

лактики грибковых заболеваний;

– использование акарицидов (*Фитоверм, Оберон*) для борьбы с клещами;

– применение инсектицидов (*Актара, Конфидор*) против щитовки и долгоносиков;

– повышение иммунитета растений путем внесения калийно-фосфорных удобрений и использования стимуляторов роста.

Таким образом, изменение климата способствует увеличению заболеваемости и численности вредителей на декоративных кустарниках, таких как, бересклет. Для эффективного сохранения декоративности растения необходимо регулярно проводить профилактические мероприятия, своевременно выявлять поражения и применять соответствующие меры борьбы.

Внедрение комплексного подхода позволит минимизировать потери в зеленых насаждениях и повысить устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирзаев М.М. Основы защиты растений. Ташкент, 2019.
2. Каримов Ш.А. Болезни пищевых и плодовых растений и методы борьбы с ними. Самарканд, 2021.
3. Сиддиков А.Н. Фитопатология деревьев и кустарников. Ташкент, 2020.

УДК 630*522:630*587.5

Е.А. Шульга, асп.;
И.В. Толкач, доц., канд. с.-х. наук
(кафедра лесоустройства, БГТУ)

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ ЗА РУБЕЖОМ

Для организации и ведения лесного хозяйства, рационального использования, сохранения и воспроизводства лесов, необходимы самые разнообразные сведения, характеризующие лесной фонд. Наличие оперативной и достоверной информации о состоянии лесов, изменении ресурсного и экологического потенциала отдельных регионов и республики в целом обязательное условие повышения эффективности управления лесными ресурсами.

Основные преимущества данных, получаемых при дистанционном зондировании лесов – глобальность обзора земной поверхности, периодичность и оперативность поступления информации.

Одним из новейших методов дистанционного зондирования яв-

ляется лазерное сканирование. В сфере лесного хозяйства за рубежом лазерное сканирование широко применяется для оценки состояния и динамики лесного фонда. Для целей лесного хозяйства в мире используют наземное и воздушное лазерное сканирование.

Наземное лазерное сканирование производится с наземных объектов или с земли с необходимостью перестановки прибора. Наземное лазерное сканирование используется для определения объема и формы стволов как отдельных деревьев, так и небольших участков лесных территорий [1].

Воздушное лазерное сканирование представляет собой метод активного дистанционного зондирования, обеспечивающий получение трехмерных данных на большие территории лесных массивов для оценки значений высот и диаметров древостоев с высокой точностью, эффективностью и оперативностью. Сканирование производится с воздуха при помощи самолетов, вертолетов или беспилотных летательных аппаратов [1].

В Швеции развитие воздушного лазерного сканирования привело к его внедрению в государственные системы инвентаризации лесов. Кроме того, на основе данных ВЛС были разработаны методы получения сведений о биомассе древостоя, оценки погибшей древесины, описания структуры леса, определения территорий, покрытых и непокрытых лесом. Также созданы способы определения индекса листовой поверхности, оценки способности растительности к возгоранию, использования данных лазерных отражений в противопожарных мероприятиях и другие виды применения материалов лазерного сканирования в лесном хозяйстве [2].

На примере лесов Ленинградской области России проводили исследование, целью которого являлось сравнение основных таксационных показателей древостоев, полученных по результатам воздушного лазерного сканирования напочвенного покрова Земли и наземной глазомерно-измерительной таксации лесов. Исходными данными при исследовании служили аэрофотоснимки в спектральных диапазонах R, G, B, NIR электромагнитных волн, полученные среднеформатной цифровой аэрофотокамерой Leica RCD-30. Высота полета составила 500 м при частоте сканирования 500 тыс. имп./с. Результатом сканирования являлось облако точек с координатами, привязанными к местности [3, 4].

Для определения состава древостоя в каждом квартале выбиралось по 5 выделов, расположенных в центральной части снимков. Расхождения значений между выборочной и генеральной совокупностью не превышали $\pm 5\%$.

В качестве программного обеспечения была выбрана геоинформационная система Global Mapper, позволившая проанализировать и обработать данные геоинформационной системы со всеми векторными и растровыми картами, провести монтаж снимков [5].

Для определения запасов древесины применялись упрощенные формулы объемов стволов деревьев Дементьева, Денцина и аллометрическая зависимость. Густота древостоя рассчитывалась как средняя сумма деревьев на пробной площади с расчетом количества древесных растений на 1 га.

После анализа данных лесоустройства и дешифрирования снимков произвели определение породного состава насаждений. Разница между результатами, полученными различными методами, незначительна и колебалась в пределах 1,5 коэффициента состава, что находится в допустимых границах для нормативов глазомерно-измерительной таксации насаждений. Полученные данные сопоставлялись с данными наземной таксации. Ошибка определения средней высоты древостоя составила менее 2 м, что находится в пределах допустимых нормативов. Определили среднюю высоту древостоев для каждой породы, которая совпала для березы, но различалась у осины и сосны (до 10%). Разность средних диаметров древостоев не превышает норматив определения диаметра (не более 12%).

Далее с использованием формул и полученных данных, рассчитывались объемы стволов различных пород и различие между ними при использовании различных методов их определения, определили густоту и запас древостоев. Разность между двумя способами определения запаса древостоя составила 14–16%.

Таким образом, значение таксационных показателей, полученных посредством воздушного лазерного сканирования, отличаются от результатов глазомерно-измерительной таксации в допустимых нормативами пределах.

В Бельгии провели исследование с целью оценки значений высот и прироста высоты с использованием разновременных данных лазерного сканирования. Данные лазерного сканирования были получены на территорию общей площадью более 56 тыс. га разновозрастного лиственного леса с аналогичными методами управления и двумя основными видами: бук и дуб, в 2014 и 2021 годах. Верхушки стволов были определены с использованием локальных максимумов в обоих наборах данных лазерного сканирования и сопоставлены [6].

Также был разработан метод, основанный на использовании двух разновременных данных лазерного сканирования. Первый вариант данных был получен в марте–апреле 2013 г. и феврале–марте 2014

г. с использованием датчика Riegl Litemapper 6800i в условиях отсутствия листьев. Второй набор данных был получен в феврале–марте 2021 г. с использованием датчика Riegl LMS-Q780 в условиях отсутствия листьев.

Данные лазерного сканирования были обработаны с использованием пакета LidR. Облака точек лидарной съемки были нормализованы (с использованием алгоритма tin) на основе классификации грунта. Для каждого нормализованного облака точек была построена цифровая модель высот с пространственным разрешением 1 м.

Наборы данных лазерного сканирования различались по модели и конфигурации сенсора, датам сбора данных, параметрам полета, свойствам облака точек и географической привязке. Простую алгебраическую разницу нельзя было выполнить без дополнительных вводных параметров. Для оценки значений высот данные лазерного сканирования 2021 и 2014 годов были откалиброваны с использованием референтного набора данных. Смещение оценки высоты дерева зависит от плотности облака точек. Высоты по материалам лидарной съемки 2021 и 2014 годов были откалиброваны с использованием линейных моделей для исправления смещения высоты.

Значение высот по данным лазерного сканирования оценивались для каждого локального максимума, расположенного в пределах исследуемой области. Значения с положительным приростом высоты были сохранены для дальнейшего анализа. Отрицательный прирост высоты наблюдался из-за сломанных ветвей в кронах.

Всего на исследуемой территории было обнаружено 268 983 ствола, средний прирост по высоте которых составил 0,45 м/год. С использованием калибровки оценка высот по материалам лидарной съемки 2021 года имела смещение 0,01 м и RMSE 0,84 м. В 2014 году смещение и среднеквадратическая ошибка составили 0,02 и 0,91 м соответственно. Предложенный метод основан на двухвременных наборах данных лазерного сканирования, обеспечивает эффективную и достаточно точную оценку прироста высоты в разновозрастных лесах.

В дополнение к вышесказанному можно отметить, что интенсивно развивается лазерное сканирование лесных ресурсов в скандинавских странах, показывая хорошие результаты и высокую эффективность в технологиях точного прогнозирования основных лесных статистических данных, выявлении отдельных видов деревьев и при создании трехмерных моделей поверхности земли и растительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульга, Е. А. Современные методы оценки таксационных показателей насаждений по материалам аэро- и лидарной съемок с БЛА /

Е. А. Шульга, И. В. Толкач, С. С. Цай // Лесное хозяйство : материалы 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 24 января–16 февраля 2024 г. – Минск : БГТУ, 2024. – С. 551-554.

2. Maltamo M., Næsset E., Vauhkonen J. *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning : Concepts and Case Studies*. – Springer, 2014. – 464 p.

3. Martin V.L., Coops N.C., Hilker T., Wulder M.A., Newnham G.J., Culvenor D.S. Automated reconstruction of tree and canopy structure for modeling the internal canopy radiation regime. *Remote Sensing of Environment*, 2013, Vol. 136, pp. 286-300.

4. 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

5. Мошкалев А.Г., Давидов Г.М., Яновский Л.Н., Моисеев В.С., Столяров Д.П., Бурневский Ю.И. *Лесотаксационный справочник по Северо-Западу ССР*. Л.: ЛТА, 1984. 319 с.

6. Leclère, L., Latte, N., Candaele, R. et al. Оценка роста высоты регенерации в пределах промежутка в управляемых умеренных лиственных лесах с использованием данных двухвременного воздушного лазерного сканирования. *Annals of Forest Science* 81, 36 (2024). <https://doi.org/10.1186/s13595-024-01252-9>