

Е.А. Шульга, преп.-стажер;
И.В. Толкач, доц., канд. с.-х. наук;
С.С. Цай, ст. преп., канд. с.-х. наук
(БГТУ, г. Минск)

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАСАЖДЕНИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРО- И ЛИДАРНОЙ СЪЕМОК С БЛА

Целью выполнения исследования является изучение и разработка методов обработки материалов лазерного сканирования покрытых лесом земель для оценки таксационных показателей лесов с использованием материалов лидарной съемки.

Существующие лазерные сканеры и соответствующие технологии разделяют на приборы наземного лазерного сканирования, мобильного лазерного сканирования и воздушного лазерного сканирования.

Наземное лазерное сканирование производится с наземных объектов или с земли с необходимостью перестановки прибора. Используются такие сканеры как VZ-400, Z+F Imager 5006, Faro Focus 3D. Недостатки наземного лазерного сканирования: в силу того, что сканер может делать измерения только на тех объектах с которыми у него есть прямая видимость некоторые объекты невозможно полностью отсканировать, даже пройдя вокруг него станциями установки прибора; погодные условия и факторы окружающей среды могут воспрепятствовать проведению съемки либо ухудшить результаты сканирования; также недостатком метода можно считать низкую производительность относительно других видов лидарной съемки [1].

Мобильное лазерное сканирование производится в непрерывном режиме с наземного или водного носителя. Данный метод идеально подходит для сканирования городских территорий и дорог. Используются такие сканеры как EGL VMX250, VMX450. К недостаткам этого способа можно отнести невозможность съемки крыш объектов и ограничивающие съемку элементы (заборы и кусты).

Воздушное лазерное сканирование представляет собой метод активного дистанционного зондирования, обеспечивающий получение трехмерных данных о пологе древостоя с высокой точностью, эффективностью и оперативностью. Результатом сканирования является облако точек с координатами, привязанными к местности. Новейшими аппаратными средствами для этих целей являются Leica Terrain Mapper, Optech ALTM Pegasus и AlphaAir 450 [2].

Среди воздушных носителей лазерного оборудования самым удобными и экономичными считаются беспилотные летательные аппа-

раты. Применение БЛА позволяет дистанционно, без участия человека и без подвергания его опасности, проводить мониторинг ситуации на достаточно больших территориях в труднодоступных районах. Мощный толчок к развитию лазерного сканирования с беспилотников определило создание лазерных сканеров небольшого веса от 1,5 до 3 кг. Дополнительно дроны оснащаются фото-, мультиспектральными камерами, компактными тепловизорами и гиперспектральными сканерами. Для получения данных лазерного сканирования в ходе нашего исследования был выбран лазерный сканер AlphaAir 450. Лидар является одним из самых легких в своем классе, его масса позволяет использовать его с любыми промышленными БЛА. В нашем случае лазерный сканер AlphaAir 450 был установлен на квадрокоптере Matrice 300 RTK на 3-осевом стабилизированном подвесе. В качестве программного обеспечения для обработки данных лазерного сканирования использована географическая информационная система SAGA (System for Automated Geo-Scientific Analysis), являющаяся свободно-распространяемым программным обеспечением (ПО) с открытым исходным кодом, и обеспечивающая возможность редактировать, визуализировать и анализировать облако точек.

Для подбора объектов исследования проведен анализ выделенной и картографических баз данных. В результате были отобраны компактно расположенные участки сосны, ели, пихты, березы и ольхи черной. Для оценки основных таксационных показателей на территории отобранных выделов Центрального лесничества Негорельского учебно-опытного лесхоза были заложены 9 пробных площадей.

На каждой пробной площади произведен обмер учетных деревьев. У каждого дерева измерены диаметры на высоте груди (d_m), высота дерева (h), диаметр кроны (d_k), высота до наибольшего диаметра кроны (h_{dk}), высота до начала кроны ($h_{нк}$), протяжённость кроны (l_k), а также определены густота, вертикальная и горизонтальная формы крон. В ходе исследования было проведено лазерное сканирование части лесов Негорельского учебно-опытного лесхоза. Сканирование выполнено с высоты 100 м, в 38, 39, 46 и 47 кварталах Центрального лесничества Негорельского учебно-опытного лесхоза, общей площадью 50 га. Для получения таксационных показателей насаждений по материалам лазерного сканирования построена цифровая модель высот деревьев. Первичный анализ данных лазерного сканирования показал, что плотность составила 326 точек на 1 м^2 . На первом этапе обработки данных лазерного сканирования произведен случайный отбор, после чего средняя плотность облака точек уменьшилась в 14 раз и составила 23 точки на 1 м^2 . Данной плотности достаточно для проведения исследования [3].

На втором этапе исключены точки маршрута, не содержащие информацию о цвете, путем выборки пустых значений в поле «Color» и удалены имеющиеся шумы и выбросы точек, посредством селектирования точек, имеющих высоты, значительно отличающиеся от средних высот поверхности земли и полога древостоя. Оставшиеся точки классифицировались по поверхности земли и после дополнительного удаления выбросов и шумов формировалась точечная векторная цифровая модель рельефа участка.

На следующем этапе векторная цифровая модель рельефа преобразовалась в растровый формат. Растровая поверхность рельефа формировалась с размером ячеек $5,0 \times 5,0$ м на основании средних значений высот точек. Формирование цифровой растровой модели поверхности полога древостоя производилось аналогичным способом, однако с размером ячеек $0,3 \times 0,3$ м и в качестве значения принималось максимальное [3]. Из-за неравномерной плотности облака точек, полученные растры имели незаполненные участки. Образовавшиеся пустоты заполнены методом интерполяции высот в соседних ячейках. На завершающем этапе выполнен расчёт раstra цифровой модели высот деревьев, как разность цифровой модели полога древостоя и цифровой модели рельефа, с использованием калькулятора растров.

На всех пробных площадях выполнен регрессионный анализ, отображающий связь между показателями. В ходе исследования апробированы различные функции: линейная, параболические функции 2-го и 3-го порядков. При моделировании связей между фактическими высотами деревьев и высотами, полученными по данным лазерного сканирования, а также между диаметрами кроны в полевых условиях и по данным лазерного сканирования наилучшие результаты показывает линейная функция. Полученные уравнения значимы по коэффициенту Фишера. Все параметры приведенных уравнений весомы по *t* критерию. Коэффициент детерминации для линейного уравнения связи высот варьирует от 80,16 до 99,70%. Стандартная ошибка изменяется от 0,23 до 0,88 м. Для линейного уравнения связи диаметров кроны деревьев коэффициент детерминации изменяется в диапазоне от 87,96 до 99,51%. Стандартная ошибка меняется от 0,10 до 0,32 м.

На завершающем этапе для измеренных показателей и показателей по данным лазерного сканирования выполнен статистический анализ отклонений опытных, полученных по данным лазерного сканирования, и измеренных значений высот и диаметров кроны деревьев. Как показал анализ отклонений высот деревьев по данным лазерного сканирования на всех ПП: минимальная ошибка измерений составляет до $-2,4$ м; максимальная $-2,50$ м. Для диаметров кроны минимальная ошибка измерений до $-1,50$ м; максимальная $-$ до $0,80$ м. В целом

наблюдается некоторое занижение высот деревьев и размеров крон по данным лазерного сканирования.

Средние значения высот и диаметров крон деревьев отличаются от истинных до 0,78 и 0,42 м соответственно. Для целей лесоустройства определяются средние таксационные показатели, ошибка определения по данным лазерного сканирования незначительна.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы: 1) материалы лазерного сканирования можно эффективно использовать для оценки высот и размеров крон деревьев; 2) плотность облака точек 326 точек на 1 м² избыточно для формирования цифровой модели высот и может быть снижено до 50–100 точек на 1 м². Снижение количества точек лидарной съемки обеспечивает более высокую скорость обработки данных и получение достаточно точных значений высот и диаметров крон деревьев; 3) при выполнении лазерного сканирования высоту съемки целесообразно увеличить до 250–300 м, что позволит снизить плотность точек и увеличить площадь съемки за один полет; 4) регрессионные уравнения связи характеризуются высоким коэффициентом детерминации: для высот – от 80,16 до 99,70%, для диаметров крон – от 87,96 до 99,51%, и невысокой стандартной ошибкой: для высот – от 0,23 до 0,88 м, для диаметров крон деревьев – от 0,10 до 0,32 м; 5) минимальная ошибка измерений высот по данным лазерного сканирования варьирует от –2,40 до –1,10 м, максимальная – от 0,00 до 2,50 м. Для диаметров крон деревьев минимальная ошибка измерений по данным лазерного сканирования составила от –1,50 до –0,40 м, максимальная – от 0,10 до 0,80 м; 6) высоты и диаметры крон деревьев могут быть получены с высокой точностью на основе регрессионных моделей связи с показателями, измеренными на цифровой растровой модели высот деревьев по апробированной в данном исследовании методике на основе данных лазерного сканирования, а также определенными в натуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руденко Ю.М., Богданец Е.С. Актуальность лидарной съемки на данном этапе развития лазерного сканирования // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. LVIII междунар. науч.-практ. конф. № 5(53). Часть I. – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 20-29.

2. Медведев Е.М., Григорьев А.В. С лазерным сканированием на вечные времена // Геопрофи. 2003. №1. С. 5–10.

3. Шульга Е. А. Построение цифровой модели высот по данным лазерного сканирования // Сб. науч. работ 74-й науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов, Минск. 17–22 апр. 2023. С. 22–24.