

УДК 630\*587.5

## ОПЫТ ТАКСАЦИИ ЛЕСОВ ДЕШИФРОВОЧНЫМ СПОСОБОМ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ЦИФРОВЫХ АЭРОСНИМКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

© 2014 г. В. И. Архипов<sup>1</sup>, Д. М. Черниховский<sup>1</sup>, В. И. Березин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Рослесинфорг»  
109316, Москва, Волгоградский просп., 45, стр. 1

<sup>2</sup> Филиал ФГУП «Рослесинфорг» «Севзаплеспроект»  
196084, Санкт-Петербург, ул. Коли Томчака, 16

E-mail: otдел-nauki@mail.ru, cherndm2006@yandex.ru, ornt@lesproekt.com

Поступила в редакцию 01.09.2014 г.

Показаны основные этапы разработанной технологии стереоскопического дешифрирования лесов «От съемки – к проекту» с использованием материалов современных аэро-съемок и специального программно-аппаратного обеспечения. Необходимость разработки высокопроизводительной технологии таксации лесов обусловлена растущей потребностью государства, бизнеса, гражданского общества в актуальной и достоверной информации о лесах. Задачами исследования являлись: интегрирование ряда программно-аппаратных средств в единую технологию, ее опытно-производственная проверка на реальном объекте, подготовка предложений о внедрении предлагаемой технологии в лесотаксационное производство и формировании системы подготовки специалистов-дешифровщиков. Положительные результаты экспериментальных работ по измерительному и аналитическому дешифрированию лесов в стереорежиме на основе фотограмметрического программного обеспечения были получены специалистами из России, Хорватии, Белоруссии, Швеции. В технологии «От съемки – к проекту» используются следующие программно-аппаратные средства: фотограмметрический комплекс VisionMap А3, 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 нормативно допустимые. Указаны преимущества практического применения данной технологии. Отмечено, что таксация лесов дешифровочным способом представляет собой сложный психофизиологический процесс и требует высокой квалификации исполнителей на базе специальной подготовки. В статье указывается на необходимость формирования системы подготовки специалистов-дешифровщиков для выполнения таксации лесов. Перечислены разработанные и подготовленные учебные программы и учебно-методические пособия по дистанционным методам в лесном хозяйстве.

**Ключевые слова:** новая технология таксации лесов, дешифровочный способ, программно-аппаратное обеспечение, цифровые аэроснимки.

### ВВЕДЕНИЕ

Общий спрос на поведельные лесотаксационные данные в Российской Федерации в настоящее время является неудовлетворенным и растущим. По экспертным оценкам, он составляет не менее 300 млн га или

30 млн га в ежегодном выражении. Системное решение задачи таксации лесов в таких объемах исключительно традиционными наземными способами не представляется возможным по организационно-технологическим и экономическим причинам. Выходом из сложившейся ситуации может стать приме-

нение современных высокотехнологичных дистанционных методов таксации. Об этом свидетельствуют мировые тенденции и действующая мировая практика. Так, в соседней Финляндии принята и уже в течение 5 лет осуществляется Государственная программа периодической таксации лесов дистанционным способом на повыведельном уровне по технологии Laser-Photo-Plot (за исключением Северной Лапландии).

По ряду причин применение дистанционных методов в лесном хозяйстве Российской Федерации характеризуется многолетним застоем. Технологии и инструменты для лесотаксационного дешифрирования не менялись с 1980-х гг. Возможности материалов цифровых аэрофотосъемок для лесочетных работ мало изучены.

Современные подходы к обработке и применению данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включая автоматическое дешифрирование и моделирование рельефа, до сих пор не используются при лесочетных работах, в то время как в смежных областях, таких как геодезия, кадастр, маркшейдерия, экология, отмечается их успешное применение.

Ключевой причиной отсутствия в лесоустроительной деятельности производственных технологий автоматической обработки материалов ДЗЗ является невозможность получения с их помощью стандартных выходных материалов повыведельной лесной таксации (таксационных описаний, лесных карт). Поэтому при таксации лесов до сих пор используется исключительно визуальное (ручное) дешифрирование.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Опыт использования современных фотограмметрических программ и технологий для выполнения задач лесного стереоскопического дешифрирования материалов ДЗЗ отражен в ряде публикаций (Balenovich et al., 2012; Bohlin et al., 2012; Толкач, Бахур, 2012). Положительные результаты экспериментальных работ по измерительному и аналитическому дешифрированию лесов в стереорежиме на основе фотограмметрического

программного обеспечения получены специалистами из России, Хорватии, Белоруссии, Швеции.

ФГУП «Рослесинфорг» приобрел аэросъемочный фотограмметрический комплекс (АФК) VisionMap АЗ, позволяющий выполнять высокопроизводительную аэросъемку сверхвысокого пространственного разрешения (от 2 до 25 см). О технико-экономических особенностях применения данного комплекса говорится в статьях, опубликованных в журнале «Геопрофи» (Печатников, Райзман, 2008, 2009; Райзман, 2012; Райзман, Гозес, 2014). Но возможности и перспективы его применения для выполнения лесочетных задач, особенно в части тематического лесного дешифрирования, до недавнего времени оставались неясными.

Актуальной задачей являлось интегрирование ряда программно-аппаратных средств в единую технологию, ее опытно-производственная проверка на реальном объекте и оценка трудозатрат.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Авторами статьи разработана технологическая схема таксации лесов дешифровочным способом с элементами интерактивного дешифрирования на основе АФК VisionMap АЗ, цифровой фотограмметрической станции Photomod, программного комплекса «ЕСА-УЛ», геоинформационной системы ArcGIS Desktop Standard 10.2. и аппаратных средств для стереодешифрирования. Предложенная технология получила название «От съемки – к проекту».

Для выполнения исследований 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 деревьев и степени сомкнутости полога, других геометрических показателей; создание векторных слоев с атрибутами.

В состав аппаратного обеспечения для лесного стереодешифрирования вошли рабочие станции с требуемой конфигурацией (процессорами IntelCore i7 с оперативной памятью 4 Гб, видеокартами nVidia Quadro FX 4800, жесткими дисками объемом 2 Тб), зеркальные мониторы Planar Stereo Mirror SD 2220W, высокочастотные мониторы Samsung Sync Master SA750 со стереочками.

Основные этапы работ по технологическому циклу «От съемки – к проекту» показаны на рис. 1.

Для апробации технологии по каждому из этапов разработаны методики проведения работ, выбрана модельная территория и выполнена опытно-производственная проверка

всего технологического цикла.

Алгоритм, приведенный на рис. 1, в целом не противоречит традиционному порядку камеральных работ на основе и с использованием методов лесотаксационного дешифрирования 1980-х гг. Отличия носят технологический характер и связаны в первую очередь с применением новых для отечественного лесоустройства материалов дистанционного зондирования и современного программно-аппаратного обеспечения для стереодешифрирования.

Камеральное стереоскопическое дешифрирование выполняли на специально оборудованных автоматизированных рабочих местах (АРМ) таксаторы-дешифровщики. Кон-

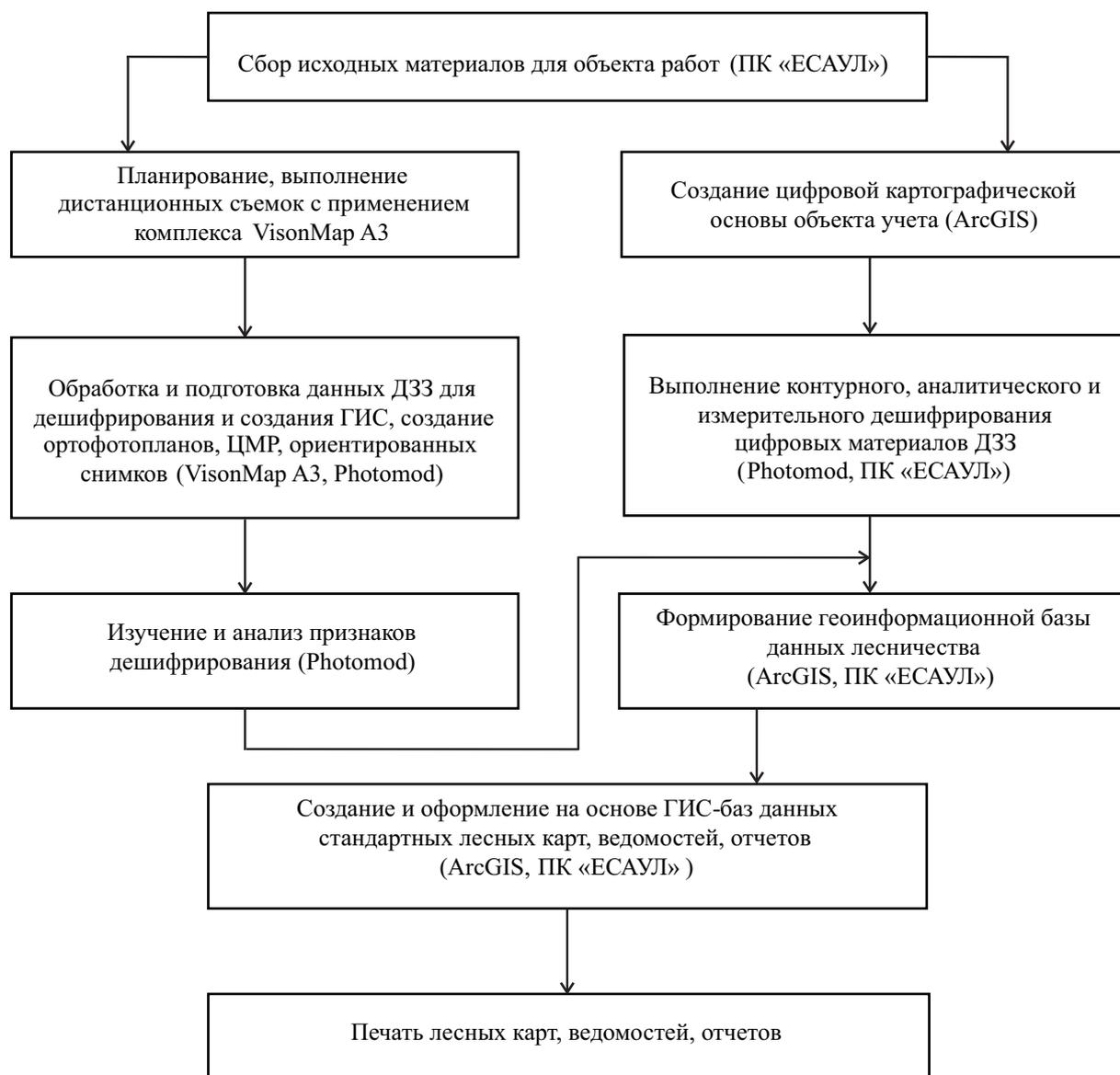


Рис. 1. Этапы лесотаксационных работ по технологии «От съемки – к проекту».

турное дешифрирование – установление границ лесотаксационных выделов в стереорежиме – осуществляли одновременно с аналитическим дешифрированием. Критериями разграничения выделов служили различия по составу, высоте, форме и размерам крон, сомкнутости полога, условиям местопрорастания и другим особенностям насаждений. Эти особенности при дешифрировании анализировали и оценивали глазомерно (при контурном дешифрировании) сначала в обобщенной, а затем в детальной форме. Они являлись основанием для проведения границ выделов. В дальнейшем, на стадии аналитического и измерительного дешифрирования, перечисленные различия уточняли и фиксировали при записи таксационных характеристик выделов в карточках таксации.

Визуальное стереоскопическое дешифрирование лесов – сложный процесс, требующий помимо наличия материалов дистанционного зондирования и средств их обработки привлечения квалифицированных специалистов-дешифровщиков. Результатами работ по стереодешифрированию являлись векторный слой с границами выделов и набор заполненных карточек таксации. Карточка такса-

ции выдела (рис. 2) – это результат таксации лесов, ее форма утверждена Лесоустроительной инструкцией (Приказ Рослесхоза № 516 от 12 декабря 2011 г. «Об утверждении Лесоустроительной инструкции»). В зависимости от особенностей анализируемых выделов карточка таксации может содержать десятки различных характеристик, для определения которых необходимо использовать совокупность нормативно-справочной информации и знаний из ряда дисциплин лесохозяйственного и общепрофильного профиля (дендрологии, почвоведения, лесоводства, ботаники, гидроресурсоведения и проч.). Большой и разнообразный состав таксационных показателей, сложный порядок их определения и заполнения в карточке таксации – главное препятствие для внедрения автоматических методов лесного дешифрирования.

При заполнении карточек таксации в процессе дешифрирования использовалась совокупность признаков дешифрирования (табл. 1). Для изучения признаков дешифрирования и отработки приемов их практического применения в процессе таксации лесов дешифровочным способом специалисты-де-

Таксационная характеристика выдела																								
Лесхоз		Славский			Лесничество			03		Квартал		0250		Год таксации		2002								
Категория защитности Леса зеленых зон																								
1	№ выдела		Площадь, Кат		Д ОЗУ		Склон		Выс.		Эрозия		Выс. Формы		2		Проектируемые х/м		Целевая					
	подвыдел		га		зем. П		экс. крут.		н.у.м		вид ст.		макс. ген. под.				1-ое %выб		2-ое 3-е порода					
	18.0		1.5		1																			
3	Преобл. порода		Класс бонит.		Тип леса		ТЛУ		Год вырубки		Кол-во пней, сосны		Диаметр пней, см		Тип вырубки		4		Захламл. общая		Старый			
	Б		2		КС		С2												кбм/ га		ликвид сухостой			
10	Ярус кф.		Состав пор.		А лет		Н, Д, Т м см		Вид Плн П.с		Запас на га		Ярус кф.		Состав пор.		А лет		Н, Д, Т м см		Вид Плн П.с		Запас на га	
	1		8 Б		30		14.0 14 2 1 4		61				10		2 С		24 6.0 6							
			1 Д		35		13.0 14 2								2 Д		25 5.0 6							
			1 С		35		14.0 14 1																	
			Е		50																			
	5		6 Е		25		5.0 6 0 5 0		25															
31	Подрост тыс.шт		Н, м		А, лет		Козф. Породы		Козф. Породы		Козф. Породы		Оц.		32		Подлесок, густота		Порода		Порода		Порода	
															2		Р		Крл					
Дополнительные сведения																								
№	1	2	3	4	5	6	7	8	№	1	2	3	4	5	6	7	8							
15	25	2001		15	1	3		0.0																
23	59																							

Рис. 2. Образец заполненной карточки таксации.

**Таблица 1.** Таксационные показатели и признаки их дешифрирования

№ п/п	Таксационный показатель	Класс признаков дешифрирования
1	Категория земель	Фотометрические и морфологические
2	Преобладающая порода	Фотометрические, морфологические и ландшафтные
3	Состав насаждений	Фотометрические, морфологические и ландшафтные
4	Возраст (класс или группа)	Морфологические и фотометрические
5	Тип лесорастительных условий	Ландшафтные, фотометрические и морфологические
6	Класс бонитета	Взаимосвязи с другими показателями
7	Средняя высота (яруса, элемента леса)	Измерительные методы, глазомерная оценка, взаимосвязи с другими показателями
8	Средний диаметр элементов леса	Взаимосвязи с другими показателями
9	Сомкнутость полога	Измерительные методы, глазомерная оценка
10	Диаметр проекции крон	Измерительные методы, глазомерная оценка
11	Количество проекций крон	Измерительные методы
12	Относительная полнота	Взаимосвязи с сомкнутостью, глазомерная оценка
13	Запас на 1 га	Взаимосвязи с другими показателями

шифровщики проходили обязательную тренировку на территории объекта работ.

В 2013 г. на модельной территории выполнены работы по апробации технологии «От съемки – к проекту». Модельная территория выбрана на Карельском перешейке в северо-западной части Ленинградской области на территории Джатиевского участкового лесничества Приозерского лесничества. Она включала 12 лесотаксационных кварталов общей площадью 1040 га.

Фрагменты ортофотопланов модельной территории, полученные по результатам аэросъемки крупноформатной цифровой камерой VisionMap A3 CIR, показаны на рис. 3 (состав 9E1B+C, класс бонитета II, тип леса – ельник-черничник свежий, возраст 110 лет, средняя высота яруса 26 м, относительная полнота 0.7, запас 350 м<sup>3</sup>/га) и рис. 4 (состав 6Oc3E1C, класс бонитета I, тип леса – осинник-кисличник, возраст 70 лет, средняя высота яруса 25 м, относительная полнота 0.7, запас 280 м<sup>3</sup>/га).

В состав основных работ по апробации технологии «От съемки – к проекту» входили:

- устройство объектов обучающей выборки в составе тренировочного таксационно-дешифровочного полигона;
- полевая таксационная и таксационно-дешифровочная тренировка таксаторов и таксаторов-дешифровщиков;
- таксация модельных участков наземным и дистанционным способами;

- контрольная таксация выборочными измерительными и перечислительными методами;

- оценка точности дешифрирования.

Результаты сравнения дешифровочной и наземной перечислительной таксации приведены в табл. 2. Они показали, что систематические ( $S$ ) и случайные ( $\sigma$ ) ошибки определения основных таксационных показателей древостоев дешифровочным способом не превысили значений допустимых величин, установленных для наземного глазомерного способа таксации.

После выполнения работ по лесному стереоскопическому дешифрированию сформирована геоинформационная база данных модельной территории и на ее основе получен полный комплект выходных документов по таксации лесов модельной территории в соответствии с требованиями Лесоустроительной инструкции (таксационные описания, комплект лесных карт).

Применение данной технологии открывает новые возможности, такие как:

- работа с высокоинформативными материалами аэросъемки в виде ортофотоплана с пространственным разрешением до 15 см на местности и ориентированных наборов стереопар;
- совмещение процессов контурного дешифрирования и векторизации границ выделов (ранее эти работы выполнялись отдельно);

– выполнение работ по визуальному (ручному) лесному стереодешифрированию на современном техническом уровне с применением интерактивных методов анализа признаков дешифрирования и процесса таксационного дешифрирования;

– интеграция результатов стереодешифрирования в геоинформационные базы данных лесоустройства;

– высокая сезонная производительность и приемлемая точность.

Таксация лесов дешифровочным спосо-

бом представляет собой сложный психофизиологический процесс по созданию и обработке лесотаксационной информации, требует высокой квалификации исполнителей на базе специальной подготовки (Рубахин, 1974; Бардин, 1976). Таких специалистов в настоящее время в стране нет, поэтому необходимым условием эффективного производственного внедрения технологии таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту» является создание целостной системы подготовки специалистов-дешифров-

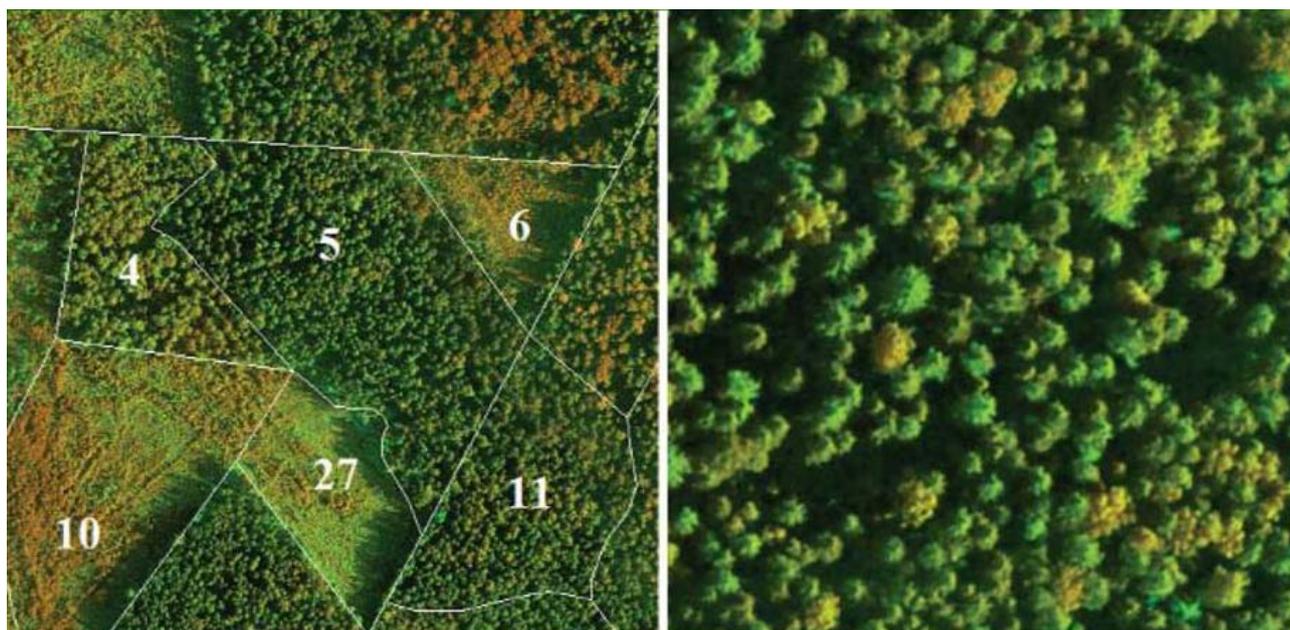


Рис. 3. Ортофотоплан квартала № 123 (выдел № 5) в масштабе 1:5 000 (слева) и 1:1 000 (справа).

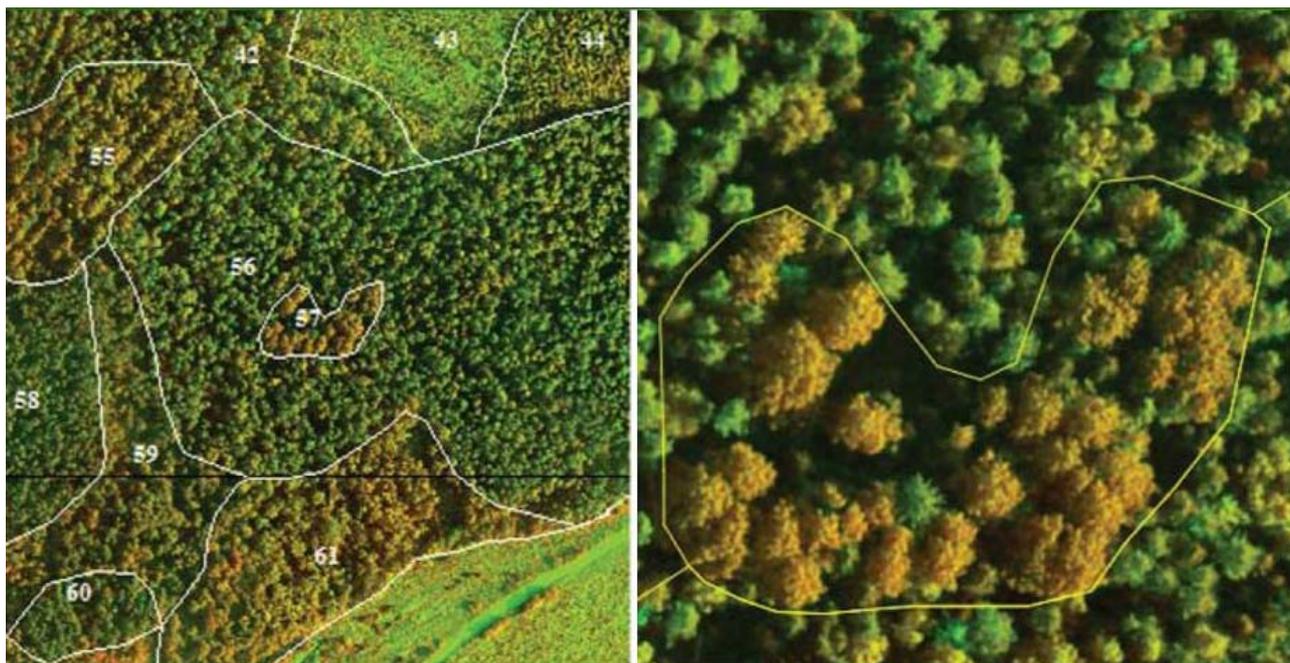


Рис. 4. Ортофотоплан квартала № 152 (выдел № 57) в масштабе 1:5 000 (слева) и 1:1 000 (справа).

**Таблица 2.** Результаты сравнения дешифровочной и наземной выборочной перечислительной таксации

Ошибки дешифровочной таксации											
Для основного элемента леса										Запас на 1 га, %	
Возраст, лет		Состав, единиц		Высота, %		Диаметр, %		Полнота, единиц			
<i>S</i>	$\sigma$	<i>S</i>	$\sigma$	<i>S</i>	$\sigma$	<i>S</i>	$\sigma$	<i>S</i>	$\sigma$	<i>S</i>	$\sigma$
<i>Сосновые насаждения (16 выделов)</i>											
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
<i>Еловые насаждения (15 выделов)</i>											
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

щиков профессионального уровня. Такая система включает два направления:

- совершенствование имеющихся и разработка новых современных учебных программ и наглядных практических пособий по дистанционным методам в лесном хозяйстве;
- организация специализированного учебно-методического центра по развитию дистанционных методов.

В рамках работ по этим направлениям ФГУП «Рослесинфорг» совместно с Санкт-Петербургским государственным лесотехническим университетом им. С. М. Кирова и Поволжским государственным технологическим университетом подготовили:

- курс лекций (32 часа, 10 тем),
- курс лабораторных занятий (64 часа, 12 тем),
- план учебной практики на учебно-тренировочном полигоне (96 часов, 4 темы),
- комплект наглядных учебных пособий для выполнения практических занятий (набор эталонов, карточек, таблиц, классификаций),
- программы профессиональной подготовки специалистов для трех категорий обучаемых.

Для организации специализированного учебно-методического центра по развитию дистанционных методов подобран и оформлен в долгосрочную аренду лесной участок площадью 28.5 га. На арендуемый участок разработан и прошел государственную экспертизу соответствующий Проект освоения лесов. В 2013 г. на участке заложен полевой кластер

по профессиональной подготовке таксаторов-дешифровщиков.

По программе, составленной в рамках разработки инновационной технологии «От съемки – к проекту», в мае 2014 г. на базе Северо-Западного филиала ФГУП «Рослесинфорг» в течение двух недель прошли совместное обучение приемам и методам лесного стереоскопического дешифрирования цифровых изображений с получением повысительной таксационной характеристики лесов работники филиалов «Севзаплеспроект» и «Дальлеспроект» (Хабаровск).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная во ФГУП «Рослесинфорг» технология таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту» может быть вполне конкурентоспособной на рынках лесоучетных работ как в странах СНГ, так и в государствах Юго-Восточной Азии, Южной и Северной Америки, на территории которых располагаются значительные лесные массивы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бардин К. В.* Проблемы порогов чувствительности и психофизические методы. 1976. М.: Наука, 1976. 395 с.
- Печатников М., Райзман Ю.* Общее назначение и технические характеристики АФК Visionmap A3 // Геопрофи. 2008. № 3. С. 28–31.

- Печатников М., Райзман Ю.* Аэросъемка с АФК Visionmap А3 // Геопрофи. 2009. № 1. С. 44–47.
- Райзман Ю.* Планирование аэросъемки в эпоху цифровых камер или от поперечного перекрытия к уклону зданий // Геопрофи. 2012. № 2. С. 17–20.
- Рубахин В. Ф.* Психологические основы обработки первичной информации. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1974. 296 с.
- Райзман Ю., Гозес А.* А3 EDGE – новая аэросъемочная камера компании Visionmap // Геопрофи. 2014. № 1. С. 41–44.
- Толкач И. В., Бахур О. С.* Измерение основных таксационно-дешифровочных показателей древостоя с использованием цифровой фотограмметрической станции (ЦФС) Photomod Lite 5.0 // Тр. БГТУ. Лесн. хозяйство. 2012. № 1. С. 66–68.
- Balenovic I., Seletkovic A., Pernar R., Marjanovic H. et al.* Comparison of Classical Terrestrial and Photogrammetric Method in Creating Management Division / Proc. 45<sup>th</sup> Int. Symp. Forestry Mechanization «Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment» Oct. 8–12, 2012, Dubrovnik (Cavtat), Croatia. P. 1–13. <http://www.formec2012.hr/home>
- 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 // Int. Arch. Photogram., Rem. Sens. Spat. Inf. Sci. V. XXXIX-B8, 2012. XXII ISPRS Congress, 25 Aug.–01 Sept., 2012, Melbourne, Australia. P. 387–391.

## **An Experience of Forest Inventory by Photo Interpretation Method Based on Advanced Firmware and Digital Aerial Photographs of New Generation**

**V. I. Arkhipov<sup>1</sup>, D. M. Chernikhovski<sup>1</sup>, V. I. Berezin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Federal State Unitary Enterprise «Roslesinforg»*

*Volgogradski Prospekt, 45, Building 1, Moscow, 109316 Russian Federation*

<sup>2</sup> *Branch of the Federal State Unitary Enterprise «Roslesinforg» «Sevzaplesproekt»*

*Kolya Tomhcak str., 16, Saint-Petersburg, 196084 Russian Federation*

E-mail: [otdel-nauki@mail.ru](mailto:otdel-nauki@mail.ru), [cherndm2006@yandex.ru](mailto:cherndm2006@yandex.ru), [ornt@lesproekt.com](mailto:ornt@lesproekt.com)

The main stages of the developed technology of forest inventory by interpretation method, named «From survey – to project», with the use of modern aerial survey data, special software and hardware are discussed in the paper. A need for development of high-end technology of forest inventory is due to increasing demands of state, business, and civil community for actual and correct information about forests. The tasks of research were: integration software and hardware into single technology, testing on the real object, and development of recommendations for introduction into production and forming of system of preparing specialists for forest interpretation. Positive results of experimental works by measurement and analytical forest interpretation in stereo regime on base of photogrammetric software were obtained by specialists from Russia, Croatia, Belarus, and Sweden. In the technology «From survey – to project», the following instruments are used: photogrammetric complex Vision Map A3, digital photogrammetric system Photomod, program «ESAUL», GIS ArcGIS, special hardware for stereo visualization. Results of testing this technology are shown on example of model territory. Comparison of results of forest inventory obtained by interpretation method and results of control inventory obtained by enumeration method demonstrated that errors of determination of main forest inventory characteristics do not exceed the norms. The advantages of practical use of the technology are shown. It has been noted that forest inventory by interpretation method is a complex psychophysiological process and it requires an attraction of specialists with high qualification on base of special training. It is indicated the necessity of forming system for training forest inventory specialists on interpretation method. The designed and prepared curriculums and training manuals for interpretation method in forestry are listed.

**Keywords:** *new technology of forest inventory, photo interpretation method, firmware, digital aerial photographs.*