

## СТАТЬЯ

УДК 630\*524.4  
 DOI 10.17513/use.38458

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУШНОГО И НАЗЕМНОГО ЛИДАРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО ОТВОДУ И ТАКСАЦИИ ЛЕСОСЕК

<sup>1</sup>Банников В.П., <sup>1</sup>Капиталинин Д.Ю., <sup>2</sup>Карминов В.Н. ORCID ID 0000-0002-9298-956X,

<sup>2</sup>Митрофанов Е.М. ORCID ID 0000-0003-1957-7638, <sup>3</sup>Фань Вэнни

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Рослесинфорг»,  
 Москва, Российская Федерация, e-mail: banticore@mail.ru;

<sup>2</sup>Мытищинский филиал федерального государственного автономного образовательного  
 учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени  
 Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Мытищи, Российская Федерация;

<sup>3</sup>Школа лесного хозяйства Северо-Восточного университета лесного хозяйства, Харбин, Китай

В статье проанализирована возможность использования воздушного и наземного лазерного сканирования при отводе и таксации лесосек. Объектом исследования альтернативного метода отвода и таксации лесосек стала территория Костромского сельского участкового лесничества Костромской области. Пять лесосек были отведены под сплошную рубку в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 17.10.2022 № 688 общей площадью 8,9 га. Проведение полевых измерений выполнялось с использованием двух перспективных технологий: воздушного сканирования участков при помощи беспилотных летательных аппаратов и наземного сканирования участков при помощи slam-сканера. Разработан общий алгоритм работы с наземным лазерным сканером, включающий этапы: мобильный лазерный сканер приводят в рабочее положение рядом с исследуемым участком; специалист включает прибор; специалист выполняет мобильное сканирование объекта; после того как выполнены процедуры сканирования, в камеральных условиях происходит обработка полученных данных и формирование облака точек. Обработка облачных точек, полученных со сканера, выполнялась в специализированной программе (BMSTU-LIDAR). Анализ экспериментальных результатов показал, что по временным затратам проведение вышеуказанных работ «инновационным методом» более экономически привлекательно (уменьшение на 29%) и способно снизить финансовые затраты при увеличении объема работ, возникает возможность конкурировать начальной ценой за единицу работ по отношению к «классическому методу».

**Ключевые слова:** воздушное лазерное сканирование, наземное лазерное сканирование, лидар, облако точек, отвод и таксация лесосек, круговые площадки постоянного радиуса

**Благодарности:** Автор выражает благодарность коллегам из кафедры ЛТЗ-МФ МГТУ имени Н.Э. Баумана за помощь в обработке результатов воздушного и наземного лазерного сканирования.

## THE USE OF AERIAL AND GROUND-BASED LIDAR SCANNING DURING LOGGING AND TAXING OPERATIONS

<sup>1</sup>Bannikov V.P., <sup>1</sup>Kapitalinin D.Yu., <sup>2</sup>Karminov V.N. ORCID ID 0000-0002-9298-956X,

<sup>2</sup>Mitrofanov E.M. ORCID ID 0000-0003-1957-7638, <sup>3</sup>Fan Wenyi

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Institution “Roslesinforg”,  
 Moscow, Russian Federation, e-mail: banticore@mail.ru;

<sup>2</sup>Mytischi Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
 “Bauman Moscow State Technical University”, Moscow, Russian Federation;

<sup>3</sup>School of Forestry North-Eastern Forestry University, Harbin, China

The article analyzes the possibility of using aerial and ground-based laser scanning during logging and taxation. The object of research of an alternative method of allotment and taxation of cutting areas was the territory of the Kostroma rural district forestry of the Kostroma region. Five cutting areas were allocated for continuous logging in accordance with the order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated 17.10.2022 No. 688 with a total area of 8.9 hectares. Field measurements were carried out using two promising technologies: aerial scanning of sites using unmanned aerial vehicles and ground scanning of sites using a slam scanner. A general algorithm for working with a ground-based laser scanner has been developed, including the following steps: the mobile laser scanner is brought into working position next to the test area; the specialist turns on the device; the specialist performs a mobile scan of the object; after the scanning procedures are completed, the received data is processed in the office and a point cloud is formed. Processing of cloud points received from the scanner was performed in a specialized program (BMSTU-LIDAR). An analysis of the experimental results showed that in terms of time costs, carrying out the above-mentioned work using the “innovative method” is more economically attractive (a decrease of 29%), and is able to reduce financial costs with an increase in the volume of work, it becomes possible to compete with the initial price for 1 unit of work in relation to the “classical method”.

**Keywords:** aerial laser scanning, ground-based laser scanning, lidar, point cloud, logging and taxing, circular sites of constant radius

**Acknowledgements:** The author expresses gratitude to the staff of the LT3-MF Department of the Bauman Moscow State Technical University for their help in processing the results of aerial and ground laser scanning.

## Введение

Традиционные методы таксации лесонасаждений требуют значительных затрат как по времени сбора полевой информации, так и по дальнейшей ее камеральной обработке. В настоящее время, помимо традиционных способов таксации насаждений, все более широкое применение находят способы, основанные на технологических, дистанционных методах определения таксационных показателей, таких как воздушное лазерное сканирование (ВЛС) и наземный глазомерно-измерительный способ [1–3].

**Цель исследования** – оценка точности определения основных таксационных показателей при отводе и таксации лесосек при использовании воздушного и наземного лазерного сканирования.

## Материалы и методы исследования

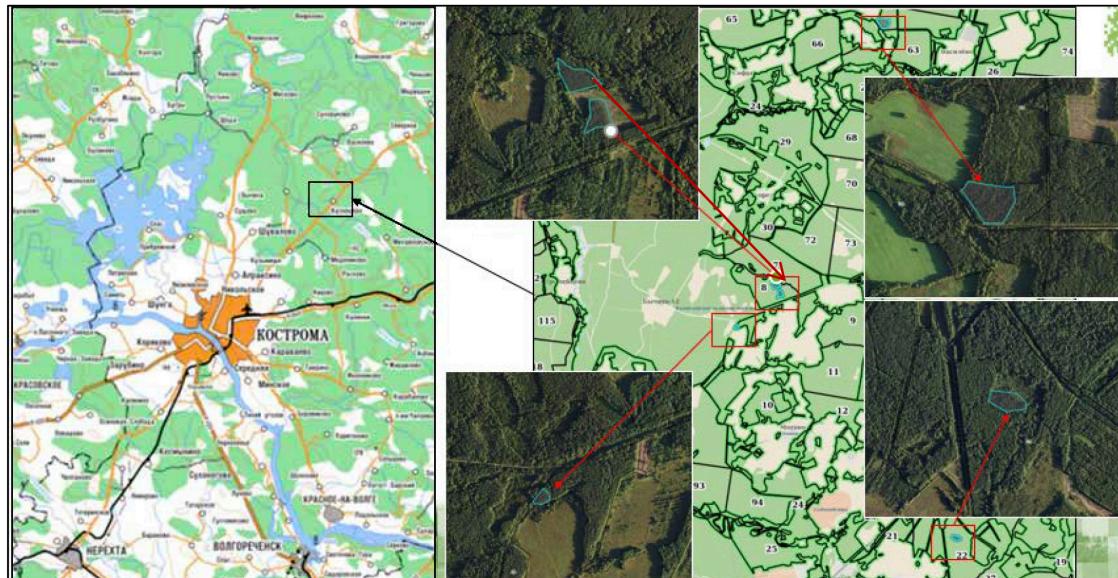
Объектом исследования альтернативного метода отвода и таксации лесосек стала территория Костромского сельского участкового лесничества Костромской области. Пять лесосек общей площадью 8,9 га (рис. 1) были отведены под сплошную рубку в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 17.10.2022 № 688. Характеристики лесосек, отведенных под сплошную рубку, представлены в табл. 1, а их пространственное размещение – на рис. 1.

Отвод производился методом сплошного перечета на четырех участках и методом закладки реласкопических площадок на одном участке [4].

**Таблица 1**  
Характеристика лесосек, отведенных под сплошную рубку

№ лесосеки	№ квартала	№ выдела	Площадь, га	Возраст	Состав	Ликвидный запас на лесосеке, м <sup>3</sup>
1	8	28	0,43	90	5Б2ОС2С1Е	154
2	22	22	1,51	110	3С2Е3Б2ОС	358
3	8	11	1,72	110	3С2Е3Б2ОС	388
4	8	15	1,38	85	5Б3ОС2С+Е	292
5	18	58	3,91	110	4Е1С4Б1ОС	769

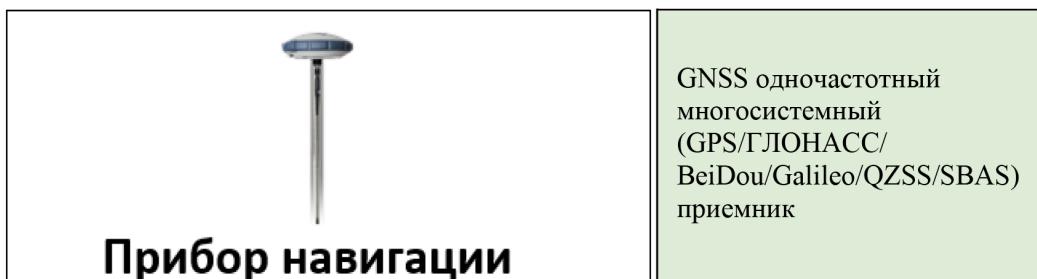
Примечание: составлена на основе данных, полученных из материалов лесоустройства Костромского сельского участкового лесничества.



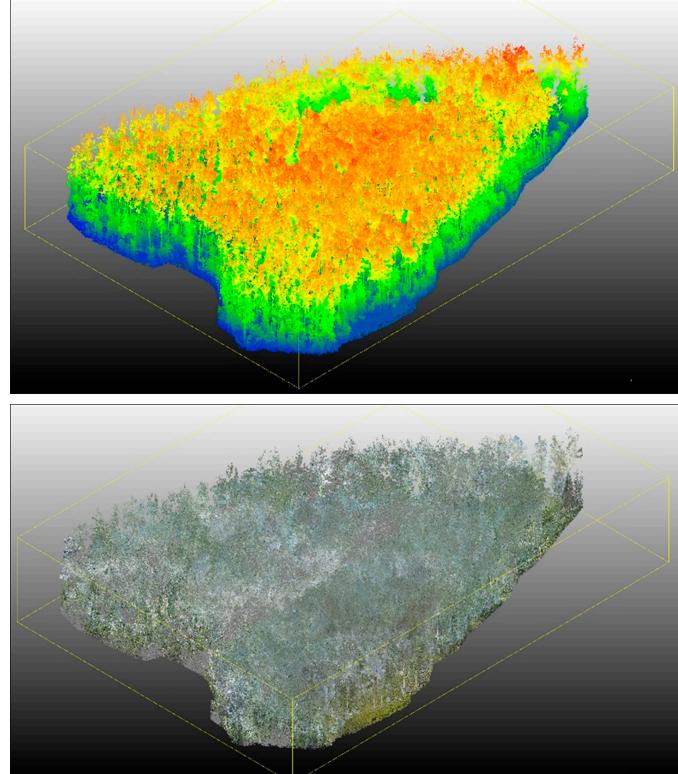
*Рис. 1. Схема расположения участков*  
Примечание: составлен авторами по данным  
дистанционного зондирования и материалам лесоустройства

	<p><b>Геоскан 401:</b>  Продолжительность полета – до 60 мин.  Максимальная протяженность маршрута – 24 км.  Площадь съемки за 1 полет – до 2,1 км<sup>2</sup>.  Максимальная взлетная масса – 9,5 кг,  масса полезной нагрузки – до 2 кг.  Размер в сложенном виде – 70×25×20 см,  в полетном – 150×150×43  Лидар – Лазерный сканер АГМ МС1.2</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*Рис. 2. Технические характеристики БПЛА*  
*Примечание: фото БПЛА Геоскан 401 сделано и дополнено*  
*техническими характеристиками В.П. Банниковым*



*Рис. 3. GNSS одночастотный многосистемный (GPS/ГЛОНАСС/BeiDou/Galileo/QZSS/SBAS) приемник*  
*Источник: фото прибора навигации сделано В.П. Банниковым*



*Рис. 4. Результат проведения съемки воздушным лазерным сканером (ВЛС)*  
*Средняя плотность 100 точек/м<sup>2</sup>; Скорость съемки ориентировочно составляет ~1 мин/га*  
*Примечание: составлен авторами по данным с опытных участков*



*Рис. 5. Получение плотного облака точек МЛС  
Примечание: составлен авторами по данным с опытных участков*

Проведение полевых измерений выполнялось с использованием двух перспективных технологий:

- 1) воздушного сканирования участков при помощи БПЛА;
- 2) наземного сканирования участков при помощи slam-сканера.

Воздушное сканирование (далее – ВЛС) проводилось беспилотным летательным аппаратом Геоскан 401 оснащенным лазерным сканером АГМ МС1.2 (рис. 2).

Время проведения сканирования состоит из следующих работ:

- подготовка БПЛА к полету (калибровка, проверка систем, подготовка полетного задания) ориентировочно составляет ~30–60 мин;
- сканирование в полете участка 1 га ориентировочно составляет ~1 мин.

Время и сроки использования воздушного судна заранее были согласованы с заинтересованными службами на два дня.

Для привязки к местности авторами был использован одночастотный GNSS-приемник, представленный на рис. 3. В результате съемки лесосек, отведенных в сплошную рубку, были получены облака точек лесных массивов, одно из которых приведено на рис. 4.

Также авторами были выполнены наземные исследования намеченных участков леса с применением мобильного лазерного сканера (МЛС) [5, 6] (рис. 5). Разработан общий алгоритм работы с наземным лазерным сканером, включающий этапы:

- мобильный лазерный сканер приводят в рабочее положение рядом с исследуемым участком;
- специалист включает прибор;
- специалист выполняет мобильное сканирование объекта;
- после того как выполнены процедуры сканирования, в камеральных условиях происходит обработка полученных данных и формирование облака точек [7–9].

Обработка облачных точек, полученных со сканера, выполнялась в специализированной программе BMSTU-LIDAR специалистами Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана [10].

Обработка данных мобильного лазерного сканирования (облака точек) – это процесс преобразования массива точек поверхности в трехмерной системе координат, полученного с помощью лазерного 3D-сканирования. Цель – создать цифровую модель объекта (насаждения), использовать данные для проектирования и анализа [11].

**Таблица 2**

Результаты обработки облачных точек, полученных со сканера

№ дерева	Диаметр (D), см	Высота (H), м	Порода	Ступень толщины
1	21,3	15,2	Б	20
2	24,3	13,5	С	24
3	29,0	26,2	Б	28
4	43,4	23,5	Б	44
5	24,3	17,5	С	24
6	15,9	19,7	Е	16
7	16,8	20,5	Б	16
8	27,0	19,9	С	28
9	34,5	30,6	Е	36
10	15,3	18,7	Б	16
11	31,4	25,0	Е	32
12	16,0	16,0	Б	16

Примечание: составлена авторами по части результатов обработки облака точек в программе BMSTU-LIDAR

Облака точек наземного лазерного сканирования имеют свои особенности:

- неупорядоченность, когда точки не связаны друг с другом и не образуют упорядоченную структуру, такую как сетка или полигоны.
- плотность – число точек в облаке может варьироваться в зависимости от разрешения сканера и расстояния до объекта. Более близкие объекты имеют большую плотность точек, чем удаленные.

Некоторые этапы обработки данных лазерного сканирования автоматизированы, а другие происходят только при участии оператора.

Некоторые этапы:

- предобработка – загрузка облака точек во внутренний формат представления, подготовка структур данных, например структур разбиения пространства, ускоряющих операции пространственного поиска [12, 13];
- обработка – применение алгоритмов обработки к загруженному облаку точек и подготовленным структурам данных. Алгоритмы могут включать фильтрацию шума, прореживание, классификацию, визуализацию и другие процедуры [14, 15].

#### *Программное обеспечение*

Для обработки данных лазерного сканирования используется специализированное программное обеспечение: BMSTU-LIDAR – комплекс модулей для обработки, моделирования и управления трехмерными облаками точек.

Также были использованы наработки искусственной нейронной сети для опре-

деления основных таксационных показателей древостоя (порода, диаметр и высота) [16–18] (табл. 2).

Время на комплексную обработку 1 га лесного массива составило примерно 3–4 ч.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Результатом обработки облаков точек, полученных при наземном лазерном сканировании, стали данные о ликвидном запасе древесины, представленные на рис. 6–10 (все рисунки подготовлены авторами по результатам обработки опытных материалов).

В табл. 3 приведены результаты сравнения точности определения ликвидного запаса насаждений при классическом отводе и таксации насаждений, и при инновационном методе (ВЛС и МЛС) [19].

Анализ данных табл. 3 показал, что при инновационном методе отвода и таксации лесосек на всех пяти лесосеках запас деловой древесины выше. Расхождение составило 89 м<sup>3</sup>. Запас, определенный инновационным методом, выше в связи с тем, что при наземном лазерном сканировании «строитель» модельные деревья, которые приближены к реальным. Арендная плата за древесину в большей степени зависит от ставок платы за единицу объема лесных ресурсов, величина которых зависит от ставки платы за плотный кубический метр деловой древесины (по категориям крупности: крупная, средняя и мелкая) и дровянной. Поэтому поступления в бюджет будут выше.

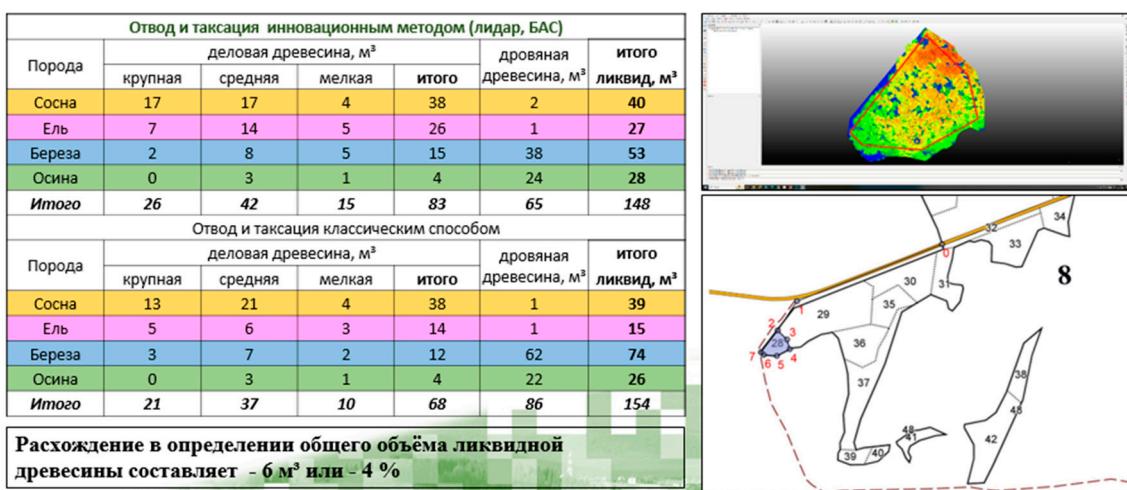


Рис. 6. Результаты обработки и сравнения данных, полученных при классическом отводе и таксации и инновационном методе (ВЛС и МЛС) на лесосеке № 1

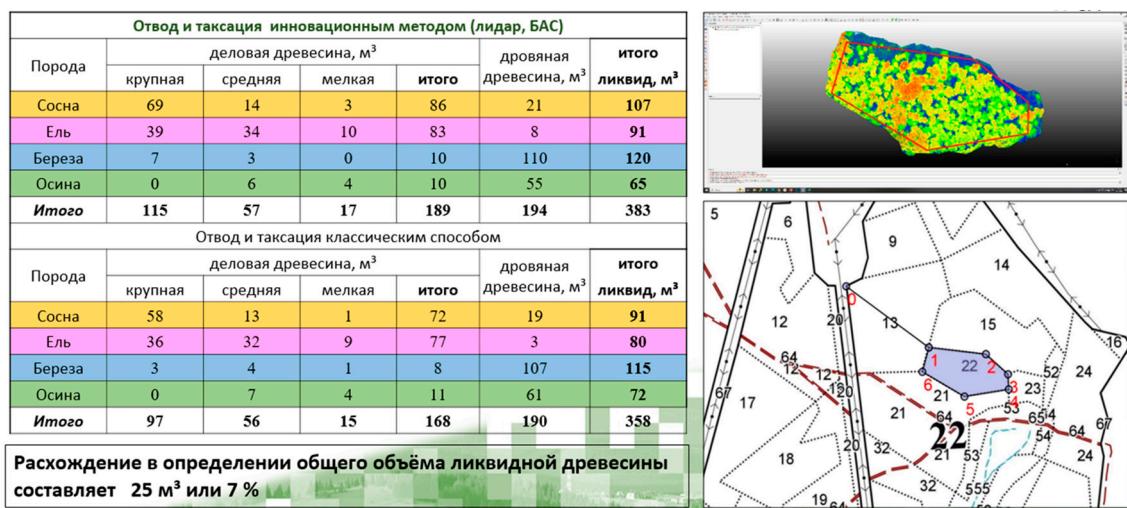


Рис. 7. Результаты обработки и сравнения данных, полученных при классическом отводе и таксации и инновационном методе (ВЛС и МЛС) на лесосеке № 2

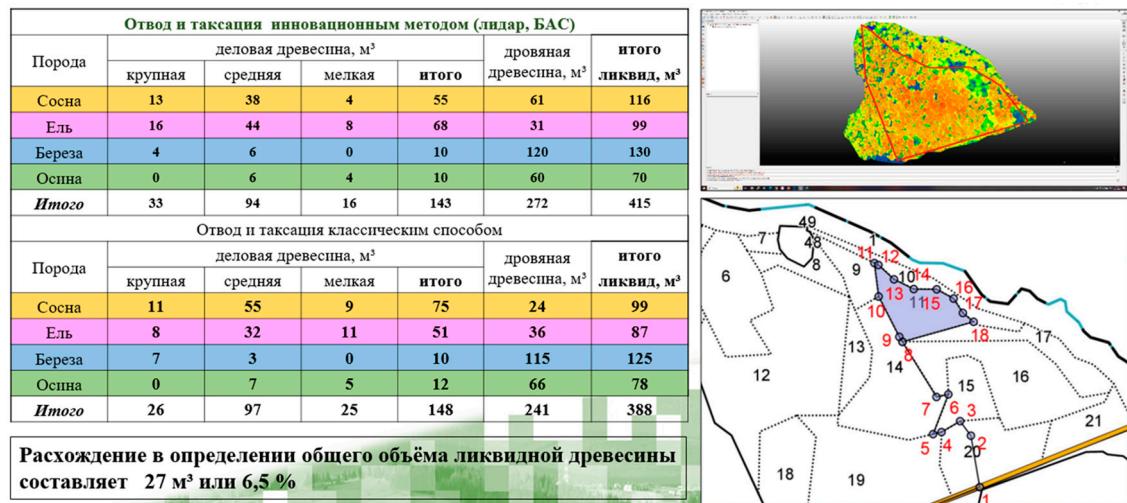


Рис. 8. Результаты обработки и сравнения данных, полученных при классическом отводе и таксации и инновационном методе (ВЛС и МЛС) на лесосеке № 3

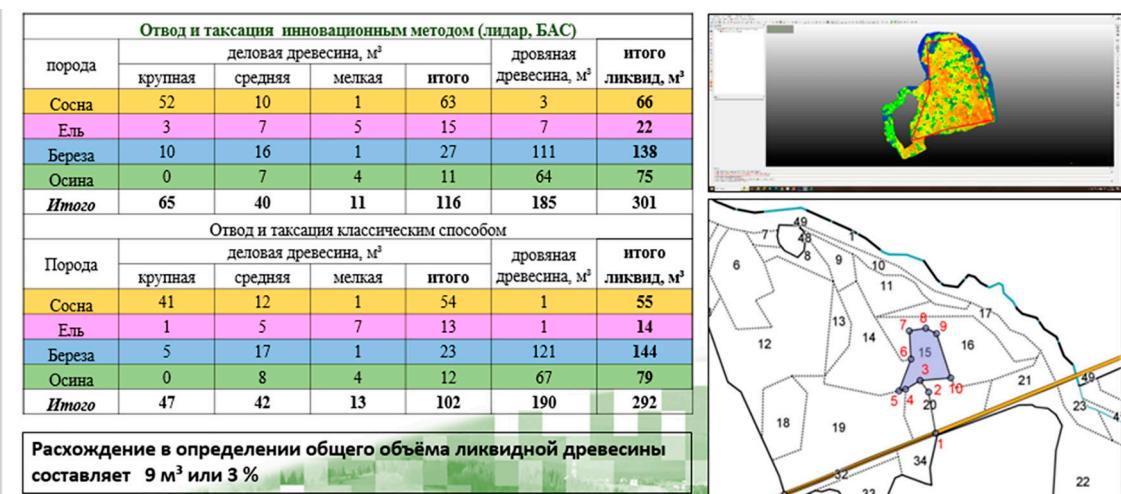


Рис. 9. Результаты обработки и сравнения данных, полученных при классическом отводе и таксации и инновационном методе (ВЛС и МЛС) на лесосеке № 4

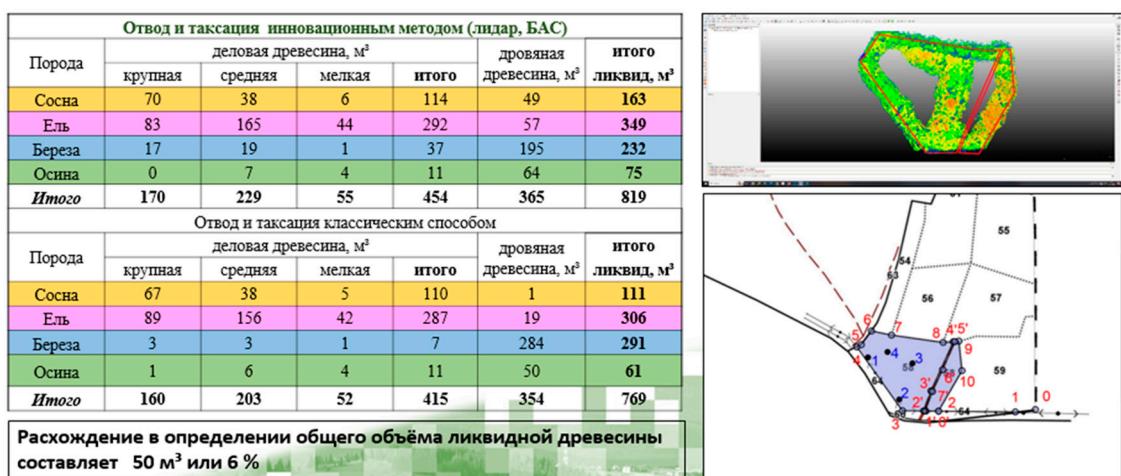


Рис. 10. Результаты обработки и сравнения данных, полученных при классическом отводе и таксации и инновационном методе (ВЛС и МЛС) на лесосеке № 5

Важным критерием принятия новых технологий или отказа от них является экономический показатель, в частности экономическая эффективность. Расчеты авторов по данным отвода и таксации лесосек на территории Костромской области показали, что примерная стоимость работ по отводу и таксации лесосек при проведении сплошных рубок составляет около 10 тыс. руб. за 1 га. Соответственно, на экспериментальную площадь в 9 га стоимость составила 90 тыс. руб.

Текущие расчеты экономической эффективности проводились без учета стоимости приборов, а заработка плата сотрудников за 1 рабочий день была принята ориентировочно 5000 руб. (при классическом методе),

ориентировочно 7500 руб. (при инновационном методе), при проведении камеральных работ была принята ориентировочно 3500 руб. (при классическом методе), ориентировочно 4000 руб. (при инновационном методе). Также не учитывались НДС и остальные налоговые издержки.

Учитывая вышеизложенное, следует отметить, что по времененным затратам, проведение вышеуказанных работ «инновационным методом» более экономически привлекательно (уменьшение на 29 %), и способно снизить финансовые затраты при увеличении объема работ, возникает возможность конкурировать начальной ценой за 1 единицу работ по отношению к «классическому методу» [20, 21].

Таблица 3

Результаты сравнения точности определения ликвидного запаса насаждений при классическом отводе и таксации и инновационном методе (ВЛС и МЛС)

Метод	Деловая древесина, м <sup>3</sup>			Дровяная древесина, м <sup>3</sup>	Итого ликвид, м <sup>3</sup>
	крупная	средняя	мелкая		
<b>Лесосека 1, квартал 8, выдел 28, площадь – 0,43 га</b>					
Инновационный (ВЛС и МЛС)	26	39	14	79	69
Классический	21	34	9	64	90
Расхождение 4%					-6
<b>Лесосека 2, квартал 22, выдел 22, площадь – 1,51 га</b>					
Инновационный (ВЛС и МЛС)	115	51	13	179	204
Классический	97	49	11	157	201
Расхождение 7%					25
<b>Лесосека 3, квартал 8, выдел 11, площадь – 1,72 га</b>					
Инновационный (ВЛС и МЛС)	33	88	12	133	282
Классический	26	90	19	135	253
Расхождение 7%					27
<b>Лесосека 4, квартал 8, выдел 15, площадь – 1,38 га</b>					
Инновационный (ВЛС и МЛС)	65	33	7	105	196
Классический	47	34	9	90	202
Расхождение 3%					9
<b>Лесосека 5, квартал 18, выдел 58, площадь – 3,91 га</b>					
Инновационный (ВЛС и МЛС)	170	229	55	454	365
Классический	160	203	52	415	354
Расхождение 6,5%					50
<b>Все участки площадь – 8,95 га</b>					
Инновационный (ВЛС и МЛС)	409	440	101	950	1116
Классический	351	410	100	861	1100
Расхождение 5%					105

Примечание: составлена авторами по результатам точности определения ликвидного запаса насаждений при классическом отводе и таксации и инновационном методе (ВЛС и МЛС)

**Таблица 4**

Финансовые затраты на отведение пяти лесосек общей площадью 9 га

Метод	Полевые работы				Камеральные работы			Итого		
	количество сотрудников	количество рабочих дней	заработная плата, руб.	количество сотрудников	количество рабочих дней	заработная плата, руб.	количество сотрудников	количество рабочих дней	заработная плата	
Инновационный метод	2	2	30000	1	3	12000	3	5	42000	
Классический метод	2	5	50000	1	2	7000	3	7	57000	

**Таблица 5**

Положительные и отрицательные моменты использования инновационного метода отвода и таксации лесосек

Использование инновационного метода отвода и таксации лесосек	
Положительные моменты	Отрицательные моменты
1. Сокращение временных затрат. 2. Точность определения таксационных характеристик. 3. Экономическая эффективность при проведении работ. 4. Возможность ускоренной подготовки данных по отводу и таксации лесосек в Федеральную геоинформационную систему лесного комплекса (ФГИС ЛК) (возможно при разработке специализированного софта с последующей интеграцией). 5. Подготовка и контроль данных для бортового компьютера-харвестера (возможно при разработке специализированного софта с последующей интеграцией). 6. Многофункциональность использования оборудования. 7. Возможность использования оборудования как совместно, так и раздельно	1. Стоимость оборудования (на 2025 г.). 2. Согласование полета со службами (временные неудобства, не несущие финансовых затрат). 3. Погодные условия: снег, дождь (относится к наземному сканеру) и скорость ветра более 10 м/с (относится к БАС). 4. Отсутствие единого программного продукта для обработки данных и получения выходного материала.

Вывод: стоимость работ по отводу и таксации лесосек при проведении сплошных рубок «инновационным методом» на территории Костромской области ориентировочно можно снизить до 8500 руб. за 1 га. В табл. 4 представлены финансовые затраты на все пять отведенных лесосек общей площадью 9 га.

Анализ использования инновационного метода отвода и таксации лесосек позволил выявить положительные и отрицательные моменты, представленные в табл. 5.

### Заключение

Отвод и таксация лесосек – один из самых трудоемких и требующих точности видов лесохозяйственных работ. Современные системы наземного и воздушного сканирования позволяют не только снизить трудоемкость работ, но и повысить точность определения таксационных показателей, одним из которых является ликвидный запас насаждений. О повышении точности свидетельствуют результаты сравнения точности определения ликвидного запаса насаждений при классическом отводе и таксации, и инновационном методе (ВЛС и МЛС). Анализ положительных и отрицательных моментов использования инновационного метода отвода и таксации лесосек подтверждает пригодность, но только при внесении соответствующих изменений в законодательные акты РФ и дальнейшего развития данного метода.

### Список литературы

1. Ковязин В.Ф., Виноградов К.П., Киценко А.А., Васильева Е.А. Воздушное лазерное сканирование для уточнения таксационных характеристик древостоев // Известия вузов. Лесной журнал. 2020. Вып. 6. С. 42–54. DOI: 10.37482/0536-42-542020-6-42-54.
2. Шайтура С.В., Шайтура Н.С., Митрофанов Е.М., Мухин А.С., Устинов С.М. Применение наземных лазерных сканеров для мониторинга леса // Природообустройство. 2024. № 3. С. 124–132. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-4-124-132.
3. Усольцев В.А. Лазеры в лесном деле: монография. Киров: Изд-во МЦИТО, 2025. 299 с. ISBN: 978-5-907974-80-7. [Электронный ресурс]. URL: <https://s.erudit.org/fe/4456260/> (дата обращения: 15.09.2025).
4. Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Федоров С.В., Бердов А.М., Косицын В.Н., Югов А.Н., Кинигопуло П.С. Аналитический обзор количественных и качественных характеристик лесов Российской Федерации: итоги первого цикла государственной инвентаризации лесов // Лесохозяйственная информация. 2022. № 1. С. 5–34. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.1.01.
5. Кравченко П.П., Бурцев Д.С. Цифровые технологии в лесной промышленности: перспективы и барьеры // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 2. С. 1029–1050. DOI: 10.18334/vinec.12.2.114874.
6. Данилин И.М., Лапко В.А., Кузнецов А.А., Бабий И.А., Вайсман А.О. Инновационный учебно-научный центр мониторинга лесных ресурсов Сибири на основе лазерной и микроволновой аэрокосмической съемки // Сибирский аэрокосмический журнал. 2024. Т. 25. № 1. С. 8–17. DOI: 10.31772/2712-8970-2024-25-1-8-17.
7. Ченушкина С.В., Кручинин И.Н. 3D-моделирование лесотранспортной сети в условиях цифровой трансформации лесного хозяйства // Тенденции развития науки и образования. 2022. Т. 88. № 3. С. 158–160. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-4-132-137.
8. Черниховский Д.М. Теория и методы инвентаризации лесов на основе данных дистанционного зондирования земли, цифрового моделирования рельефа и ГИС-технологий: дис. ... докт. сельхоз. наук. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2020. 386 с. URL: <https://spbftu.ru/wp-content/uploads/2019/12/Dissertaziya-ChernikhovskijDM.pdf> (дата обращения: 20.09.2025).
9. Tompalski P., White J.C., Coops N.C., Wulder M.A. Demonstrating the transferability of forest inventory attribute models derived using airborne laser scanning data // Remote Sensing of Environment. 2019. Vol. 227. P. 110–124. DOI: 10.1016/j.rse.2019.04.006. Лицензия CC BY-NC-ND 4.0.
10. Dong P., Chen Q. LiDAR remote sensing and applications. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2018. 200 p. Annals of GIS. URL: <https://www.routledge.com/LiDAR-Remote-Sensing-and-Applications/Dong-Chen/p/book/9781138747241> (дата обращения: 15.09.2025). DOI: 10.1080/194756683.2018.1471522. ISBN: 9781138747241.
11. Беляевский К.О. Методы и алгоритмы формирования использования октодерева для обработки облака точек лазерного сканирования в ограниченном объеме оперативной памяти: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2020. 204 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dissercat.com/content/metody-i-algoritmy-formirovaniya-i-ispolzovaniyu-oktoderiva-dlya-obrabotki-oblaka-tochek-laz> (дата обращения: 24.09.2025).
12. Разжигаева О.А., Воробьев И.Б., Громов А.М., Моисеев П.А., Нагимов З.Я. Особенности формирования древостоев в экотоне лес – горная тундра (г. Дальний Таганай, Южный Урал) // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 2 (89). С. 48–57. DOI: 10.51318/FRET.2024.89.2.006.
13. Tkacheva A.A., Danilin I.M. The use of laser scanning data for modelling forest landscape scenes // J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol. 2017. № 10 (6). P. 727–740. DOI: 10.17516/1999-494X-2017-10-6-727-740.
14. Favorskaya M.N., Tkacheva A.A., Danilin I.M., Medvedev E.M. Fusion of airborne LiDAR and digitalphotography data for tree crowns segmentation and measurement InIntelligent Interactive Multimedia Systemsand Services. Smart Innovation, Systems & Technologies. Vol. 40 / E. Damiani, R.J. Howlett, L.C. Jain, L. Gallo, G. De Pietro (Eds.). Springer Int. Publ., Switzerland, 2015. P. 191–201. DOI: 10.1007/978-3-319-19830-9\_18.
15. Госьков Е.А., Воробьева Т.С., Воробьев И.Б. Лазерное сканирование в исследовании структуры древостоев верхней границы леса на южном Урале // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 2 (81). С. 4–10. DOI: 10.51318/FRET.2022.63.84.001.
16. Беляев Н.Л., Сафаргалиева С.Ф. Новейшие технологии в таксации заготовленных лесоматериалов как элемент промышленного лесного хозяйства // Лесной вестник. 2020. Т. 24. № 3. С. 18–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-18-25.
17. Побединский В.В., Теринов Н.Н., Кручинин И.Н., Берстенев А.В., Чевардина А.Ю., Ковалев Р.Н. Нейросетевая технология моделирования таксационных показателей лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2024. № 1 (61). С. 72–79. DOI: 10.18324/2077-5415-2024-1-72-79.
18. Мельников А.В., Полищук Ю.М., Русанов М.А., Аббазов В.Р., Кочергин Г.А., Куприянов М.А., Байсалямова О.А.,

- Соколов О.И. Сравнительный анализ нейросетевых моделей для картографирования лесных рубок по летним космическим снимкам // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24. № 5. С. 806–814. DOI: 10.17586/2226-1494-2024-24-5-806-814.
19. Юнсон Э.В. Мониторинг лесного хозяйства с помощью беспилотных летательных систем // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 5 (143). URL: <https://research-journal.org/archive/5-143-2024-may/10.60797/IRJ.2024.143.52> (дата обращения: 20.10.2025). DOI: 10.60797/IRJ.2024.143.52.
20. Звягинцев В.Б., Малашевич Д.Г., Жданович С.А. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве для проведения лесозащитных мероприятий // Труды БГТУ. Сер. 5. Экономика и управление. 2023. № 2 (274). С. 43–49. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-6.
21. Листова М.А. Проблемы, возникающие при формировании расчетов стоимости лесосечных работ подготовительного цикла строительства и реконструкции объектов нефтегазового комплекса в Российской Федерации // Экспозиция Нефть Газ. 2020. № 5. С. 92–98. DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10104.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.