

**ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,  
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,  
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.47>

**ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЛЕСНОГО МАССИВА**

Научная статья

**Юнсон Э.В.<sup>1,\*</sup>, Мельничук Д.Ю.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Сиб-авто, Санкт-Петербург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (yunson[at]bk.ru)

**Аннотация**

Совершенствование управления лесным комплексом невозможно без наличия актуальной и достоверной информации о лесах. Давность лесоустройства на большей части территории лесного фонда превышает установленный ревизионный период. Современные объемы лесостроительных работ не успевают обеспечить сокращения срока устаревания лесостроительных материалов.

Решение проблемы обеспечения актуальной и достоверной информации о лесных ресурсах традиционными методами является невозможным в разумные сроки в силу высокой трудо- и финансовозатратности, отсутствия достаточных кадровых ресурсов. Улучшить показатели дешифрирования насаждений позволит внедрение новых методов дешифровочной таксации лесов, основанных на применении современных технологий сканирования земной поверхности. В рамках проведения различных работ в лесных массивах, отвечающих коммерческим и государственным интересам, требуется оценить характер и объем возможной вырубki лесных насаждений, так как это отвечает требованиям законодательства и имеет под собой логические основания. Отсюда исходит важность определения объемов древесины на выбранном участке. Для того чтобы обеспечить лучший подход к выполнению подобной задачи, считается наиболее допустимым и эффективным использование дронов и систем мобильного наземного лазерного сканирования, которые могли бы с высокой точностью выполнить задачу определения и оценки видового разнообразия лесного массива. Данный подход в ходе работы был опробован на практике, что позволило подтвердить его эффективность. Применение лидарных систем сканирования является важным нововведением последнего времени, сама конструкция отработана на ряде примеров в отечественной практике и за рубежом.

Улучшению сейчас, в основном, подвергается техническая часть подбор оборудования для использования в лесном хозяйстве, (и иных отраслях где необходимы достоверные и очень точные пространственные измерения данных) при выполнении работ по отводу и таксации лесосек, закладка тренировочных полигонов при подготовительных работах (получение цифровых двойников тренировочных полигонов, лесосек), проверка качества лесостроительных работ, определение объемов заготовленной древесины на нижних и верхних складах. В этой работе речь идет о системе обработки, так как техническая часть не является значительной и не представляет научного интереса. В нашем случае обработка данных производилась специально обученной нейросетью, которая демонстрировала высокую результативность оценки, подтверждению более классическими методами, в том числе ручным пересчетом. Разработанный алгоритм позволяет эффективно работать с разными типами древостоев и эффективно отделять их от общей массы лесного массива, что позволяет не допустить уничтожение редких или не квотированных видов. В ходе исследования была получена цифровая модель местности.

**Ключевые слова:** таксация лесосек, цифровая модель рельефа, цифровая модель поверхности, цифровая модель высоты лесного полога, лесной массив, мобильное наземное лазерное сканирование.

**THE DIGITAL DOUBLE OF THE WOODLAND**

Research article

**Yunson E.V.<sup>1,\*</sup>, Melnichuk D.Y.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> St. Petersburg State Forestry Engineering University Roslesinforng North-Western Branch, Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Sib-auto, Saint-Petersburg, Russian Federation

\* Corresponding author (yunson[at]bk.ru)

**Abstract**

Improvement of forest management is impossible without the availability of up-to-date and reliable information on forests. The age of forest inventory in most parts of the forest fund exceeds the established revision period. Modern volumes of forest inventory works do not have time to reduce the ageing period of forest inventory materials.

The solution of the problem of providing up-to-date and reliable information on forest resources using traditional methods is impossible within a reasonable period of time due to high labour and financial costs, lack of sufficient human resources. The introduction of new methods of forest inventory interpretation based on the use of modern technologies of scanning the earth surface will allow to improve the parameters of interpretation of plantations. Within the framework of various works in forest areas that meet commercial and state interests, it is necessary to evaluate the nature and volume of possible cutting of forest plantations, as it meets the requirements of the legislation and has a logical basis. Hence, the importance of determining the volume of timber in the selected area. In order to provide a better approach to this task, it is believed to be most appropriate

and effective to use drones and mobile terrestrial laser scanning systems, which could accurately fulfil the task of determining and assessing the species diversity of the forest area. This approach was tested in the course of the work and its effectiveness was confirmed. The use of lidar scanning systems is an important recent innovation; the design itself has been worked out on a number of examples in domestic practice and abroad.

Nowadays, the technical part is mainly subject to improvement, selection of equipment for use in forestry (and other sectors where reliable and very accurate spatial data measurements are required) when performing harvesting and taxation of harvesting areas, establishment of training polygons during preparatory works (obtaining digital doubles of training polygons, cutting areas), quality control of forest inventory works, determination of harvested timber volumes in lower and upper storages. This work is about the processing system, as the technical part is not significant and is not of scientific interest. In our case, data processing was performed by a specially trained neural network, which demonstrated high performance of estimation, confirmed by more classical methods, including manual recalculation. The developed algorithm allows to work efficiently with different types of stands and effectively separate them from the general mass of the forest massif, which prevents the destruction of rare or unquantified species. A digital terrain model was obtained in the course of the study.

**Keywords:** taxation of cutting areas, digital elevation model, digital surface model, digital forest canopy height model, forest massif, mobile terrestrial laser scanning.

## Введение

Многие виды работ, связанные с эксплуатацией недр, а также так или иначе затрагивающих подземное пространство приводят к тому, что требуется воздействовать на сформировавшуюся в определённой местности экосистему, так или иначе нанося вред природному разнообразию. Несмотря на явный факт негативного воздействия, без него осуществить работы по прокладке коммуникаций или добычи полезных ископаемых невозможно. Речь идет только о снижении степени воздействия на экологию, создания наиболее благоприятных условий для проведения работ.

Оценка участка вырубki может быть полезна не только с научной, но и с коммерческой точки зрения. Таксацию обычно проводят специализированные организации, которые находятся в тесной связи с государством и имеют на это специальные разрешения.

За время развития этой науки сформировались конкретные методики, которые развивались и качественно изменились с момента появления первых практических изысканий в середине прошлого века [10].

Таксация является комплексным явлением, которая включает не только снимки местности, но и проведение изысканий ботанического характера, что требует наличия специалистов на участке проведения операции [7]. Но без возможности оперативно получить начальные сведения о составе лесного массива время проведения существенно увеличивается. После проведения изысканий обычно формируется таблица данных, в которую заносятся данные, характеризующие выделенный участок.

При проведении оценки использовалось сочетание методик, не только ручной пересчет, но и высчитывание результатов при помощи нейросетей, что позволило сделать результат точнее, чем ранее полученный в той же местности, при только ручном пересчете. Важно указать на то, что несмотря на наличие справочных материалов касаемо той или иной местности, они не всегда отражают на практике реальное положение дел, что также является доводом в пользу того, что получение новых данных является актуальной задачей [6]. Собранные в реальных полевых условиях сведения стали основой для обучения нейросетевой модели, которая ускорила обработку данных из-за наличия уже просчитанного шаблона, который наиболее подходит для описания участка. В результате, происходит скорее не формирование новой картины для местности, за счет добавления новых элементов, а скорее, исключение из нее не подходящих под конкретный участок.

В рамках формирования объективных сводок все равно необходимо осуществление полевых работ с личным присутствием в выбранной зоне.

Кроме того, пока что нельзя отказаться от ручного пересчета и оценки характеристик деревьев.

В частности, фотографирование до сих пор осуществляется человеком, несмотря на то, что использование дронов сейчас происходит активнее.

Это свидетельствует о необходимости совершенствования систем лазерного сканирования, в условиях лесного массива, так как при передвижении на уровне стволов деревьев возможны инциденты, угрожающие целостности оборудования [4]. В случае высотного наблюдения, с позиции над кронами деревьев, дроны доказали свою эффективность и позволили усовершенствовать процесс пересчета за счет ускорения этой операции, а также позволили обнаружить ряд ошибок, которые были допущены при обработке данных с земли. Основным методом работы с лесным массивом является лазерное сканирование участка и формирование карты местности с учетом ее особенностей [2].

В ходе данного исследования сканирование производилось с помощью квадрокоптера DJI Matrice 350 RTK и портативной сканирующей системы LiGrid H300. Можно выделить еще приемник сигнала, позволяющий осуществлять управление в режиме реального времени, а также LiGrid – инструмент для сбора и анализа 3D данных в движении, работающий на основе технологии SLAM (Сбор данных и построение карты без сигнала GPS и марок), который позволил получить итоговую модель высокой точности. Кроме того, осуществлялась фотосъемка местности синхронизированной панорамной камерой Insta 360 One R. Lifuser BP позволяющей синхронизировать сразу три вида данных: облако точек, траекторию и видеоряд [3]. Цифровая камера позволяет получать высококачественный фото-видео ряд для раскраски облика точек в реальные цвета объектов, анализа и удобного просмотра на всех этапах проекта. Движение дрона осуществилось на высоте 200 метров от кроны деревьев, что позволило получить четкую картину и подробное представление о характере местности.

Для проверки эффективности системы методика было решено применить на тренировочно-дешифровочном пробном полигоне.

Был проведен ряд полевых экспериментов по верификации таксационных показателей лесных насаждений, получаемых с использованием ручного мобильного лазерного сканера по технологии, с данными полученными в ходе сплошного перечета. Участок для теста был выбран из-за разнообразного содержания пород на данном участке, сложностью рельефа и экономической целесообразностью [9]. Проверка гипотезы новой модели процесса обработки данных в рамках таксации насаждения осуществлялась полевым методом. Выбранный сканер позволяет достичь требуемого качества полученных данных, что важно для исключения ошибки при их обработке, а также создания реалистичной модели местности (рис. 1).

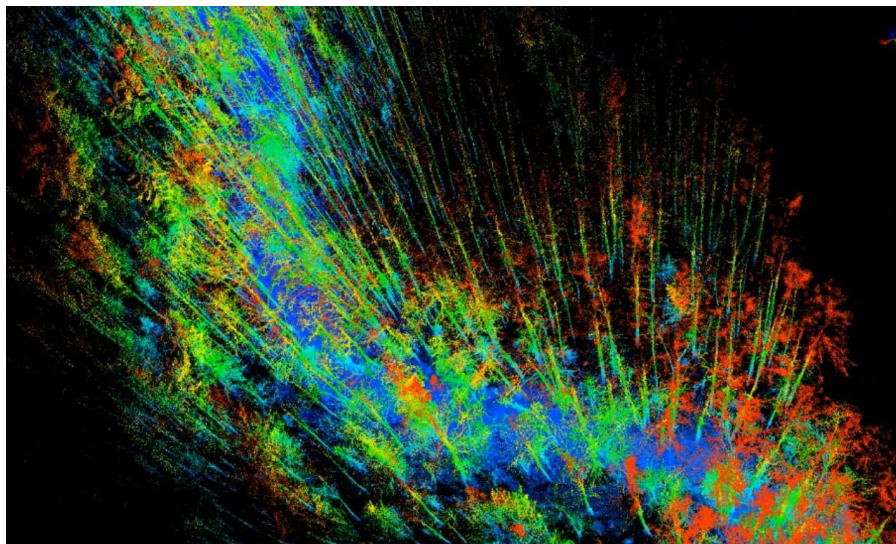


Рисунок 1 - Модель местности после 12 минут работы системы  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.47.1>

Процесс сканирования можно разложить на несколько типовых задач. Первой из них является настройка оборудования, так как без этого нельзя гарантировать достоверность данных.

Сплошной пересчет деревьев позволяет получить реальные данные с большой степенью достоверности, что дает возможность получить базис для сравнения. Особенно важно на этом этапе получить точные сведения, так как иначе они не могут являться эталоном. Следующим этапом происходит непосредственно сбор данных при помощи беспилотника и портативной сканирующей системы LiGrip H300, создание цифровой модели, для последующего анализа и оценки насаждения. Отличительной особенностью сканирования при помощи беспилотника является тот факт, что это сканирование происходит быстрее. В случае проведения сканирования наземным методом, скорость передвижения составляет 3 км/ч, тогда как дрон с полезной нагрузкой в качестве сочетания Лидар+камера LiAir X3 позволяет осуществлять сканирование на скорости 6-7 км/ч. В процессе сканирования для оценки насаждения применяется метод создания модели за счет облака точек, а также анализ получившейся картины за счет сопоставления с существующей базой данных о насаждении.

В итоге, в ходе обработки данных была получена ведомость всех уникальных деревьев ТДПП с условными номерами, с основными таксационными характеристиками, координатами каждого ствола дерева. Помимо того, за счет применения новой модели удалось ускорить сбор данных, а также снизить получившийся объем массива данных, представляющих модель участка. Наземный пересчет позволил получить данные для сопоставления, на основе которых была создана контрольная модель, в результате сопоставления с получившейся при использовании беспилотника и мобильной наземной сканирующей системы. Оценка качества происходит за счет прямого сопоставления моделей и анализа точек расхождения. За счет проведенной работы удалось заключить, что точность модели составляет 90%. В процессе доработки можно достичь еще больших успехов. Причинами отклонений между показателями могут быть: случайные ошибки при измерении наземным методом, человеческий фактор измерения высот, диаметров на больших площадях.

В целом, верификация результатов предлагаемой технологии показала, что ошибка при определении таксационных параметров не превышает нормативно допустимых пределов.

### **Основные результаты и обсуждение**

Использование современных технологий позволило получить актуальные данные о местности. Технология продемонстрировала свою эффективность при повторной таксации на следующем участке в той же местности, за счет ускорения процесса составления плана и подсчета составляющих лесного массива. Использование материалов лидарной съемки в сочетании с мультиспектральной камерой высокого разрешения позволяет: Получать дополнительную информацию о лесных насаждениях; Повысить точность определения отдельных таксационных показателей в сочетании с другими наземными и дешифровочными способами; Повысить качество контурного дешифрирования; Автоматизировать измерение и расчет ряда таксационных показателей; Повысить точность и

сократить процент ошибок за счет минимизации субъективных факторов; Проектировать хозяйственную деятельность на основе более точной информации о рельефе лесных участков.

Техническая составляющая исследования не требует доработки, за исключением камеры, так как более дорогая модель могла бы позволить получить более точные сведения касательно характеристики участка и его видовом разнообразии. Сведения подобного характера пригодились бы экологам и другим ученым, заинтересованным в изучении экосистемы конкретного района. В заключение, можно констатировать преимущества технологии обеспечивают хорошие перспективы для ее применения в России.

### Заключение

Обработанные данные воздушного лазерного сканирования позволяют говорить о создании «цифрового двойника леса». Это, в свою очередь, находит практическое применение в контроле за использованием лесных участков, планировании лесозаготовок, а также для планирования объектов лесной инфраструктуры; применение этой технологии возможно при сплошном перечете линейных объектов с использованием нескольких типов сканеров.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Артемьев О.С. Методика дистанционной оценки текущего прироста по высоте у растущих деревьев хвойных пород / О.С. Артемьев // ХБЗ. — 2022. — №3. — с. 182
2. Беляев Н.Л. Новейшие технологии в таксации заготовленных лесоматериалов как элемент прецизионного лесного хозяйства / Н.Л. Беляев, С.Ф. Сафаргалиева // Вестник МГУЛ. — Лесной вестник. — 2020. — №3. — с. 20
3. Бойко Е.С. Цифровое моделирование древесно-кустарниковой растительности аккумулятивных берегов по данным воздушного лазерного сканирования / Е.С. Бойко, А.В. Караган // Вестник СГУГиТ. — 2021. — №2. — с. 104
4. Галактионов О.Н. К вопросу создания универсального таксационного инструмента / О.Н. Галактионов, Ю.В. Суханов, А.С. Васильев [и др.] // ИВД. — 2022. — №4. — с. 5
5. Демидов В.Э. Применение воздушного лазерного сканирования для картирования рельефа, поиска следов антропогенного воздействия и изучения растительного покрова на территории приокско-террасного государственного природного биосферного заповедника / В.Э. Демидов // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. — 2021. — №28. — с. 232
6. Кабонен А.В. Оценка биометрических характеристик деревьев по данным наземного lidar и разносезонной аэрофотосъемки в искусственных насаждениях / А.В. Кабонен, Н.В. Иванова // Заповедная наука. — 2023. — №1. — с. 65
7. Ковязин В.Ф. Воздушное лазерное сканирование для уточнения таксационных характеристик древостоев / В.Ф. Ковязин, К.П. Виноградов, Е.А. Васильева [и др.] // Известия ВУЗ. Лесной журнал. — 2020. — №6. — с. 43.
8. Тартаковская М.В. Методы оценки пробных площадей на примере архангельской области / М.В. Тартаковская // Научные известия. — 2022. — №26. — с. 297
9. Усольцев В.А. Разработка модели биомассы *Pinus* L. и *Abies* L. для региональных условий Евразии / В.А. Усольцев, И.С. Цепордей, И.М. Данилин // Известия ВУЗов. Лесной журнал. — 2022. — №6. — с. 39
10. Шевелев С.Л. Нормативная база для оценки лесосек в Сибири / С.Л. Шевелев, В.Н. Немич, И.А. Воробьева [и др.] // ХБЗ. — 2023. — №1. — с. 75

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Artem'ev O.S. Metodika distancionnoj ocenki tekushchego prirosta po vysote u rastushchih derev'ev hvoynyh porod [The method of remote assessment of the current height increase in growing coniferous trees] / O.S. Artem'ev // HBZ. — 2022. — №3. — p. 182 [in Russian]
2. Belyaev N.L. Novejshie tekhnologii v taksacii zagotovlennykh lesomaterialov kak element precizionnogo lesnogo hozyajstva [The latest technologies in the taxation of harvested timber as an element of precision forestry] / N.L. Belyaev, S.F. Safargaliev // Vestnik MGUL [Bulletin of MSUL]. — Lesnoj vestnik [Forest Bulletin]. — 2020. — №3. — p. 20 [in Russian]
3. Bojko E.S. Cifrovoe modelirovanie drevesno-kustarnikovej rastitel'nosti akkumulyativnykh beregov po dannym vozdušnogo lazernogo skanirovaniya [Digital modeling of tree and shrub vegetation of accumulative shores according to the data of the air laser scanning] / E.S. Bojko, A.V. Karagyan // Vestnik SGUGiT [Bulletin of SSUGiT]. — 2021. — №2. — p. 104 [in Russian]
4. Galaktionov O.N. K voprosu sozdaniya universal'nogo taksacionnogo instrumenta [Towards the creation of a universal taxation tool] / O.N. Galaktionov, YU.V. Suhanov, A.S. Vasil'ev [et al.] // IVD. — 2022. — №4. — p. 5 [in Russian]
5. Demidov V.E. Primenenie vozdušnogo lazernogo skanirovaniya dlya kartirovaniya rel'efa, poiska sledov antropogennogo vozdejstviya i izucheniya rastitel'nogo pokrova na territorii prioksko-terrasnogo gosudarstvennogo prirodnoho biosfernogo zapovednika [The use of aerial laser scanning for mapping the relief, Polish traces of anthropogenic impact and studying vegetation cover on the territory of the Prioksko-Terrasny State Natural Biosphere Reserve] / V.E. Demidov // Trudy

Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P. G. Smidovicha [Proceedings of the Mordovian State Nature Reserve named after P. G. Smidovich]. — 2021. — №28. — p. 232 [in Russian]

6. Kabonen A.V. Ocenka biometricheskikh harakteristik derev'ev po dannym nazemnogo lidar i raznosezonnij aerofotos"emki v iskusstvennyh nasazhdeniyah [Assessment of the biometric characteristics of trees according to the data of the ground leader and multi-season aerial photography in art structures] / A.V. Kabonen, N.V. Ivanova // Zapovednaya nauka [Conservation science]. — 2023. — №1. — p. 65 [in Russian]

7. Kovyazin V.F. Vozdushnoe lazernoe skanirovanie dlya utocneniya taksacionnyh harakteristik drevostoev [Aerial laser scanning to clarify the taxational characteristics of stands] / V.F. Kovyazin, K.P. Vinogradov, E.A. Vasil'eva [et al.] // Izvestiya VUZ. Lesnoj zhurnal Proceedigns of UNIVERSITY. Forest Magazine]. — 2020. — №6. — p. 43 [in Russian].

8. Tartakovskaya M.V. Metody ocenki probnyh ploshchadej na primere arhangel'skoj oblasti [Methods of evaluation of trial areas on the example of the Arkhangelsk region] / M.V. Tartakovskaya // Nauchnye izvestiya [Scientific news]. — 2022. — №26. — p. 297 [in Russian]

9. Usol'cev V.A. Razrabotka modeli biomassy picea l. I abies l. Dlya regional'nyh uslovij Evrazii [Development of the picea l biomass model. I abies l. For the regional conditions of Eurasia] / V.A. Usol'cev, I.S. Cepordej, I.M. Danilin // Izvestiya VUZov. Lesnoj zhurnal [News of universities. Forest Magazine]. —2022. — №6. — p. 39 [in Russian]

10. SHevelev S.L. Normativnaya baza dlya ocenki lesosek v Sibiri [News of universities. Forest Store] / S.L. SHevelev, V.N. Nemich, I.A. Vorob'eva [et al.] // HBZ. — 2023. — №1. — p. 75 [in Russian]