

## **Внедрение цифровых фотограмметрических систем в лесоустройство**

*Р.Ф. Трейфельд, главный инженер ФГУП «Севзаплеспроект», Санкт-Петербург,  
Россия*

*Ю.В. Филиппов, директор ООО «Астрогис», Санкт-Петербург, Россия*

Лесоустройство как организационная, информационная и плановая основа лесного хозяйства динамично развивается вместе с другими отраслями, изучающими биотический покров земной поверхности. Нарастающий интерес государства и общества к лесу, стремительное развитие информационных технологий создает особую творческую среду для совершенствования лесоустроительного производства.

За последние 10 лет незначительными по численности группами специалистов ведущих лесоустроительных предприятий камеральное лесоустроительное производство было переведено из аналогового формата в цифровой. Геоинформационные системы заняли прочное положение при подготовке тематических, картографических и совмещенных геоинформационных баз данных лесного фонда.

На основе классической отечественной лесотаксационной науки в тематических базах данных представлена подробная информация о каждом лесном выделе, насчитывающая по общей совокупности до трехсот дендрометрических, лесохозяйственных, ботанических, фитопатологических, экологических, пирологических и других признаков лесных насаждений.

Представленные в оригинальном формате программного обеспечения среды Windows эти данные доступны для электронного анализа и конвертируются в общедоступные форматы тематических баз данных.

Картографические базы данных являются электронными аналогами классических лесоустроительных карт и создаются с помощью программного обеспечения общеизвестных сертифицированных ГИС — MapInfo (MapInfo Corp., США), GeoГраф/GeoDraw (ЦГИ ИГ РАН), WinGIS (PROGIS).

Внедрение геоинформационных систем в лесоустройство было стремительным, поскольку ГИС оказались относительно доступными как с точки зрения построения технологического процесса картосоставления и простоты в освоении, так и неприязнительности в отношении требуемой технической базы.

К концу 1990-х гг. получили развитие прикладные ГИС, предназначенные для конечных пользователей лесной картографической продукции. Это привело к тому, что оказались востребованными не только традиционные материалы лесоустройства (бумажные карты), но и их электронные аналоги. К ним стали предъявляться требования, характерные для электронных карт: топологическая корректность, единство правил цифрового описания объектов содержания, возможность преобразования в стандартные форматы и т. д.

Однако при всей универсальности современные геоинформационные системы не в состоянии охватить весь цикл работ сложного лесоустроительного производства.

После освоения лесоустройством геоинформационных систем стало очевидно, что следующим этапом развития процесса картосоставления должно стать применение цифровых технологий на более ранней стадии обработки исходных картографических материалов, а точнее на этапе работы с аэро- или космосъемкой.

Отдельные попытки применения компонентов цифровой технологии обработки фотоизображений предпринимались в отрасли и ранее. В частности, появлялись наработки в области построения стереопар в электронном виде с возможностью их дальнейшей векторизации. Однако создаваемые программные продукты решали, как правило, локальные задачи. Существенный эффект могла бы принести технология, объединяющая выполнение основных процедур обработки аэрофотоснимков модулями в рамках единого программного комплекса.

Особенностью лесоустроительных карт является необходимость иметь двойную основу — топографическую и лесоустроительную. Лесоустроительной основой планшетов и планов лесонасаждений являются материалы аэро- или космосъемки.

Выполненные в центральной проекции аэрофотоматериалы для приведения в соответствие с топографической основой требуют трансформации в ортогональную проекцию. Этот сложный математический процесс выполняется цифровыми фотограмметрическими системами (ЦФС) автономно от геоинформационных систем. В настоящее время на мировом рынке ЦФС присутствуют несколько систем. Одной из них является программный комплекс PHOTOMOD, разработанный компанией «Ракурс» и использующийся ФГУП «Севзаплеспроект» в камеральном лесоустроительном производстве.

Применение системы PHOTOMOD потребовало принципиально изменить последовательность обработки фотоизображений. Координатная основа будущей лесной карты стала формироваться в процессе обработки совокупности аэрофотоснимков на весь объект лесоустройства, а не на каждый снимок в отдельности. Это позволило снизить негативное влияние дефицита опорных точек, используемых для координирования снимков. Технология, предложенная для обработки материалов аэрофотосъемки, предусматривает выполнение следующих процедур.

На предварительном этапе снимки (или их негативы) сканируются, выполняется их геометрическая и цветовая коррекция, призванная минимизировать искажения сканера. После занесения сведений о параметрах съемочной фотокамеры формируется каталог опорных точек, представляющий собой список номеров и координат четких контурных точек местности, опознаваемых на снимках. В ходе формирования каталога опорных точек им присваивается статусный признак, в соответствии с которым точка может быть опорной или контрольной. Как следует из названия, первые служат для координатной привязки снимка, вторые — для контроля точности привязки. Координаты опорных точек могут быть получены как с использованием результатов полевых измерений, так и с топографической карты. Их количество и класс точности в дальнейшем определит точностные характеристики лесной карты.

Полученные на предварительном этапе растровые изображения снимков с нанесенными на них опорными точками, их описание и номера, каталог геодезических координат или отметки высот опорных точек, их вычисленные «веса» и паспорта применявшихся при аэрофотосъемке аппаратов кладутся в основу формируемого проекта.

В рамках проекта строится сеть пространственной блочной фототриангуляции. Такая процедура выполняется по нескольким перекрывающимся между собой маршрутам, каждый из которых, представляет собой совокупность расположенных друг за другом снимков. Для каждого снимка выполняется его внутреннее ориентирование с целью вычисления значений параметров, определяющих положение и ориентацию системы координат снимка относительно системы координат исходного цифрового изображения. Вычисленные значения параметров используются для преобразования результатов измерений из системы координат исходного цифрового изображения в систему координат снимка.

Далее приступают к вводу и измерению точек, связующих как отдельные снимки, так и собранные из них маршруты. Для измерения точек используются изготовленные на предыдущих этапах стереопары снимков. Измерение связующих точек проводится одновременно на двух снимках стереопары вручную или автоматически, с помощью коррелятора. Аналогично съемочные маршруты объединяются в блоки, каждый из которых соответствует объекту лесоустройства.

После формирования блоков аэрофотоснимков приступают к выполнению уравнивания сети пространственной фототриангуляции. Особенность этой процедуры состоит в том, что при ее выполнении устанавливаются параметры уравнивания (система координат и картографическая проекция, относительные веса уравнений опорных и связующих точек), а также допустимые невязки координат опорных точек. Таким образом, на этом этапе устанавливаются точностные характеристики создаваемой пространственной фотограмметрической модели. Это позволяет в максимальной степени учитывать требования пользователей лесной картографической продукции.

Уравненная фотограмметрическая модель может служить растровой основой для построения векторного плана. Причем, векторизация может выполняться как в моно-, так и в стереорежиме, что значительно расширяет возможности визуального анализа растрового изображения. Важной особенностью векторного плана является наличие информации не только о прямоугольных координатах объекта  $X$  и  $Y$ , но и о значениях

высот  $Z$ . Эти данные используются в дальнейшем для построения цифровой модели рельефа, что является одним из ключевых этапов создания ортофотоплана объекта.

Таким образом, на смену традиционной обработке аэро- или космосъемки при помощи простых оптических приборов и визуального анализа приходит электронная компьютерная технология изготовления ортофотопланов.

Цифровой ортофотоплан лесничества представляет собой цифровое растровое изображение, ориентированное относительно геодезической системы координат и исправленное за искажения, вызванные наклоном снимка и рельефом местности. Цифровой ортофотоплан создается в следующей последовательности:

- \* создание цифровой модели рельефа (ЦМР):
- \* создание ортофотопланов из отдельных стереопар (одиночные ортофотоизображения);
- \* монтаж ортофотоплана лесничества.

Цифровая модель рельефа формируется в узлах регулярной сети треугольников, значение высот в которых вычисляется с помощью полученной в результате ориентирования пространственной модели и корреляционного алгоритма. При этом в точках, где невозможно определить координату  $Z$  в автоматическом режиме ее значение определяется интерполированием по соседним точкам с автоматически рассчитанными координатами. Возникающие при этом ошибки могут быть скорректированы.

На основе цифровой модели рельефа формируются сначала ортофотопланы отдельных стереопар, из которых затем монтируется общий ортофотоплан лесничества. Полученный ортофотоплан может использоваться для векторизации или редактирования уже обработанных участков объекта. Основным достоинством ортофотоплана является его высокая адекватность местности, возможность работы в стерео и моно режимах, а также с разной степенью увеличения.

Ортофотоплан лесничества с нанесенными на него в векторном виде контурами таксационных выделов импортируется в геоинформационную систему для дальнейшего редактирования.

Цифровая фотограмметрическая система кроме фотограмметрических преобразований материалов аэрофотосъемки и составления ортофотопланов решает и другую не менее важную технологическую задачу камерального лесоустроительного производства — лесотаксационное дешифрирование.

Дешифрирование растров аэрофотоизображений, полученных сканированием либо негативов, либо позитивов выполняется на экране компьютерной станции.

В методическом аспекте контурное и таксационное дешифрирование цифровой стереомодели местности (ортофотоплана) не отличается от традиционного дешифрирования аэрофотоснимков с помощью стереоскопа.

Общепринятым способом в монорежиме, а при необходимости в стерео режиме выполняется цифровое выделение границ групп и категорий защитности лесов, особозащитных участков, границ участков с текущими изменениями, границ таксационных выделов основного массива лесных и нелесных земель.

В процессе этого этапа работ используются картографические и таксационные материалы лесоустройства. При уверенном распознавании границ они цифруются в модуле PHOTOMOD VectOr, в других случаях осуществляется переход в модуль PHOTOMOD StereoDraw. Широко используются опорные ориентиры, квартальная сеть и задаваемый масштаб цифровой стереопары или ортофотоплана.

Границы участков лесных культур, лесосек сплошных рубок, а также участков, подверженных стихийным воздействиям цифруются на основании их фактического местоположения на стереортофотоплане, определенного по данным о внесении текущих изменений в материалы предыдущего лесоустройства.

Дешифрирование границ таксационных выделов основного массива лесного фонда сочетает в себе элементы топографического и лесотаксационного дешифрирования. При этом анализируется сначала цифровая модель квартала в монорежиме и цифруются достоверно определяемые границы полигонов после изучения представленности различных категорий земель и элементов топоосновы. На этом этапе разделяются обычно участки лесных и не покрытых лесной растительностью земель с четко выраженными границами.

На следующем этапе ведется разграничение лесопокрытых земель квартала на крупные участки — генерализованные выделы, как правило, объединяющие несколько таксационных выделов и приуроченные к определенным формам и элементам рельефа и элементам гидрографической сети. В данном случае генерализация выделов, выполняемая в стереорежиме без увеличения масштаба цифровой модели, приурочивается к различным группам типов леса (условиям местопроизрастания). В дальнейшем, переходя в системе стереорежима к увеличенному масштабу стереортофотоплана, дешифровщики выполняют разделение генерализованных выделов на таксационные выделы, в соответствии с требованиями лесоустроительной инструкции. Такое разделение выполняется при необходимости с переменными масштабами увеличения стереомодели в зависимости от сложности структурного строения тех или иных участков лесного фонда и в процессе глазомерно-стереоскопического анализа полога древостоев и определения различий в таксационных характеристиках смежных участков. В первую очередь выделяются участки с резкими различиями в таксационных характеристиках по схеме: хозяйство — группа возраста — другие таксационные показатели. На этом этапе контурного дешифрирования, кроме того, анализируются границы выделов последнего лесоустройства.

В процессе таксационного дешифрирования выполняются элементы измерительного дешифрирования, где главным является измерение высоты полога древостоев. В сочетании с аналитическим дешифрированием это позволяет определять полную таксационную характеристику древостоев в соответствии с требованиями лесоустроительной инструкции.

Определение высоты древостоев достигается путем измерения разности продольных параллаксов на участках с наблюдаемой свободной от проекций крон земной поверхностью или глазомерно-стереоскопическим методом с использованием вертикального масштаба цифровой стереомодели местности и результатов стереоизмерений высоты древостоев соседних участков, т. е. в соответствии с классической технологией измерительного дешифрирования. Программное обеспечение позволяет получать значения высот с точностью 0,1 м при наведении марки на уровень земной поверхности и вершину дерева или полога древостоев.

Важным элементом, снижающим трудоемкость всего процесса камеральной обработки материалов лесоустройства, является совмещение процедур контурного дешифрирования и векторизации лесоустроительной нагрузки лесных карт. Такое совмещение позволяет еще на этапе фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки получить готовый векторный план будущей лесной карты планшета или плана лесничества.

Описанная технология разработана ФГУП «Севзаплеспроект» применительно к районам с высокоинтенсивным лесным хозяйством. Технология прошла производственную проверку на двух объектах Ленинградской и Калининградской областей. В настоящее время технология введена в производство и будет использоваться на объектах устройства лесов Ленинградской области в 2004–2006 гг.

Для окончательного становления описанной технологии и создания вместе с геоинформационной системой «ЛУГИС» прочного фундамента камерального лесоустроительного производства потребуется увеличение численности высококвалифицированного персонала, обслуживающего систему. Резервом для этого являются инженеры и техники полевых подразделений лесоустройства. Вовлечение исполнителей экспедиции в процесс фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки позволит сократить издержки камеральной группы производства и одновременно поднять квалификацию основного звена лесоустроителей до уровня современных информационных технологий.