

В.И. Архипов, Д.М. Черниковский, В.И. Березин, В.А. Белов

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТАКСАЦИИ ЛЕСОВ
ДЕШИФРОВОЧНЫМ СПОСОБОМ
«ОТ СЪЕМКИ – К ПРОЕКТУ»¹**

Введение. Успешное ведение лесного хозяйства в значительной степени зависит от наличия точной и актуальной информации о лесах. В настоящее время общий рыночный спрос на достоверные по выделные лесотаксационные данные является неудовлетворенным и растущим и, по экспертным оценкам, составляет не менее 300 млн га, или 30 млн га в ежегодном выражении. Системное решение задачи таксации лесов в таких объемах традиционными наземными методами не представляется возможным по организационно-технологическим и экономическим причинам. Поэтому дистанционные методы получения информации о лесах России практически не имеют альтернатив. Но в отношении применения дистанционных методов в лесоучетной деятельности отмечается многолетний застой. Технологии и инструменты для лесотаксационного дешифрирования не менялись с 1980-х гг. В частности, недостаточно изучены возможности современных материалов цифровых съемок и программно-аппаратных средств нового поколения по их обработке. В стране нет высокопроизводительной технологии таксации лесов дешифровочным способом.

Сегодня ФГУП «Рослесинфорг» располагает современными программно-аппаратными средствами, позволяющими с высокой производительностью и качественно выполнять цифровую аэросъемку, в интерактивном режиме обрабатывать ее результаты, формировать геоинформационные базы данных о лесах. К таким средствам относятся: фотограмметрический

¹ Исследование проведено в рамках научно-инновационного проекта ФГУП «Рослесинфорг»: «Подготовка описания технологического цикла «От съемки – к проекту» на основе использования фотограмметрического комплекса VisionMap АЗ, модуля по стереоскопическому дешифрированию Photomod и ПК «ЕСАУЛ». Опытная апробация технологического цикла «От съемки – к проекту» на примере одного участкового лесничества» (рук. Д.М. Черниковский).

комплекс VisionMap А3, цифровая фотограмметрическая система Photomod, программный комплекс «ЕСАУЛ²», ГИС-программы, программно-аппаратные средства для стереодешифрирования. Поэтому важной задачей и основной целью выполненных исследований стало интегрирование перечисленных программно-аппаратных средств в единый технологический цикл, направленный на высокопроизводительное выполнение стереоскопической таксации лесов дешифровочным способом.

Методика исследования. На начальной стадии работ выполнялся обзор специальной литературы, выбор программно-аппаратного обеспечения для решения задач лесного стереодешифрирования.

Методика исследования включала:

- составление технологической схемы работ с применением фотограмметрического комплекса VisionMap А3, системы Photomod, ПК «ЕСАУЛ», аппаратных комплексов для стереодешифрирования;
- разработку программы и методик выполняемых работ по отдельным этапам технологического цикла (обработка данных ДЗЗ для дешифрирования и подготовки цифровой картографической основы, выполнение лесного стереодешифрирования, формирование геоинформационной базы данных);
- оснащение рабочих мест таксатора-дешифровщика оптимальным по стоимости и производительности программно-аппаратным обеспечением для лесного стереодешифрирования;
- апробацию технологического цикла «От съемки – к проекту» на примере Модельной территории (аэросъемка, полевые работы, таксационно-дешифровочная тренировка исполнителей, контурное и таксационное стереодешифрирование, формирование геоинформационных баз данных, получение итоговых материалов таксации лесов);
- оценку трудозатрат и норм выработки.

Выполненная работа имеет производственную направленность: результаты разработки – апробация технологии на примере модельной террито-

² Программный комплекс «Единая система автоматизированного учета лесов – ЕСАУЛ» (свидетельство №2013611186 о государственной регистрации) предназначен для создания и поддержки в актуальном состоянии геопространственных и атрибутивных данных о лесах на выделном уровне, автоматизации лесохозяйственного проектирования и лесного планирования, многопользовательской комплексной обработки лесостроительной информации и формирования пакетов документов и отчетов, обеспечения оперативного доступа к геоинформационным базам данных через web-сервисы авторизованных пользователей.

рии с получением стандартных выходных документов таксации лесов (комплект лесных карт, таксационных описаний, таблиц, характеризующих объект учета), оценка точности получаемых при таксации результатов, оценка нормативов выработки на основные работы по стереодешифрированию.

Результаты исследования. Отечественный и международный опыт использования материалов современных дистанционных съемок и алгоритмов их применения для решения лесоучетных задач отражен в ряде публикаций [1–5]. Положительные результаты экспериментальных работ по измерительному и аналитическому дешифрированию лесов в стереорежиме на основе фотограмметрического программного обеспечения получены специалистами из России, Хорватии, Белоруссии, Швеции [1–4]. Использование средств цифровой фотограмметрии для лесного дешифрирования показало:

- высокую достоверность определения основных таксационных показателей, получаемых на основе фотограмметрических измерений (ряд основных лесотаксационных показателей может определяться с точностью, соответствующей наземным способам таксации);
- возможность сокращения сроков обработки и выдачи лесоустроительных материалов (за счет совмещения технологических этапов контурного дешифрирования и векторизации);
- возможность многократного использования ортофотопланов, в том числе целевого тематического использования (для выполнения полевых работ, камеральных работ и последующего внесения текущих изменений в геоинформационные базы данных, для лесокадастровых и лесопарковых работ);
- возможность использования результатов фотограмметрических работ и стереодешифрирования на разных этапах таксации лесов (например, выполнение контурного дешифрирования до полевых работ, использование ортофотопланов для формирования цифровых картографических основ в ГИС, печать фрагментов отдешифрированных ортофотопланов для выполнения наземных работ).

Для выполнения исследования выбрано программно-аппаратное обеспечение, способное решать следующие задачи лесного стереодешифрирования: формирование стереопар спектрально-цифровых изображений; их анализ в стереорежиме с выполнением измерений высот, размеров крон деревьев, промежутков между ними, определением количества де-

ревьев и степени сомкнутости полога, других геометрических показателей; создание векторных слоев с атрибутами.

Из известных фотограмметрических комплексов «Photomod» (ЗАО «Ракурс», Россия), «Геоматика–Беспилотник» (ОАО ТЦ «Геоинформатика», Россия), «INPHO» (Trimble, Германия), ERDAS IMAGING (Leica Geosystems, Швейцария) после сравнительной оценки, работы с демоверсиями и консультаций со специалистами выбрана и установлена на рабочие места дешифровщиков цифровая фотограмметрическая система Photomod³. Также для выполнения поставленных задач использовались ПК «ЕСАУЛ» и геоинформационная система ArcGIS Desktop Standard 10.2.

В состав аппаратного обеспечения для лесного стереодешифрирования вошли рабочие станции с требуемой конфигурацией (процессорами IntelCore i7 с оперативной памятью 4 Гб, видеокартами nVidiaQuadroFX 4800, жесткими дисками объемом 2 Тб), зеркальные мониторы PlanarStereoMirror SD2220W, высокочастотные мониторы SamsungSyncMaster SA750.

Основные этапы работ по технологическому циклу «От съемки – к проекту» (с применением фотограмметрического комплекса VisionMap А3, системы Photomod, ПК «ЕСАУЛ») показаны на рис. 1.

Далее приводится краткий состав работ, содержание этапов и используемое программное обеспечение.

1. Подготовительные работы (фотограмметрический комплекс VisionMap А3 и набор сопутствующего программного обеспечения, ПК «ЕСАУЛ», MS Excel, Statgraphics, ForestDecript, ArcGIS, Photomod):

- сбор исходных материалов для объекта работ (лесничества, лесопарка) – сбор, оценка, ввод в цифровые форматы нормативно-справочной информации;
- планирование и выполнение дистанционных съемок – сбор исходных данных для съемки, согласование, планирование, выполнение аэрофото-съемочных работ, контрольный просмотр отснятых материалов, выполнение полевых работ по плано-высотному обоснованию;

³ Для решения задач формирования геоинформационных баз данных лесов на основе стереоскопического дешифрирования материалов съемки камерой Vision Map А3 разработан специализированный модуль PHOTOMOD Stereo-Measure (ЗАО «Фирма «Ракурс» по заказу ФГУП «Рослесинфорг»).



Рис. 1. Схема лесоустроительных работ по технологическому циклу «От съемки – к проекту» с применением фотограмметрического комплекса VisionMap A3, системы Photomod, ПК «ЕСАУЛ», аппаратных комплексов для стереодешифрирования

- обработка и подготовка данных ДЗЗ для дешифрирования и создания ГИС. Создание ортофотопланов – обработка данных GPS приемника, предварительная обработка результатов аэрофотосъемочных работ, автоматическая аэрофототриангуляция, уравнивание по точкам планово-высотного обоснования, автоматическое построение и корректировка ЦМР, автоматическое построение ортофотопланов, экспорт результатов съемки (ортофотоплан, ЦМР, кадры, взмахи) в ГИС;
- создание цифровой картографической основы объекта учета – формирование ГИС-проекта лесничества с набором слоев цифровой картографи-

ческой основы с использованием ортофотоплана, лесных карт прежнего лесоустройства, материалов кадастра и землеустройства; векторизация границ, дорог, квартальной сети, гидрографии;

– изучение и анализ признаков дешифрирования – разработка классификации признаков дешифрирования с их формализацией и ранжированием, планирование наземных работ по анализу признаков дешифрирования, выполнение наземных работ по изучению дешифровочных признаков, измерение таксационных и дешифровочных показателей модельных деревьев на пробных площадях и в выделах, определение зависимостей между таксационными и дешифровочными показателями и вероятностная оценка их информативности.

2. Камеральные работы (Photomod, ПК «ЕСАУЛ», ArcGIS):

– выполнение контурного, аналитического и измерительного дешифрирования цифровых материалов ДЗЗ: формирование ГИС-проекта лесничества, выполнение контурного, аналитического и измерительного дешифрирования лесотаксационных выделов по цифровым материалам аэросъемки в стереорежиме на экранах мониторов с заполнением карточек таксации, ввод карточек таксации в «ЕСАУЛ», контроль атрибутивной базы данных и исправление ошибок;

– выборочные натурные проверки результатов аналитического и измерительного дешифрирования;

– формирование геоинформационной базы данных лесничества – совмещение готовых картографических и атрибутивных баз данных, выполнение контролей, исправление ошибок, перенесение и увязка площадей;

– создание и оформление на основе геоинформационных баз данных стандартных лесных карт, ведомостей и других документов средствами ПК «ЕСАУЛ» и ArcGIS;

– считка и печать итоговых документов и лесных карт.

В целом, приведенный алгоритм не противоречит традиционному порядку камеральных работ на основе и с использованием методов лесотаксационного дешифрирования 1980-х гг. [6–8]. Отличия носят технологический характер и связаны, в первую очередь, с применением новых для отечественного лесоустройства материалов дистанционного зондирования и программно-аппаратного обеспечения для стереодешифрирования.

Организация качественной подготовки специалистов и проведение таксационно-дешифровочной тренировки являются важнейшими этапами успешного выполнения дешифровочных работ, обеспечивающими единообразный подход к приемам и методам их выполнения и нормативную точность получения основных таксационных характеристик лесотаксацион-

ных выделов. В процессе подготовки и обучения специалистов уделяется внимание наиболее сложным этапам технологии работ, процесса контурному и таксационному дешифрированию, особенностям изображения различных типов лесных насаждений на материалах дистанционных съемок.

Работы по изучению и анализу признаков дешифрирования при подготовке специалистов подразумевают выполнение наземных работ по изучению дешифровочных признаков с заполнением ведомостей установленной формы и измерению таксационных и дешифровочных показателей модельных деревьев на объектах обучающей выборки: таксационно-дешифровочных пробных площадях, выделах с выборочной измерительно-перечислительной таксацией и маршрутах таксационно-дешифровочного тренировочного хода. Важное внимание уделяется определению таксационных показателей, не получающих изображение на материалах ДЗЗ, для чего устанавливаются и изучаются зависимости между таксационными и дешифровочными показателями.

Информативность признаков дешифрирования категорий земель и лесных насаждений изучается в процессе их вероятностной оценки не только в полевых, но и в камеральных условиях на основе специального программно-аппаратного обеспечения. В процессе такой работы выполняется стереоскопический анализ изображений отдельных деревьев конкретного насаждения. Определяются формализованные и ранжированные по классам фотометрические, морфологические характеристики отдельных деревьев и измеряются количественные параметры. Обработка результатов измерений выполняется с помощью разработанной для этих целей программы ForestDecrypt⁴. Для определения статистических характеристик признаков и их ранжирования используются следующие формулы.

Достоверность дешифрирования при использовании одного признака Q :

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n |P^I - P^{II}|}{\sum_{i=1}^n P_{i \max}}, \quad (1)$$

где P – вероятность признака породы I и II; i – код признака; $P_{i \max}$ – максимальная из двух вероятностей для каждого признака.

⁴ В процессе исследования разработано программное обеспечение по вводу и статистической обработке результатов камерального анализа формализованных признаков дешифрирования и пошагового процесса распознавания древесных пород на основе вероятностных методов оценки – ForestDecrypt v 1.0.

Расчет значения достоверности дешифрирования при использовании двух и более признаков дешифрирования производится по следующим формулам:

$$Q_{1,2} = Q_1 + (1 - Q_1)Q_2, \quad (2)$$

$$Q_{1,2,3} = Q_{1,2} + (1 - Q_{1,2})Q_3, \quad (3)$$

На основе рядов распределения вероятностей признаков и оценки их информативности составляются таблицы признаков дешифрирования, в которых для всех объектов дешифрирования приводится перечень признаков с указанием вероятности их появления, количества (оптимально необходимого) и наименований наиболее информативных признаков, которыми следует пользоваться при дешифрировании. На заключительном этапе по преобладающим и составляющим породам составляются описательные таблицы признаков дешифрирования с указанием вероятностей значений признаков, пошаговой последовательности использования признаков в процессе дешифрирования и вероятностей ошибок распознавания соответствующей древесной породы (объекта дешифрирования). Приведем фрагмент описательной таблицы, составленной в процессе настоящих исследований по результатам автоматизированного (интерактивного) анализа признаков дешифрирования и процесса распознавания древесных пород учебно-тренировочного полигона (табл. 1).

Таблица 1

Признаки дешифрирования и пошаговый процесс распознавания древесных пород по материалам аэросъемки камерой Vision Map A3 пространственного разрешения 0,3 м

Учебно-тренировочный таксационно-дешифровочный полигон:
Приозерское лесничество, Громовское участковое лесничество
Ленинградской области

Признаки дешифрирования и вероятности их значений	Пошаговый процесс распознавания древесных пород (дешифрирования) и его достоверность (Q)
Преобладающая порода – сосна	
<p><i>Цвет:</i> желтый 1(71) – $P = 0,37$; желто-зеленый 1-1(57) – $P = 0,34$; желто-зеленый 1-2(58) – $P = 0,27$.</p> <p><i>Проекция крон в плане:</i> округлая – $P = 0,41$; неправильно-округлая – $P = 0,37$; однобоко-вытянутая – $P = 0,07$; угловатая –</p>	<p>Отличается от:</p> <p><i>Береза:</i> цвет – $Q = 0,76$; собственная тень – $Q = 0,87$; цвет промежутков – $Q = 0,92$; форма промежутков – $Q = 0,95$; выпуклость кроны – $Q = 0,97$; проекция крон в плане – $Q = 0,98$;</p>

Продолжение табл. 1

Признаки дешифрирования и вероятности их значений	Пошаговый процесс распознавания древесных пород (дешифрирования) и его достоверность (Q)
<p>$P = 0,07$; эллипсовидная – $P = 0,06$ <i>Падающая тень</i>: не заметна – $P = 0,68$; форма не выражена – $P = 0,19$; овальная – $P = 0,06$; треугольная – $P = 0,06$ <i>Выпуклость кроны</i>: ясно выражена – $P = 0,66$; остроконечная – $P = 0,26$; слабо заметна – $P = 0,08$ <i>Размеры проекций кроны</i>: 2,5–3,5 м – $P = 0,32$; 3,5–4,5 м – $P = 0,27$; 1,5–2,5 м – $P = 0,21$; 4,5–5,5 м – $P = 0,13$ <i>Форма промежутков</i>: неправильно округлая – $P = 0,48$; однобоко-вытянутая – $P = 0,26$; угловатая – $P = 0,10$; узорчатая – $P = 0,07$ <i>Размер промежутков</i>: 1,5–2,5 м – $P = 0,46$; 0–1,5 м – $P = 0,20$; 2,5–3,5 м – $P = 0,19$; 3,5–4,5 м – $P = 0,09$ <i>Просматриваемость в глубину</i>: просматривается хорошо – $P = 0,96$ <i>Цвет промежутков</i>: зеленый 1(50) – $P = 0,63$; серый 1(106) – $P = 0,20$; желто-зеленый 1-1(57) – $P = 0,09$ <i>Собственная тень</i>: треугольная – $P = 0,57$; не выражена – $P = 0,20$; серповидная – $P = 0,12$; овальная – $P = 0,07$</p>	<p>размеры проекций кроны – $Q = 0,98$; размер промежутков – $Q = 0,99$; падающая тень – $Q = 0,99$ просматриваемость в глубину – $Q = 0,99$ <i>Ель</i>: выпуклость кроны – $Q = 0,82$; форма промежутков – $Q = 0,92$; цвет – $Q = 0,96$; проекция крон в плане – $Q = 0,98$; падающая тень – $Q = 0,99$; собственная тень – $Q = 0,99$ <i>Осина</i>: цвет – $Q = 1,00$</p>
Преобладающая порода – береза	
<p><i>Цвет</i>: желтый 1(71) – $P = 0,61$; желтый 2(72) – $P = 0,35$ <i>Проекция крон в плане</i>: неправильно-округлая – $P = 0,43$; округлая – $P = 0,26$; эллипсовидная – $P = 0,11$; однобоко-вытянутая – $P = 0,11$ <i>Падающая тень</i>: не заметна – $P = 0,65$; форма не выражена – $P = 0,23$; овальная – $P = 0,07$ <i>Выпуклость кроны</i>: ясно выражена – $P = 0,82$; слабо заметна – $P = 0,11$; остроконечная – $P = 0,06$</p>	<p>Отличается от: <i>Сосна</i>: цвет – $Q = 0,76$; собственная тень – $Q = 0,87$; цвет промежутков – $Q = 0,92$; форма промежутков – $Q = 0,95$; выпуклость кроны – $Q = 0,97$; проекция крон в плане – $Q = 0,98$; размеры проекций кроны – $Q = 0,98$; размер промежутков – $Q = 0,99$; падающая тень – $Q = 0,99$; просматриваемость в глубину – $Q = 0,99$ <i>Ель</i>: выпуклость кроны – $Q = 0,94$; цвет – $Q = 0,99$; собственная тень – $Q = 1,00$</p>

Продолжение табл. 1

Признаки дешифрирования и вероятности их значений	Пошаговый процесс распознавания древесных пород (дешифрирования) и его достоверность (Q)
<p><i>Размеры проекций кроны:</i> 3,5–4,5 м – $P = 0,36$; 2,5–3,5 м – $P = 0,25$; 4,5–5,5 м – $P = 0,18$; 1,5–2,5 м – $P = 0,11$; 5,5–6,5 м – $P = 0,06$</p> <p><i>Форма промежутков:</i> однобоко-вытянутая – $P = 0,32$; неправильно округлая – $P = 0,26$; узорчатая – $P = 0,18$; угловатая – $P = 0,10$; округлая – $P = 0,09$</p> <p><i>Размер промежутков:</i> 1,5–2,5 м – $P = 0,52$; 0–1,5 м – $P = 0,22$; 2,5–3,5 м – $P = 0,16$; 3,5–4,5 м – $P = 0,06$</p> <p><i>Просматриваемость в глубину:</i> просматривается хорошо – $P = 0,94$; просматриваемость средняя – $P = 0,06$</p> <p><i>Цвет промежутков:</i> зеленый 1(50) – $P = 0,48$; серый 1(106) – $P = 0,39$; желто-зеленый 1-2(58) – $P = 0,07$; желто-зеленый 1-1(57) – $P = 0,06$</p> <p><i>Собственная тень:</i> не выражена – $P = 0,45$; треугольная – $P = 0,29$; серповидная – $P = 0,16$; овальная – $P = 0,06$</p>	<p><i>Осина:</i> цвет – $Q = 0,82$; размеры проекций кроны – $Q = 0,96$; выпуклость кроны – $Q = 0,99$; размер промежутков – $Q = 1,00$</p>
Преобладающая порода – ель	
<p><i>Цвет:</i> желто-зеленый 1-1(57) – $P = 0,63$; желтый 1(71) – $P = 0,35$</p> <p><i>Проекция крон в плане:</i> округлая – $P = 0,30$; угловатая – $P = 0,28$; неправильно-округлая – $P = 0,23$; эллипсовидная – $P = 0,07$; узорчатая – $P = 0,07$</p> <p><i>Падающая тень:</i> не заметна – $P = 0,49$; треугольная – $P = 0,28$; форма не выражена – $P = 0,23$</p> <p><i>Выпуклость кроны:</i> остроконечная – $P = 0,95$</p> <p><i>Размеры проекций кроны:</i> 3,5–4,5 м – $P = 0,30$; 2,5–3,5 м – $P = 0,26$; 1,5–2,5 м – $P = 0,23$; 4,5–5,5 м – $P = 0,14$</p> <p><i>Форма промежутков:</i> однобоко-вытянутая – $P = 0,42$; угловатая – $P = 0,28$; неправильно округлая – $P = 0,16$; не выражена – $P = 0,09$</p>	<p>Отличается от:</p> <p><i>Сосна:</i> выпуклость кроны – $Q = 0,82$; форма промежутков – $Q = 0,92$; цвет – $Q = 0,96$; проекция крон в плане – $Q = 0,98$; падающая тень – $Q = 0,99$; собственная тень – $Q = 0,99$</p> <p><i>Береза:</i> выпуклость кроны – $Q = 0,94$; цвет – $Q = 0,99$; собственная тень – $Q = 1,00$</p> <p><i>Осина:</i> цвет – $Q = 1,00$</p>

Окончание табл. 1

Признаки дешифрирования и вероятности их значений	Пошаговый процесс распознавания древесных пород (дешифрирования) и его достоверность (Q)
<p><i>Размер промежутков:</i> 1,5–2,5 м – $P = 0,37$; 2,5–3,5 м – $P = 0,23$; 3,5–4,5 м – $P = 0,19$; 0–1,5 м – $P = 0,09$</p> <p><i>Просматриваемость в глубину:</i> просматривается хорошо – $P = 0,81$; просматриваемость средняя – $P = 0,19$</p> <p><i>Цвет промежутков:</i> зеленый 1(50) – $P = 0,49$; серый 1(106) – $P = 0,37$; желто-зеленый 1-2(58) – $P = 0,07$</p> <p><i>Собственная тень:</i> треугольная – $P = 0,77$</p>	
Преобладающая порода – осина	
<p><i>Цвет:</i> желто-оранжевый 1(78) – $P = 0,71$; желтый 2(72) – $P = 0,29$</p> <p><i>Проекция крон в плане:</i> неправильно-округлая – $P = 0,43$; однобоко-вытянутая – $P = 0,14$; эллипсовидная – $P = 0,14$; угловатая – $P = 0,14$; узорчатая – $P = 0,14$</p> <p><i>Падающая тень:</i> не заметна – $P = 0,57$; форма не выражена – $P = 0,43$</p> <p><i>Выпуклость кроны:</i> слабо заметна – $P = 0,57$; ясно выражена – $P = 0,29$; крона плоская – $P = 0,14$</p> <p><i>Размеры проекций кроны:</i> 6,5–7,5 м – $P = 0,43$; 9,5–10,5 м – $P = 0,14$; 2,5–3,5 м – $P = 0,14$; 3,5–4,5 м – $P = 0,14$; 5,5–6,5 м – $P = 0,14$</p> <p><i>Форма промежутков:</i> однобоко-вытянутая – $P = 0,57$; узорчатая – $P = 0,43$</p> <p><i>Размер промежутков:</i> 4,5–5,5 м – $P = 0,43$; 3,5–4,5 м – $P = 0,14$; 0–1,5 м – $P = 0,14$; 1,5–2,5 м – $P = 0,14$; 2,5–3,5 м – $P = 0,14$</p> <p><i>Просматриваемость в глубину:</i> просматривается хорошо – $P = 0,71$; просматриваемость средняя – $P = 0,29$</p> <p><i>Цвет промежутков:</i> серый 1(106) – $P = 0,57$; зеленый 1(50) – $P = 0,43$</p> <p><i>Собственная тень:</i> не выражена – $P = 0,43$; овальная – $P = 0,29$; не заметна – $P = 0,14$; серповидная – $P = 0,14$</p>	<p>Отличается от: <i>Сосна:</i> цвет – $Q = 1,00$</p> <p><i>Береза:</i> цвет – $Q = 0,82$; размеры проекций кроны – $Q = 0,96$; выпуклость кроны – $Q = 0,99$; размер промежутков – $Q = 1,00$</p> <p><i>Ель:</i> цвет – $Q = 1,00$</p>

Для определения ряда лесотаксационных показателей, которые невозможно получить измерительным путем (диаметров деревьев, относительных полнот) на основании данных наземных работ по анализу признаков дешифрирования устанавливаются статистические зависимости между таксационными и дешифровочными показателями лесных насаждений. Статистические характеристики таксационных и дешифровочных показателей (средние значения, коэффициенты варьирования, ошибки, регрессионные зависимости) могут оцениваться с помощью программ для статистической обработки данных (MS Excel, OO Calc, Statgraphics, Statistica). Полученные уравнения зависимостей между таксационными и дешифровочными показателями используются для построения графиков, номограмм [9, 10]. Стоит отметить, что из возможных вариантов представления регрессионных зависимостей между дешифровочными и таксационными показателями (уравнения, таблицы, графики) наиболее удобными для производственного применения являются графики и номограммы. Построение номограмм оправдано при использовании многофакторных регрессионных зависимостей. Примеры графиков и номограмм для сосновых насаждений Учебно-тренировочного таксационно-дешифровочного полигона (Приозерское лесничество, Громовское участковое лесничество Ленинградской области) показаны на рис. 2.

Работы по контурному и таксационному аналитическому и измерительному дешифрированию в стереорежиме выполнялись по алгоритму, отраженному в табл. 2.

Обработка результатов дешифрирования, формирование ГИС баз данных, вывод итоговых документов и карт выполнялись в среде ПК ЕСАУЛ и ГИС ArcGIS. Предполагается, что при производственном внедрении технологии «От съемки – к проекту» допустимо варьирование технических, программных средств и используемых материалов ДЗЗ. Например, не исключается возможность выполнения аэросъемки другими современными цифровыми аэрокамерами (не только Vision Map A3). Формирование ГИС баз данных по результатам дешифрирования может выполняться средствами программ, используемых региональными филиалами предприятия (например, MapInfo, WinGIS, Topol и др.).

В 2013 г. выполнены работы по апробации технологии «От съемки – к проекту» на модельной территории.

Модельная территория (12 лесотаксационных кварталов общей площадью 1040 га Джатиевского участкового лесничества Приозерского лесничества) располагается в северо-западной части Ленинградской области на Карельском перешейке. На выбранных участках преобладают хвойные лесные насаждения 4–5 (хвойные) и 6–8 классов возраста (лиственные) 1–3 классов бонитета. Насаждения относятся к среднеполнотным (по хвойным – с полнотами 0,6–0,7, по лиственным – с полнотами 0,5–0,8).

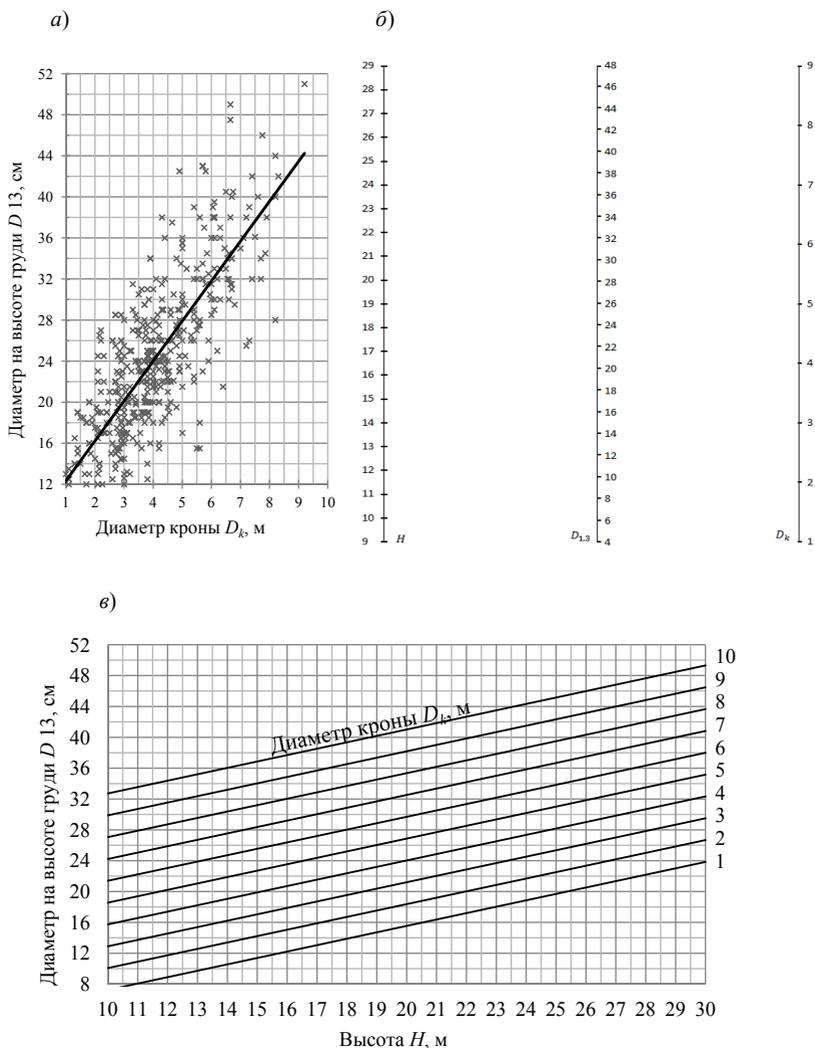


Рис. 2. Примеры графиков и номограмм зависимостей для сосновых насаждений:

a – зависимость $D_{1,3} = 3,90D_k + 8,44$ ($R^2 = 62,33\%$);

$б, в$ – зависимость $D_{1,3} = -3,89 + 0,83H + 2,83D_k$ ($R^2 = 73,15\%$)

Таблица 2

Порядок и состав работ по выполнению лесного дешифрирования цифровых материалов аэросъемки, выполненной камерой A3 VisionMap в программе Photomod StereoMeasure

Этап	Содержание	Состав работ
Подготовка проекта в ArcGIS	Проверка и корректировка слоев цифровой картографической основы лесничества в ArcGIS	Проверка и корректировка проекта лесничества, подготовленного геодезистами с использованием ортофотоплана. Создание слоев с границами категорий защитных лесов и ОЗУ
Подготовка проекта в Photomod StereoMeasure	Создание проекта в Photomod StereoMeasure с набором растровых и векторных слоев	Создание и сохранение в определенной директории проекта с заданной системой координат и проекцией. Импорт набора векторных слоев цифровой картографической основы с выбором картографических атрибутов слоев (толщины линий, цветов, угловых точек). Загрузка растровых слоев (снимков, ортофотоплана, при необходимости – лесных карт, фотоабрисов, чертежей отводов и пр.)
Контурное дешифрирование в Photomod StereoMeasure	Разделение территории лесного фонда на однородные участки (лесотаксационные выделы) в стереорежиме с созданием векторного слоя (полигоны-выдела) с атрибутами (номер квартала, номер выдела)	Операции по контурному дешифрированию лесотаксационных выделов в пределах каждого квартала: выполняется контурное дешифрирование внутри квартала, при этом каждый однородный участок отображается полигоном, смежные границы соседних выделов изображаются с точной привязкой средствами Photomod StereoMeasure; после разделения квартала на выделы выполняется присвоение полигонам номеров выделов и квартала; выполняется автоматическое подписание номеров выделов на слое

Окончание табл. 2

Этап	Содержание	Состав работ
Аналитическое и измерительное дешифрирование в Photomod StereoMeasure	Определение таксационных показателей с использованием измерений в стереорежиме, признаков дешифрирования, взаимосвязей и др.	Определение таксационных характеристик выделов с заполнением карточек таксации
Экспорт результатов в ГИС ArcGIS	Исправление картографических ошибок	Экспорт слоя «полигон-выдел» из проекта в Photomod StereoMeasure в проект ArcGIS. Проверка и исправление ошибок связи полигонов-выделов с атрибутами. Проверка и исправление ошибок топологии

После завершения работ по камеральному дешифрированию выполнялась проверка полученных результатов по следующему алгоритму:

- выбор выделов для проверки (контроля) с составлением схемы их размещения;
- выполнение уточненной (точность определения запаса не ниже 10 %) выборочно-перечислительной или выборочно-измерительной таксации выделов контрольной выборки специалистами, не участвующими в дешифрировании;
- сравнение полученных результатов с данными таксации дешифровочным способом по основным таксационным показателям – породному составу, возрасту, средним высотам и диаметрам элементов леса, классам бонитета, полноте и запасу древесины.

В табл. 3 показаны результаты сравнения дешифровочной и выборочной измерительной или перечислительной таксации.

Сравнение показывает, что ошибки определения основных таксационных показателей древостоев дешифровочным способом не превышают значений допустимых ошибок, установленных для наземного глазомерного способа таксации.

Проект норм и нормативов выработки на основные работы, связанные с лесотаксационным дешифрированием по технологии «От съемки – к проекту» (табл. 4), составлен на основании результатов проведенного хронометража с использованием Справочника базовых цен на лесостроительные работы (Справочник базовых цен на лесостроительные работы, утв. Приказом № 40 от 26 февраля 2013 г. ФГУП «Рослесинфорг»).

Таблица 3

Результаты сравнения дешифровочной и перечислительной таксации

Ошибки дешифровочной таксации											
Для основного элемента леса										Запас на 1 га, %	
Возраст, лет		состав, ед. сост.		Высота, %		Диаметр, %		Полнота, ед. полн.			
S	±σ	S	±σ	S	±σ	S	±σ	S	±σ	S	±σ
Сосновые насаждения (16 выделов)											
1-й исполнитель											
4	7,6	0,6	1,0	-9,2	6,8	-18,7	9,8	-0,03	0,08	-7,7	19,7
2-й исполнитель											
13	9,8	0,1	0,8	-1,4	5,8	-9,3	8,3	-0,07	0,08	-9,5	4,0
Еловые насаждения (15 выделов)											
1-й исполнитель											
-15	13,9	-0,7	1,5	-5,0	9,4	-13,1	13,2	-0,03	0,1	-8,7	15,2
2-й исполнитель											
-2	14,0	-1,0	1,0	0,2	11,5	-0,1	18,0	-0,02	0,1	-4,6	18,6

Таблица 4

**Нормы выработки по лесному стереодешифрированию по технологии
«От съемки – к проекту» (проект)**

Средняя площадь выдела, га	Контурное стереодешифрирование с векторизацией		Аналитико-измерительное стереодешифрирование	
	Норма выработки за один рабочий день (6 ч), га	Норматив годовой производительности одного таксатора- дешифровщика, тыс. га	Норма выработки за один рабочий день (6 ч), га	Норматив годовой производительности одного таксатора- дешифровщика, тыс. га
2 и менее	255	40,8	72	11,2
2,1–4,0	386	61,8	117	18,7
4,1–6,0	600	96,0	178	28,5
6,1–10,0	888	142,1	264	42,2
10,1–16,0	1350	216,0	405	64,8
16,1–20,0	1706	273,0	533	85,3
20,1–27,0	2112	337,9	676	108,2
27,1–35,0	2645	423,2	832	133,1

Выводы

В результате исследования:

- разработана современная высокопроизводительная технология таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту»;
- выполнена опытно-производственная проверка технологии на модельной территории с полным циклом полевых и камеральных работ;
- получен полный комплект выходных документов по таксации лесов модельной территории в соответствии с требованиями Лесостроительной инструкции;
- подготовлены:
 - предложения по внесению изменений в действующую Лесостроительную инструкцию в части таксации лесов дешифровочным способом,
 - приложение к Лесостроительной инструкции – методика лесного стереоскопического дешифрирования аэро- и космических снимков;
 - подготовлен проект норм выработки на таксацию лесов дешифровочным способом.

Результаты опытно-производственной проверки технологии «От съемки – к проекту» продемонстрировали следующие достоинства применения данной технологии:

- возможность работы с высокоинформативными материалами аэро-съемки сверхвысокого пространственного разрешения в виде ортофотоплана и ориентированных наборов стереопар;
- возможность совмещения технологических этапов, выполняемых ранее раздельно (контурное дешифрирование с созданием векторного слоя с адресными атрибутами);
- возможность выполнения работ по визуальному (ручному) лесному стереодешифрированию на современном техническом уровне с применением интерактивных методов анализа признаков дешифрирования и самого процесса таксационного дешифрирования;
- возможность интеграции результатов стереодешифрирования в ГИС базы данных лесоустройства;
- высокую сезонную производительность и приемлемую точность.

Вместе с тем результаты опытно-производственной проверки указывают на то, что важнейшим звеном всей технологической цепочки, на которое необходимо обратить особое внимание при производственном внедрении и которое определяет качество лесотаксационных работ, является полевая таксационно-дешифровочная тренировка исполнителей в объекте работ, включающая полевой и камеральный анализ признаков дешифриро-

вания, изучение характерных особенностей изображения полога лесных насаждений на материалах ДЗЗ, изучение и установление взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями лесных насаждений, выполнение таксационно-дешифровочных лесоизмерительных работ на объектах обучающей выборки (таксационно-дешифровочных пробных площадях, выделах с выборочной измерительно-перечислительной таксацией, выделах маршрутного тренировочного таксационно-дешифровочного хода).

Необходимым условием эффективного производственного внедрения технологии таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту» является создание целостной системы подготовки специалистов – дешифровщиков профессионального уровня на базе специализированных учебно-методических центров.

Разработанная в ФГУП «Рослесинфорг» в рамках научно-инновационной деятельности технология таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту» может быть вполне конкурентоспособной на международных рынках. В первую очередь, это касается крупных лесных стран Юго-Восточной Азии, Южной и Северной Америки.

Библиографический список

1. *Balenovic I., Seletkovic A., Pernar R., Marjanovic H., Vuletic D., Benko M.* Comparison of Classical Terrestrial and Photogrammetric Method in Creating Management Division / Proceedings of 45th International Symposium on Forestry Mechanization «Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment» Oct. 8–12, 2012, Dubrovnik (Cavtat), Croatia, pp. 1–13. URL: <http://www.formec2012.hr/home>

2. *Bohlin J., Wallerman J., Ollson H., Fransson J.E.S.* Species-specific forest variable estimation using non-parametric modeling of multi-spectral photogrammetric point cloud data / International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B8, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia, pp. 387–391.

3. *Толкач И.В., Бахур О.С.* Измерение основных таксационно-дешифровочных показателей древостоя с использованием цифровой фотограмметрической станции (ЦФС) Photomod Lite 5.0 // Труды БГТУ. 2012. № 1. Лесное хозяйство. С. 66–68.

4. *Трейфельд Р.Ф., Филиппов Ю.В.* Внедрение цифровых фотограмметрических систем в лесоустройство // Геопрофи. 2004. № 2. С. 38–41.

5. Данилин И.М., Медведев Е.М. Некоторые результаты международного проекта по исследованию возможностей лазерной, радарной и цифровой аэро- съемки лесов // ИВУЗ «Лесной журнал». 2008. № 1. С. 15–23.

6. Демидов Е.С., Сухих В.И. Новая технология лесоинвентаризации на основе рационального сочетания наземной таксации с камеральным дешифрированием аэрофотоснимков. М.: Лесн. пром-сть, 1974.

7. Любимов А.В., Дмитриев И.Д., Вавилов С.В., Данюлис Е.П. Лесная аэро- фотосъемка и авиация. Дешифрирование аэро- и космических снимков. Л.: ЛТА, 1985. 52 с.

8. Наркевич В.И. Техническая подготовка таксаторов-дешифровщиков: практ. пособие по лесотаксационному, контурному и полевому дешифрированию аэрофотоснимков. СПб.: СЗЛУП, 1995. 75 с.

9. Хованский Г.С. Основы номографии. М.: Наука, 1976. 352 с.

10. Блох Л.С. Практическая номография. М.: Высш. шк., 1971. 328 с.

Bibliography

1. Balenovic I., Seletkovic A., Pernar R., Marjanovic H., Vuletic D., Benko M. Comparison of Classical Terrestrial and Photogrammetric Method in Creating Management Division. Proceedings of 45th International Symposium on Forestry Mechanization «Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment» Oct. 8–12, 2012, Dubrovnik (Cavtat), Croatia, pp. 1–13. URL: <http://www.formec2012.hr/home>

2. Bohlin J., Wallerman J., Ollson H., Fransson J.E.S. Species-specific forest variable estimation using non-parametric modeling of multi-spectral photogrammetric point cloud data. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B8, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia, pp. 387–391.

3. Tolkach I.V., Bakhur O.S. Izmerenie osnovnykh taksatsionno-deshifrovochnykh pokazatelei drevostoiia s ispol'zovaniem tsifrovoi fotogrammetricheskoi stantsii (TsFS) Photomod Lite 5.0. *Trudy BGTU*. 2012. № 1. Lesnoe khoziaistvo. S. 66–68. (Rus)

4. Treifel'd R.F., Filippov Iu.V. Vnedrenie tsifrovykh fotogrammetricheskikh sistem v lesoustroistvo. *Geoprofi*. 2004. № 2. S. 38–41. (Rus)

5. Danilin I.M., Medvedev E.M. Nekotorye rezul'taty mezhdunarodnogo proekta po issledovaniiu vozmozhnostei lazernoi, radarnoi i tsifrovoi aeros"emki lesov. *IVUZ «Lesnoi zhurnal»*. 2008. № 1. S. 15–23. (Rus)

6. Demidov E.S., Sukhikh V.I. Novaia tekhnologiia lesoinventarizatsii na osnove ratsional'nogo sochetaniia nazemnoi taksatsii s kameral'nym deshifrirovaniem aerofototsnimkov. М.: Лесн. пром-ст', 1974. (Rus)

7. *Liubimov A.V., Dmitriev I.D., Vavilov S.V., Daniulis E.P.* Lesnaia aerofotos"emka i aviatsiia. Deshifirovanie aero- i kosmicheskikh snimkov. L.: LTA, 1985. 52 s. (Rus)

8. *Narkevich V.I.* Tekhnicheskaiia podgotovka taksatorov-deshifrovshchikov: prakt. posobie po lesotaksatsionnomu, konturnomu i polevomu deshifirovaniuu aerofotosnimkov. SPb.: SZLUP, 1995. 75 s. (Rus)

9. *Khovanskii G.S.* Osnovy nomografii. M.: Nauka, 1976. 352 s. (Rus)

10. *Blokh L.S.* Prakticheskaiia nomografiia. M.: Vyssh. shk., 1971. 328 s. (Rus)

Архипов В.И., Черниковский Д.М., Березин В.И., Белов В.А. Современная технология таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту» // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. Вып. 208. С. 22–42.

Показаны основные этапы разработанной технологии стереоскопического дешифрирования лесов «От съемки – к проекту» с использованием материалов современных аэросъемок, специального программно-аппаратного обеспечения. Используются следующие средства: фотограмметрический комплекс VisionMap A3, цифровая фотограмметрическая система Photomod, программный комплекс «ЕСАУЛ», ГИС ArcGIS, специальные аппаратные средства для стереодешифрирования. На примере модельной территории показаны результаты апробации данной технологии. Результаты сравнения дешифровочной и перечислительной (контрольной) таксации демонстрируют, что ошибки определения основных таксационных показателей древостоев дешифровочным способом не превышают нормативных.

Ключевые слова: цифровая аэросъемка, признаки дешифрирования, контурное и аналитическое дешифрирование, таксация, геоинформационная база данных.

Arkhipov V.I., Chernikhovskii D.M., Berezin V.I., Belov V.A. Modern technology of forest mensuration by interpretation method «From survey – to the project». *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2014, is. 208, pp. 22–42 (in Russian with English summary).

In the article are shown stages of developed technology of forest mensuration by interpretation method, named «From survey to project» with use modern aero survey data, special software and hardware. Are used next means: photogrammetric complex VisionMap A3, digital photogrammetric system Photomod, program «ESAUL», GIS ArcGIS, special hardware for stereo visualization. On example of model territory are shown results of approbation of its technology. Comparison of results of forest mensuration by interpretation method and control mensuration by enumeration inventory

demonstrated that errors of definition of main forest inventory characteristics do not exceed the norms.

Key words: digital aero survey, features of interpretation, contour and analytical interpretation, forest mensuration, geoinformatic database.

АРХИПОВ Владимир Иванович – директор департамента науки и инноваций ФГУП «Рослесинфорг», кандидат сельскохозяйственных наук.

109316, Волгоградский пр., д. 45, стр. 1, г. Москва, Россия. E-mail: otделnauki@mail.ru

АРКНІРОВ Vladimir I. – PhD (Agriculture), director of Department FSUE «Roslesinforg».

109136. Volgogradsky av. 45/1. Moscow. Russia. E-mail: otделnauki@mail.ru

ЧЕРНИХОВСКИЙ Дмитрий Михайлович – ведущий инженер ФГУП «Рослесинфорг», кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 2189-1988.

109316, Волгоградский пр., д. 45, стр. 1, г. Москва, Россия. E-mail: cherndm2006@yandex.ru

CHERNIKHOVSKII Dmitrii M. – PhD (Agriculture), leading engineer of Department FSUE «Roslesinforg». SPIN code: 2189-1988.

109136. Volgogradsky av. 45/1. Moscow. Russia. E-mail: cherndm2006@yandex.ru

БЕРЕЗИН Виктор Иванович – заместитель руководителя отдела филиала ФГУП «Рослесинфорг» «Севзаплеспроект», кандидат сельскохозяйственных наук.

196084, ул. Коли Томчака, д. 16, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: berezin.vi@yandex.ru

BEREZIN Viktor I. – PhD (Agriculture), deputy head of department Branch «Sevzaplesproject» of FSUE «Roslesinforg».

196084. Kolya Tomchak str. 16. St. Petersburg. Russia. E-mail: berezin.vi@yandex.ru

БЕЛОВ Владимир Александрович – аспирант, инженер ФГУП «Рослесинфорг».

109316, Волгоградский пр., д. 45, стр. 1, г. Москва, Россия. E-mail: banka_89@mail.ru

BELOV Vladimir A. – postgraduate, engineer of Department FSUE «Roslesinforg».

109136. Volgogradsky av. 45/1. Moscow. Russia. E-mail: banka_89@mail.ru