

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К АНАЛИЗУ ИНТЕНСИВНОСТИ РОСТА ДЕРЕВЬЕВ НА КЛОНОВЫХ ПЛАНТАЦИЯХ *PINUS SYLVESTRIS* L.

Л.К. Трубина, Ю.Ю. Иванова

Сибирская государственная геодезическая академия
630108, Новосибирск, Плахотного, 10; e-mail: lab.ite@ssga.ru

Применительно к определению количественных характеристик деревьев с целью исследования лесосеменных плантаций хвойных пород, посадки на которых разрежены по сравнению с естественными лесными массивами, разработана технология наземной стереофотосъемки. Организация процесса съемки (выбор параметров и местоположения базисов) зависит от требуемых размерных характеристик. В статье рассмотрены особенности проведения стереофотосъемки и обработки снимков для получения ежегодных приростов сосны, которые идентифицируются по мутовкам. Апробация технологии наземной стереофотосъемки проводилась на клоновой плантации сосны обыкновенной, заложенной в 1988 году в Озерском лесничестве Алтайского края. К моменту экспериментов деревья достигли высоты около 9 м. Выполнена стереофотосъемка порядка 80 деревьев и фотограмметрическая обработка изображений.

Представлены результаты исследования по определению количественных характеристик деревьев портативным лазерным дальномером Disto A5. Выявлены некоторые источники ошибок получаемых значений, в частности обусловленных толщиной ствола. Предложена методика измерения, обеспечивающая их исключение. Она может быть рекомендована для измерения расстояний между междоузлиями. В статье также представлена сформированная по данным геодезических измерений цифровая модель рельефа исследуемой плантации, с указанием местоположения и высот деревьев. Рассмотрены приемы анализа прироста деревьев в зависимости от особенностей микрорельефа.

Ключевые слова: клоновая плантация, прирост, стереопара, геодезические измерения

To use determination of trees plantation quantitative characteristics, this is aim of research of the wood seed plantation, which planting compared natural wood are thin, the technologies of terrestrial of stereo photo survey are developed. The organization of survey process (it means selection of survey parameters and station surveying) depends on required sizes. This article offers specialties of terrestrial stereophoto survey and treatment images pine growing which identify by interwhorl distances every year. The technologies were approved to study the clones of pine (ordinary) on an experimental site of V.N. Sukacheva Institute of Forest (Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences) in Altai Krai. The site witch was founded in 1988 is located on pine seed plantation, by that time heights of trees were almost 10 m. Stereophotogrammetric survey of 80 trees was carried out and images of clones were obtained.

The results of research for determination of trees plantations quantitative characteristics by laser distance meter Disto A5 were present. The results of analysis of accuracy experiment showed us the error reasons, in particular of the cause of a thickness a trunk. The method of measurement was offered; witch providing theirs error exceptions, it can be recommended for measurement of interwhorl distances. Furthermore, a digital elevation model according to the geodetic measurement was generated to represent the location of each tree and its height. The ways of analysis of pine growing, depending on feature micro reliefs were considered.

Key words: clones of pine, interwhorl distances, stereo pair, geodetic measurement

ВВЕДЕНИЕ

Для информационного обеспечения натуральных обследований лесных участков, в частности определения количественных характеристик отдельных деревьев и особенностей рельефа, могут быть эффективны методы наземных стереофотосъемок, дополненные геодезическими измерениями.

Рассмотрены особенности их применения для сбора данных о лесосеменных плантациях, посадки на которых разрежены по сравнению с естественными лесными массивами.

Цель исследований состояла в апробации фотограмметрических и геодезических подходов для определения годичных приростов (междуточечных расстояний) и выявления зависимости интенсивности роста деревьев от их положения в рельефе на клоновой плантации сосны.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлась клоновая плантация сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., заложенная в 1988 году в Озерском лесничестве Алтайского края (Тараканов и др., 2001). Общая площадь участка 4,0 га, деревья размещены по схеме 6х8 м. К моменту экспериментов они достигли высоты от 8 до 10 м. Выборка составила порядка 80 деревьев. Полевые исследования проведены совместно с сотрудниками Западно-Сибирского филиала Института леса СО РАН.

Особенности применения портативных лазерных дальномеров для измерения высот деревьев. Традиционные методы измерения высот деревьев сопряжены с определенными трудностями, возрастающими с увеличением их высоты, особенно сложно измерение годичных приростов. Чаще применяют косвенные способы измерения. Если говорить о геодезических методах, то самыми надежными и точными являются измерения теодолитом или тахеометром. Но профессиональное, порой

* Работа поддержана РФФИ (грант № 07-04-01714а)

громоздкое оборудование не находит применения в подобных работах, наиболее подходящими являются портативные лазерные дальномеры. Остановимся на особенностях измерений высот природных объектов дальномером Disto A5 фирмы – изготовителя Leica (Швейцария). Фирма – изготовитель гарантирует точность прямого измерения $\pm 1,5$ мм при благоприятных условиях прохождения и отражения лазерного луча на расстояниях до 200 м. Одной из особенностей дальномера Disto A5, по сравнению с другими отечественными и зарубежными высотомерами, является отсутствие ограничений на базовое расстояние, что обеспечивает выбор точки установки инструмента, с которой наилучшим способом будут видны как верхняя, так и нижняя части ствола. Он позволяет измерять линейные размеры – прямым промером; определять площадь и объем прямоугольных участков и помещений. Когда невозможно прямое измерение расстояния, например высоты объекта, Disto позволяет выполнять косвенное определение на основе встроенной функция «Теорема Пифагора». Схема таких измерений для вычисления высоты дерева показана на рисунке 1. Выполняется построение пространственных треугольников, в которых измеряются катет и гипотенуза, второй катет (высота) вычисляется.

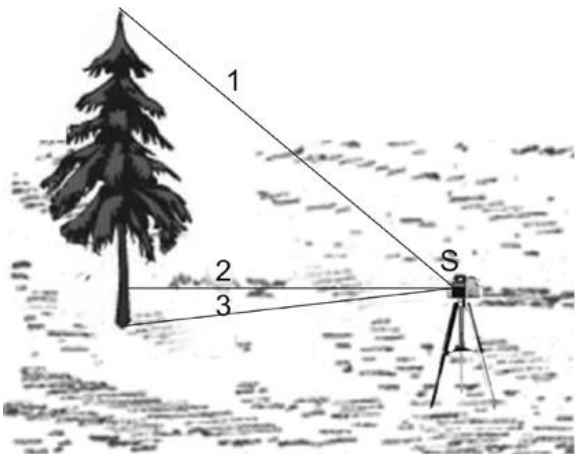


Рисунок 1 – Схема измерения высоты дерева лазерным дальномером Disto A5

Исследована точность определения высот деревьев с помощью этой функции. С этой целью на отвесной стене здания была отмечена маркой контрольная высота (Н), на которой были закреплены хвойная ветка и мутовчатый узел верхинки ели. Геодезической лентой с точностью $\pm 1 \div 2$ см промерены высоты и расстояния от стены до штатива с установленным на нем Disto A5. Прибор поочередно устанавливался на расстояния равные: 0,3Н, 0,6Н, Н, 2Н, 3Н, 4Н. Серия измерений с каждого расстояния включала по 10 приемов. Анализ результатов показал, что точность наведения луча с помощью встроенного визира практически не зависит от расстояния до стены и составляет соответственно: на марку $\pm 0,5$ см, на мутовчатый узел $\pm 2,6$ см, на вершину ветки $\pm 5,8$ см. Таким образом, для линий, расположенных в отвесной плоскости, предлагаемый способ измерения с использованием

функции «теорема Пифагора», дает вполне удовлетворительную точность.

Это условие не выполняется при измерении высот деревьев, так как три точки наведения не находятся в отвесной плоскости за счёт изменения толщины ствола, т.е. нарушается прямоугольность измеряемых треугольников. Кроме того, второй треугольник, образованный лучами 2 и 3, в точке (S) имеет острый угол, т.е. является практически вырожденным. Поэтому даже малые отклонения от прямоугольности, а особенно за счет уменьшения длины луча 3 приводят к ощутимым искажениям результата. Такого рода искажения могут быть также связаны с отклонением вершины дерева от вертикали или неверного визирования на боковую ветвь вместо осевого побега.

Величина искажений определяемой высоты в зависимости от диаметра ствола дерева показана на графике, где d – диаметр ствола на высоте, равной высоте инструмента (рис. 2). Для построения графика выполнены расчеты высоты «виртуальных» деревьев, ствол которых принимался за правильный конус. Полученные отклонения от истинной высоты (от вершины до точки наведения луча 2) носят систематический характер и могут достигать значительных величин, которые имеет смысл учитывать.

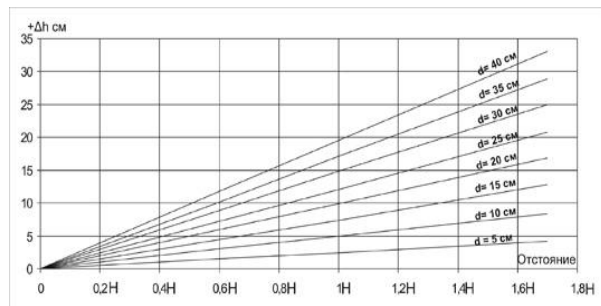


Рисунок 2 – График искажений определяемой высоты в зависимости от диаметра ствола и отстояния от него инструмента

Резюмируя изложенное, рекомендуется следующая методика измерения высот деревьев лазерным дальномером Disto A5:

- 1) измерения выполнять только с устойчивого штатива;
- 2) прибор устанавливать на возможно близком расстоянии от дерева;
- 3) с помощью Disto A5 измерять высоту части ствола Н (1-2) от вершины до точки наведения горизонтального луча;
- 4) домер высоты от точки наведения горизонтального луча до точки, где ствол переходит в корни, измерить вручную с помощью рулетки. (Это расстояние приблизительно равно высоте установки прибора и измерить его не составит труда);
- 5) высота дерева определяется суммированием значений расстояний (1-2) и (2-3), с учетом поправки на толщину ствола в соответствии с графиком (рис. 2), входные величины – диаметр ствола на высоте, равной высоте инструмента и отстояние.

Определение приростов методом наземной стереофотосъемки. Поскольку посадки на лесосе-

менных плантациях разрежены по сравнению с естественными лесными массивами, это позволяет использовать наземную стереофото съемку для определения ряда количественных характеристик отдельных деревьев (Трубина, 2006). В частности, можно определить ежегодные приросты сосны, которые идентифицируются по мутовкам. Для этих целей стереофото съемку необходимо выполнять с разных сторон дерева, так как на снимках, полученных с одного базиса фотографирования, не все мутовочные узлы могут быть видны. Поэтому при проведении съемки выбирается местоположение, по крайней мере, трех станций фотографирования, на таком расстоянии, чтобы в кадр помещалось все дерево.

Обработка стереопар, полученных со всех съемочных станций, выполняется совместно. Для обеспечения масштабных преобразований и исключения перспективных искажений изображений, в поле зрения объектива камеры рядом с деревом размещались вертикально тестовые стойки с замаркированными точками. Для этой цели предлагается использовать программный продукт PhotoModeler (<http://www.re-team.net>). В результате обработки стереопар строится 3D – модель, по которой можно выполнить пространственные измерения длин, углов и других количественных характеристик.

Технология определения расстояний между мутовочными узлами по стереопаре состоит в следующем:

- дешифрирование мутовок принадлежащих соседним годам (определение той стереопары, где они наилучшим образом видны);
- идентификация точек, определяющих междоузлие (соответственные точки маркируются на левом и правом снимках);
- выполнение вычислений.

Прирост за один год соответствует расстоянию, измеряемому по модели, как показано на рисунке 3. Идентификация этих точек осуществляется опцией, соответствующей построению графического линейного объекта. Измерения рекомендуется начинать от вершины дерева, что будет соответствовать приросту за последний год.

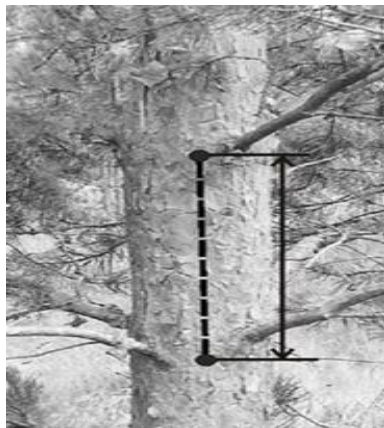


Рисунок 3 – Измерение расстояния между мутовочными узлами

Изложенным методом цифровыми фотокаме-

рами Canon 30D выполнена стереофото съемка 80 деревьев. Фотокамеры снабжены матрицами 22,5×15,0 мм (3504×2336 пикселей) и вариобъективом с фокусным расстоянием 17 ÷ 40 мм. При расстоянии до объекта съемки порядка 6 м, размер пикселя в пространстве объекта составлял – 2,1×1,4 мм. Точность построения модели оценивалась по контрольным отрезкам на тестовых стойках. Для оценки достоверности фотограмметрического метода межмутовочные расстояния были измерены непосредственно рулеткой. На рисунке 4 представлен график, показывающий расхождение результатов, полученных двумя методами, для одного из клонов.

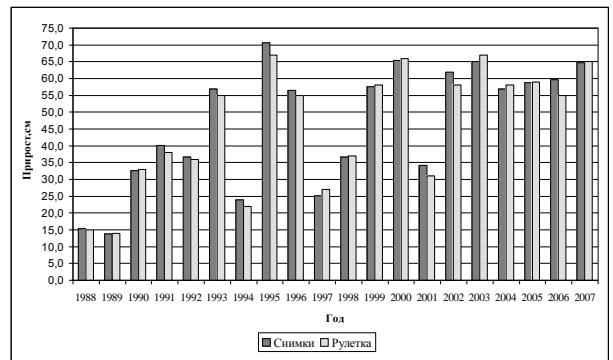


Рисунок 4 – Сравнение методов определения межмутовочных расстояний

Проведенное сравнение фотограмметрических вычислений и непосредственных измерений показало, что относительная погрешность определения межмутовочных расстояний составила от 1,5 % до 5 %, что не превышает методических погрешностей измерений, вносимых обоими методами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате для исследуемой клоновой плантации сформирована цифровая модель рельефа, определены высоты 80 деревьев и по материалам наземной стереофото съемки – годовичные приросты центральной оси этих же деревьев.

Динамика прироста анализируемых клонов (каждый клон представлен от 3 до 5 раметами) представлена на рисунке 5.

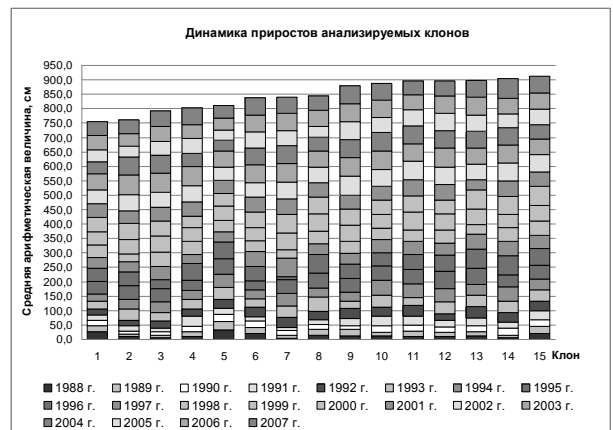


Рисунок 5 – Динамика приростов анализируемых клонов

По результатам геодезических измерений плантации электронным тахеометром сформирована цифровая модель рельефа. Результат ее визуализации с указанием местоположения и высот деревьев показан на рисунке 6. Высоты деревьев распределились в диапазоне от 6,4 м до 10,5 м.

Проведенный корреляционный анализ не позволил выявить явной зависимости между высотой клона и особенностями микрорельефа. Сравнение клонов по высоте позволило выделить три основных группы клонов. Наиболее многочисленную группу составляют клоны с высотами от 8 до 9 м, следующая – меньше 8 м, а в третью группу включены клоны, достигшие более 9 м.

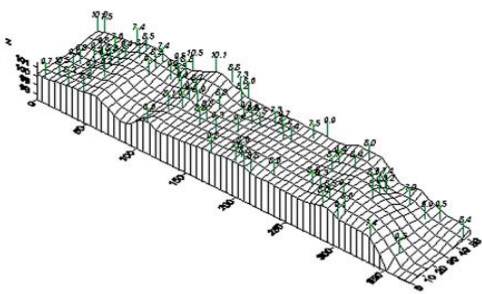


Рисунок 6 – Цифровая модель рельефа исследуемой плантации, с указанием местоположения и высот деревьев

Их пространственное распределение по участку плантации, показано на рисунке 7.

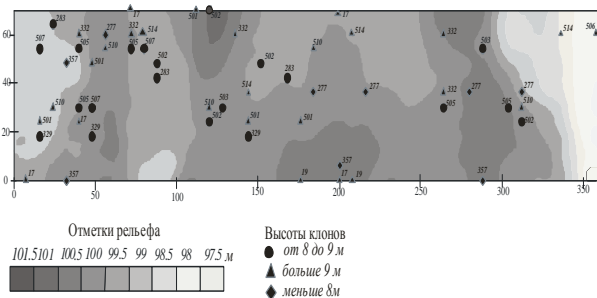


Рисунок 7 – Соотношение высоты клонов и рельефа

Самая многочисленная группа клонов размещена на участках, соответствующих рельефу с отметками от 100,0 до 101,5 м.

Выделяется одна из рамет клона 502, которая существенно ниже всех остальных (более 1 м), причем это не объясняется её местоположением в рельефе. Среди самых высоких клонов особо отличается одна из рамет 17 клона, поскольку высота дерева меньше

среднего в группе более чем на 2 м, при этом она расположена на одной из самых высоких точек участка. В то же время, одна из рамет клона 357 расположена в самом низком месте, при этом имеет высоту ниже средней на 1,4 м в группе деревьев с наименьшей высотой.

Полученные сведения могут быть полезны для последующего анализа с целью выявления влияния экологии среды на генотип.

Подводя итоги, можно отметить, что предлагаемые методы определения количественных характеристик древесных насаждений, являются достаточно оперативными и могут служить средством информационного обеспечения исследователей лесных ресурсов.

В частности, использование метода наземной стереофото съемки оправдано для проведения исследований на разреженных лесопосадках с высотой деревьев до 25 – 30 метров. При съемке высоких деревьев с земли, возможно недостаточное четкое отображение вершины дерева. Детальность изображения верхней части ствола можно повысить за счет применения камеры с длиннофокусным объективом. Еще один вариант, это получение дополнительных стереопар только верхней части дерева, т.е. с большим увеличением. Что касается использования портативных лазерных дальномеров, то их кроме измерения высоты дерева, можно рекомендовать и для измерения междурядных расстояний.

На лесосеменных плантациях, где прирост деревьев отслеживается регулярно, на наш взгляд, высоту лучше измерять до верхнего мутовочного узла, т.к. при этом значительно повышается точность наведения лазерного луча и соответственно точность измерения самого прироста. Следует обратить внимание, что применение Disto A5 для измерения расстояний между междурядьями значительно облегчает этот процесс, в сравнении с другими способами, а влияние разного рода систематических погрешностей измерений связанных с прибором и внешней средой в значительной мере ослабится.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Тараканов, В.В. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири / В.В. Тараканов, В.П. Демиденко, Я.Н. Ишутин, Н.Т. Бушков. – Новосибирск: Наука, 2001. – 230 с.

Трубина, Л.К. Стереомодели в изучении биологических объектов / Л.К. Трубина. – Новосибирск: СГГА, 2006. – 136 с.

Официальный сайт PhotoModeler Professional V.5.2.3 Retail [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.re-team.net>.

Поступила в редакцию 12 октября 2009 г.
Принята к печати 25 февраля 2010 г.