	12
Дешифровочный	25	15	20
Актуализации	30	15	20

Высоту отдельно стоящего дерева можно определить после обработки облака точек с помощью инструмента «линейка» (рис. 3)

В соответствии с ОСТ 56-69-83 [9] для построения графика высот преобладающего элемента леса измеряют высоты у 20–25 деревьев, которые распределяют по ступеням толщины пропорционально суммам площадей сечений.

Для более точного сравнения была измерена высота того же количества деревьев, что и при закладке пробной площади глазомерно-измерительным способом (25 деревьев главной породы – сосна и 7 деревьев второстепенной породы – береза). Порода определялась оператором визуально [10].

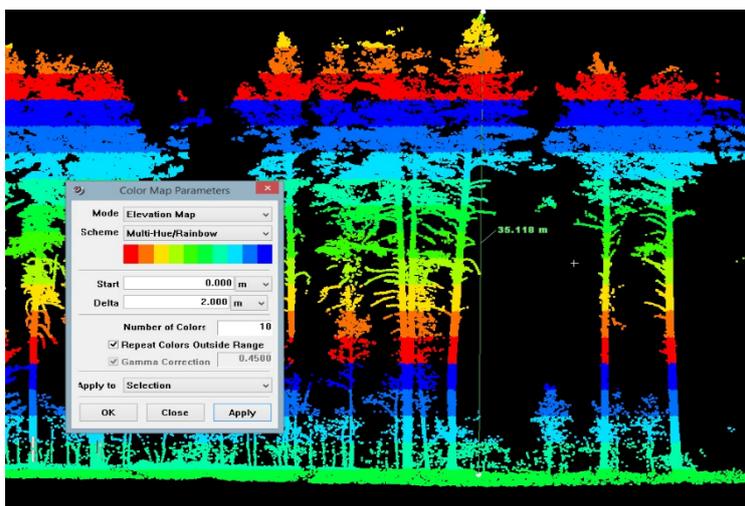


Рис. 3. Определение высоты с помощью инструмента «линейка»

В табл. 3 сопоставляются результаты, полученные в ходе обработки данных лазерного сканирования, с результатами, полученными в ходе закладки тренировочного полигона глазомерно-измерительным способом.

Таблица 3

Обработка результатов лазерного сканирования				Закладка полигона глазомерно-измерительным способом				Расхождение, %	
Диаметр, см		Высота, м		Диаметр, см		Высота, м		С	Б
С	Б	С	Б	С	Б	С	Б	С	Б
34	32,97	32,687	31,215	34	33	33	32	0,94	5,3
36,97	26,91	26,115	30,95	37	27	33	32	3,3	3,3
32,11	23,88	32,516	30,261	32	24	33	29	1,5	4,2
44,17	41,88	31,007	31,118	44	42	32	29	3,1	6,8
29,99	36,05	28,514	36,214	30	36	30	35	5	3,4
53,83	28,13	31,301	26,953	55	28	32,5	26	3,7	3,5
51,22	39,90	32,87	30,095	51	40	32	31	2,6	3
43,68		34,215		44		33,5		2,1	
40,99		31,295		41		31		1	
68,77		30,511		68		29,5		3,3	
51,90		29,115		52		30,5		4,5	
45,91		31,317		46		30		4,2	
28,05		25,51		28		26		1,9	
39,15		28,581		39		30		4,7	
38,92		34,975		39		34		2,8	
40,35		33,05		40		32		3,2	
42,14		33,348		42		33		1	
26,04		28,934		26		30		3,5	
42,19		34,051		42		33		3,1	
52,94		34,112		53		33		3,25	
44,41		29,541		44		30		1,5	
52,91		35,895		53		34		5,3	
33,90		31,134		34		32		2,7	
37,14		26,245		37		28		6,3	
46,16		30,781		46		31		0,7	
СРЕДНЕЕ ОТКЛОНЕНИЕ, %								3,0	4,2

Как видно из таблицы, данные, полученные по результатам лазерного сканирования, отличаются от данных, полученных глазомерно-измерительным способом максимум на 6,8%, что укладывается в рамки допустимых расхождений, предусмотренных лесостроительной инструкцией (таблица 2).

### *Заключение*

Лесной фонд Российской Федерации является исключительно сложным и огромным объектом сбора и дешифрирования данных, полученных методом наземного лазерного сканирования. Труднодоступность, необходимость большого числа времени на сбор и вычислительных мощностей на обработку данных наземного лазерного сканирования затрудняют применение данного способа для объемных удаленных объектов. Использование средств и методов наземного лазерного сканирования для городских территорий позволит повысить эффективность, скорость и точность оценки количественных и качественных характеристик лесного фонда.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горстка Н.А. Наземное лазерное сканирование в лесном хозяйстве / Н.А. Горстка, Л.А. Грибкова. // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей Международной научно-практической конференции в 2 частях. – 2018. – Том 1. – Часть 1. – Текст: электронный // URL: [www.elibrary.ru/download/elibrary\\_32592623\\_20874764.pdf](http://www.elibrary.ru/download/elibrary_32592623_20874764.pdf) (дата обращения : 26.10.2022). – Режим доступа : после регистрации.
2. Стариков А.В. Применение лазерного сканирования в технологии учета древесины / А.В. Стариков, К.В. Батурин // Лесотехнический журнал. – 2015. – №4. – С.114-121. – DOI:10.1737/1409. – Текст: электронный // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-lazernogo-skanirovaniya-v-tehnologii-ucheta-drevesiny> (дата обращения : 26.10.2022). – Режим доступа : общий доступ.
3. Об утверждении Лесостроительной инструкции. Постановление Минприроды России от 29.03.2018 №122 // Минюст России. – 2018. – N 50859 (20 апреля) – 73 с.
4. Руководство: RIEGL VZ-400: официальный сайт ART-GEO. – Текст: электронный // URL: <https://art-geo.ru/catalog/terrestrial/nazemnye-lazernye-skanery-riegl-vz-serii/riegl-vz4000> (дата обращения 08.10.2022г.). – Режим доступа : общий доступ.
5. Руководство: Cyclone: официальный сайт LEICA-GEOSYSTEMS. – Текст: электронный // URL: <https://leica-geosystems.com/ru/products/laser-scanners/software/leica-cyclone> (дата обращения 08.10.2022г.). – Режим доступа : общий доступ.
6. Lovell J.L. Measuring Tree Stem Diameters Using Intensity Profiles from Ground-Based Scanning Lidar from a Fixed Viewpoint / J.L. Lovell, D.L.B. Jupp, G.J. Newnham, D.S. Culvenor // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2011. – Vol. 66 . – Iss. 1. – P. 46–55. – DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2010.08.006.
7. Holopainen M. Mobile terrestrial laser scanning in urban tree inventory / M. Holopainen, T. Kantola // SilviLaser 2011, Sept. 16-20, 2011 – Hobart, Australia. – 2011. DOI: 10.1109/JSTARS.2019.2929546. – Текст: электронный // URL: [http://www.locuscor.net/silvilaser2011/papers/052\\_Vastaranta.pdf](http://www.locuscor.net/silvilaser2011/papers/052_Vastaranta.pdf) (дата обращения 18.10.2022г.). – Режим доступа : общий доступ.
8. Руководство: AutoCad: официальный сайт AUTODESK. – Текст: электронный // URL: <https://help.autodesk.com/view/ACD/2019/RUS/?guid=GUID-2AA12FC5-FBB2-4ABE-9024-90D41FEB1AC3> (дата обращения 10.10.2022г.). – Режим доступа : общий доступ.
9. ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесостроительные. Метод закладки» от 23.05.1983 // Центральное Бюро научно-технической информации Гослесхоза. – М. – 1983. – с. 59
10. Мартынов А.Н. Основы лесного хозяйства и таксация леса: учебное пособие / А.Н. Мартынов и др. – Спб.: ООО Изд-во «Лань», 2008. – 372 с.

© И. Е. Дорогова, Д. Е. Еремин, А. К. Михайлов, 2023