Разработка, апробация и производственное внедрение модуля PHOTOMOD StereoMeasure для задач лесного стереоскопического дешифрирования

Д. М. Черниховский, В. И. Архипов, В. И. Березин, В. А. Белов
ОАО «Леспроект», Санкт-Петербург, Россия

Необходимость развития дистанционных методов и безальтернативность применения материалов дистанционных съемок в качестве информационно-технической основы лесоучетных работ в Российской Федерации очевидна. К сожалению, несмотря на значительный прогресс в сфере дистанционных методов в целом, в части их применения в лесном хозяйстве Российской Федерации отмечается многолетний застой: используется ограниченный состав материалов ДЗЗ, технологии и инструменты лесного дешифрирования не меняются с 1980-х гг., процессы обработки и представления материалов аэрокосмосъемки во многом несовершенны.

В условиях Российской Федерации с ее огромными лесными территориями и преимущественно слабо развитой лесной инфраструктурой неизбежно доминирование относительно дешёвых дистанционных методов оценки количественных и качественных характеристик лесов при лесоустройстве, государственной инвентаризации лесов и иных видах лесоучетных работ. Безусловный приоритет дистанционных методов при выполнении лесоучетных работ подтверждается опытом крупнейших лесных стран мира с высоким уровнем ведения и развития лесного хозяйства.

На протяжении последних 20 лет в Российской Федерации отсутствует целенаправленная научно-производственная деятельность по развитию и совершенствованию дистанционных методов в лесном хозяйстве. Лесная наука и практика применения данных ДЗЗ в лесном хозяйстве существенно отстают от смежных направлений (нефтегазового, горнодобывающего комплексов, геологии, сельского хозяйства, природопользования и экологии, транспорта, муниципального управления). Ряд актуальных разработок советского периода сейчас практически не используется, а новые, несмотря на высокие современные технические и технологические возможности, не создаются.

Для преодоления многолетнего застоя в области применения дистанционных методов в лесном хозяйстве Российской Федерации актуальны следующие направления:

- выполнение научно-производственных исследований, нацеленных на применение дистанционных методов и материалов дистанционного зондирования в лесном хозяйстве,
- разработка, апробация и производственное внедрение методик и технологий лесоучетных работ на основе дистанционных методов и информационных технологий,
- реорганизация профессиональной подготовки специалистов-дешифровщиков.

Коллективом специалистов в рамках научно-инновационной деятельности ФГУП «Рослесинфорг» в 2012-2014 гг. выполнен ряд проектов, направленных на совершенствование лесоучетных работ на основе дистанционных методов:

«Совершенствование способа таксации лесов методом дешифрирования таксационных характеристик насаждений с применением стереосъемки, специального комплекса технических средств и программного обеспечения»;

«Разработка методических рекомендаций по выполнению государственной инвентаризации лесов (подсистема: Определение количественных и качественных характеристик лесов) в объектах с наличием труднодоступных территорий на основе использования информационных свойств материалов аэрокосмических съемок сверхвысокого разрешения и выборочных натурных работ»;

«Подготовка описания технологического цикла «От съемки к проекту» на основе использования фотограмметрического комплекса VisionMap A3, модуля по стереоскопическому дешифрированию PHOTOMOD и ПК «ЕСАУЛ». Опытная апробация технологического цикла «От съемки — к проекту» на примере одного участкового лесничества»;

«Разработка учебных программ и пособий по дистанционным методам в лесном хозяйстве».

Актуальными практическими вопросами для организаций, выполняющих лесоучетные работы, являются оптимальный выбор материалов дистанционного зондирования (главным образом — выбор между космической или аэрофотосъемкой) и программно-аппаратного обеспечения для их обработки. Данные вопросы являлись ключевыми и в перечисленных выше исследованиях.

В целях изучения возможностей стереоскопического дешифрирования характеристик лесов на основе материалов дистанционного зондирования Земли использовались материалы космической (сенсор GeoEye–1) и аэросъемки (камера VisionMap A3-CIR). Для изучения информационных возможостей материалов космической съемки были заложены шесть экспериментальных таксационно-дешифровочных тренировочных полигонов и один учебно-тренировочный полигон на доступных по границе с труднодоступными территориях (на территории Ленинградской, Архангельской, Вологодской, Иркутской области, республики Карелия и Хабаровского края; 4 – в Европейской части, 2 – в Сибири и на Дальнем Востоке). Каждый полигон соответствовал размерам минимальной сцены космической съемки спутником GeoEye-1 – 10x10 км.

Для изучения информационных возможностей материалов аэросъемки, разработки и апробации технологии лесного стереоскопического дешифрирования выбрана модельная территория Джатиевского участкового лесничества Приозерского лесничества в северо-западной части Ленинградской области на Карельском перешейке (12 лесотаксационных кварталов общей площадью 1040 га).

При выборе программно-аппаратного обеспечения для обработки материалов дистанционного зондирования учитывали следующие критерии, значимые для выполнения лесного стереодешифрирования: формирование стереопар спектрозональных 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 [1]. В итоге определено, что оптимальными для выполнения работ по лесному стереоскопическому дешифрированию на данный момент являются программы, предназначенные для фотограмметрической обработки материалов дистанционного зондирования Земли.

Специалисты ряда стран положительно оценивают перспективы лесного стереодешифрирования с применением средств цифровой фотограмметрии для лесоустройства [2-4]. К преимуществам лесного стереоскопического дешифрирования с использованием специально оборудованных фотограмметрическим программным обеспечением рабочих мест относятся:

- исключение из подготовительных работ к дешифрированию этапа подготовки снимков с выполнением специальных измерений и вычислений,
- возможность выполнения всех работ по контурному дешифрированию на экране мониторов (без печати снимков, оконтуривания выделов гуашью, сканирования и последующей векторизации – вторичного обведения контуров векторными примитивами в ГИС),
- возможность выполнения на одном рабочем месте средствами программного обеспечения комплекса операций (контурного и аналитико-измерительного дешифрирования с созданием векторного слоя границ лесотаксационных выделов с адресными атрибутами),
- минимизация преобразований результатов контурного дешифрирования в процессе создания ГИС-баз данных (контурное дешифрирование на рабочем месте дешифровщика выполняется по стереопарам и ортофотоплану в единой системе координат и проекций, результаты – векторные слои с границами кварталов и выделов, элементами картографической основы экспортируются в ГИС).

Важным качеством фотограмметрических программ является их универсальность – возможность работы с материалами разных дистанционных съемок (космические, лазерные, авиационные, съемки с беспилотных летательных аппаратов).

Из известных на рынке 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 PHOTOMOD[1].

В состав аппаратного обеспечения для лесного стереодешифрирования вошли рабочие станции с требуемой для работы с PHOTOMOD конфигурацией (процессорами IntelCore i7 с оперативной памятью 4 Гб, видеокартами nVidia QuadroFX 480, жесткими дисками объемом 2 Тб), зеркальные мониторы Planar StereoMirror SD2220W, высокочастотные мониторы Samsung SyncMaster SA750.

Результаты оценки пригодности материалов космической съемки для таксационного дешифрирования лесов показаны в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает несущественность расхождений в определении основных таксационных характеристик выделов, поскольку систематические и средние квадратические ошибки дешифрирования насаждений в разрезе таксационных выделов находятся в пределах допусков действующей лесоустроительной инструкции.

Ошибки определения основных таксационных показателей на основе материалов аэросъемки, полученные в результате апробации технологии на модельной территории приведены в табл.2.

Сравнение результатов дешифровочной и перечислительной таксации показывает, что ошибки определения основных таксационных показателей древостоев дешифровочным способом не превышают значения допустимых ошибок, установленных для дешифровочного способа таксации, а для некоторых показателей сопоставимы с допустимыми ошибками наземной таксации глазомерно-измерительным способом.

К результатам проведенных исследований, в частности, относятся технология лесного стереоскопического дешифрирования материалов аэрофотосъемки «От съёмки — к проекту» [5,6] и предложения по использованию материалов космической стереосъемки для выполнения работ по государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) на труднодоступных территориях [7,8].

В 2014-2015 гг. выполнено производственное внедрение технологии «От съемки – к проекту». Объект работ — КУ «Струго-Красненское лесничество» Псковской области. Работа выполнена в рамках государственного контракта ГК №0157200000314000550-0170936-01. В процессе производственного внедрения выполнены следующие шаги:

- в филиале ФГУП «Рослесинфорг» «Севзаплеспроект» организован класс для лесного дешифрирования (10 автоматизированных рабочих мест, оснащенных стереомониторами и модулем Photomod StereoMeasure),
- заложены объекты обучающей выборки (10ТДПП, 25 выделов ВПТ, маршрутный таксационно-дешифровочный ход);
- проведены двухнедельные курсы по лесному стереоскопическому дешифрированию и коллективная тренировка 12 ИТР на объектах обучающей выборки;
- выполнены камеральные работы по производственной таксации лесов дешифровочным способом - 94,2 тыс. га с проведением контрольной (измерительно-перечислительной) таксации.

Основным элементом технологической цепочки по лесному стереоскопическому дешифрированию служит модуль PHOTOMOD StereoMeasure, разработанный ЗАО «Фирма «Ракурс» по заказу ФГУП «Рослесинфорг». В настоящий момент продолжается совершенствование данного модуля в отношении добавления функций изучения и анализа признаков дешифрирования и совершенствования отдельных операций контурного аналитического и измерительного дешифрирования лесов. По заказу ООО «Леспроект» в состав модуля предполагается добавление функций для изучения и интерактивной классификации признаков дешифрирования с их формализацией и ранжированием; функций для совершенствования процессов измерительного дешифрирования и векторизации контуров выделов.

[1]Для решения задач формирования геоинформационных баз данных лесов на основе стереоскопического дешифрирования материалов съемки камерой VisionMap A3 разработан специализированный модуль PHOTOMOD StereoMeasure (ЗАО «Фирма «Ракурс» по заказу ФГУП «Рослесинфорг»).

Таблица 1
Ошибки аналитического и измерительного дешифрирования лесотаксационных выделов по стереоскопическим спектрозональным изображениям, полученным в 2012 году сенсором GeoEye-1

Таксационные показатели и единицы измерения	Количество выделов (n) в лесной страте	Среднее значение ($\bar{X}$) таксационного показателя	Ошибки дешифрирования		
			систематическая (S)	средняя квадратическая (σ), %	для всех случаев (m), %
Ленинградская область					
Состав (ед.состава, %)	18	6	+ 0,33	±20,93	±4,93
Возраст (лет, %)	18	116	+17,22	±32,53	±7,67
Высота яруса (м, %)	18	20,8	+0,29	±11,73	±2,76
Полнота (ед.полноты,%)	18	0,7	+0,11	±20,28	±4,78
Запас (м3/га, %)	18	249,6	+19,19	±25,19	±5,94
Архангельская область					
Состав (ед. состава,%)	50	8,0	+0,88	±26,89	±3,8
Возраст (лет, %)	50	177	+1,14	±13,64	±1,93
Высота яруса (м, %)	50	16,8	+0,9	±8,17	±1,16
Полнота (ед.полноты, %)	50	0,7	+0,12	±22,89	±3,24
Запас (м3/га, %)	50	185,3	+23,6	±26,72	±3,78
Вологодская область					
Состав (ед.состава,%)	51	6,9	+0,06	±34,12	±4,78
Возраст (лет,%)	51	82	+0,29	±16,75	±2,35
Высота яруса (м, %)	51	22,6	+1,76	±12,49	±1,75
Полнота (ед.полноты,%)	51	0,79	+0,02	±10,29	±1,44
Запас (м3/га, %)	51	276,6	+7,95	±21,12	±2,96
Хабаровский край					
Состав (ед.состава, %)	47	3,4	-2,62	±22,55	±3,29
Возраст (лет)	47	127	+15	±51,01	±7,44
Высота яруса (м, %)	47	20	+1,73	±21,61	±3,15
Полнота (ед.полноты.%)	47	0,53	-0,03	±24,69	±3,6
Запас (м3/га, %)	47	165,3	-4,74	±39,88	±5,82
Республика Карелия					
Состав (ед.состава,%)	45	5,78	+1,11	±38,9	±5,8
Возраст (лет, %)	45	189	-39,1	±10,94	±1,63
Высота яруса (м, %)	45	18,5	+1,55	±11,25	±1,68
Полнота (ед.полноты, %)	45	0,7	+0,05	±18,69	±2,79
Запас (м3/га, %)	45	204,7	+13,92	±26,92	±4,01
Иркутская область					
Состав (ед.состава, %)	48	4,73	+0,4	±38,18	±5,66
Возраст (лет, %)	48	144	-3,79	±13,01	±1,88
Высота яруса (м, %)	48	21,77	-0,1	±7,37	±1,06
Полнота (ед.полноты, %)	48	0,81	-0,05	±23,93	±3,45
Запас (м3/га, %)	48	335,25	-7,16	±22,91	±3,31

Таблица 2
Сравнение результатов дешифровочной и перечислительной таксации
(S — систематические ошибки, σ — случайные ошибки, m — ошибки для всех случаев)

Количество выделов	Ошибки дешифровочной таксации																	
	для основного элемента леса															запас на 1 га, %		
	возраст, лет			состав, ед. сост.			высота, %			диаметр, %			полнота, ед. полн.					
	S	±σ	±m	S	±σ	±m	S	±σ	±m	S	±σ	±m	S	±σ	±m	S	±σ	±m
Сосновые насаждения (1-й исполнитель)																		
16	4	7,6	1,9	0,6	1,0	0,2	-9,2	6,8	1,7	-18,7	9,8	2,5	-0,03	0,08	0,02	-7,7	19,7	4,9
Сосновые насаждения (2-й исполнитель)																		
16	13	9,8	2,5	0,1	0,8	0,2	-1,4	5,8	1,4	-9,3	8,3	2,1	-0,07	0,08	0,02	-9,5	14,0	3,5
Еловые насаждения (1-й исполнитель)																		
15	-15	13,9	3,6	-0,7	1,5	0,4	-5,0	9,4	2,4	-13,1	13,2	3,4	-0,03	0,1	0,03	-8,7	15,2	3,9
Еловые насаждения (2-й исполнитель)																		
15	-2	14,0	3,6	-1,0	1,0	0,3	0,2	11,5	3,0	-0,1	18,0	4,7	-0,02	0,1	0,03	-4,6	18,6	4,8

Разработанный модуль PHOTOMOD StereoMeasure также перспективно использовать для выполнения важнейшего этапа таксации лесов – контурного стереоскопического дешифрирования материалов аэрофотосъемки при таксации лесов наземными способами. В настоящее время практически во всех лесоустроительных предприятиях (филиалах ФГБУ «Рослесинфорг» и частных компаниях) контурное дешифрирование выполняется без стереоанализа изображений (снимков), что противоречит действующей лесоустроительной инструкции и приводит к снижению качества лесоустроительных работ [9]. Применяемые в советский период зеркально-оптические стереоскопы уже более двадцати лет не закупаются (их промышленное производство практически прекращено). В последние 10 лет в российском лесоустройстве сложилась общая практика выполнения контурного дешифрирования без стереопросмотра материалов ДЗЗ (путем выделения по одиночным снимкам контуров однородных участков – выделов). Преимуществом такого подхода считают относительную простоту выполнения (нет необходимости использования специального оборудования – стереоскопов или программно-аппаратного обеспечения) и более высокую производительность работ. Предполагается, что подобное решение вопроса по сравнению со стереоскопическим дешифрированием более практично: за короткое время такую работу могут выполнять специалисты более низкой квалификации. Такая практика контурного лесотаксационного дешифрирования является методически ошибочной и, более того – антинаучной, а конечные результаты таксации лесов (лесоустроительные планшеты и таксационные описания) при таком подходе к контурному дешифрированию представляют собой производственный брак [9].

Методика стереоскопического дешифрирования с использованием модуля PHOTOMOD StereoMeasure также может применяться для решения задач Государственной (национальной) инвентаризации лесов в направлении определения количественных и качественных характеристик лесов.

Понятие государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) определено статьей 90 Лесного кодекса 2006 года и представляет собой новый вид лесоучетных работ, ранее не применявшийся на территории России. Наиболее важные методические проблемы ГИЛ обсуждались на крупных всероссийских и международных конференциях в Новосибирске (2012), Брянске (2013) и Иркутске (2014). По совокупности причин отечественная методика ГИЛ (направление - определение количественных и качественных характеристик лесов) и получаемые на ее основе результаты признаются несовершенными и являются предметом острой критики и дискуссий [7,10,11].

Среди возможных вариантов совершенствования методики ГИЛ РФ – решение, основанное на применении дистанционных методов с использованием стереоскопического дешифрирования [7,8]. Данная методика подразумевает разделение территории страны по показателям интенсивности лесопользования на две части («коммерческие леса» и труднодоступную территорию) и выполнение работ по ГИЛ с применением разных технологий для разных частей. В европейской части страны («коммерческие леса») предлагается выполнять ГИЛ на основе материалов лесоустройства (которое может быть выполнено по предложенной выше технологии), в азиатской («труднодоступной») – на основе модернизированного фотостатистического метода инвентаризации резервных лесов (также с применением предлагаемой технологии стереоскопической таксации лесов, но на основе материалов космической съемки).

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная технология лесного стереоскопического дешифрирования с применением современных материалов аэрофотосъемки (VisionMap A3-CIR, VisionMap A3-EDGE) и программно-аппаратного обеспечения (модуль PHOTOMOD StereoMeasure для лесного стереоскопического дешифрирования) «От съемки – к проекту» может успешно использоваться при таксации лесов дешифровочным способом.

2. Модуль PHOTOMOD StereoMeasure может использоваться для выполнения контурного дешифрирования при традиционной наземной таксации.

3. Методика стереоскопического дешифрирования с использованием модуля PHOTOMOD StereoMeasure может применяться для дешифрирования материалов космической съемки при решении задач Государственной (национальной) инвентаризации лесов в направлении определения количественных и качественных характеристик лесов.

Кроме перечисленных в статье направлений, модуль PHOTOMOD StereoMeasure может использоваться для решения иных задач, не затронутых в рамках данного исследования. Например, материалы съемок современными высокопроизводительными камерами Vision Map A3-CIR и Vision Map A3 EDGE могут использоваться в целях инвентаризации и визуализации городских зеленых насаждений, создания 3D-моделей городов, мониторинга и оценки состояния лесов [12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черниховский Д.М., Басков В.И. Обзор программно-аппаратного обеспечения и оценка его возможностей для решений задач лесоучетных работ с применением материалов стереоскопических съемок // Государственный лесной реестр, государственная инвентаризация лесов и лесоустройство: Матер. 3-й междунар. научно-практич. конф.:, проходившей в Новосибирске 29 ноября - 1 декабря 2012 г. М.: ФГУП "Рослесинфорг", 2013. 191-195 с.

2. 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.

3. Balenovic I., Seletkpvic 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

4. 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. URL: http://www.racurs.ru/?page=416

5. Архипов В.И., Березин В.И., Черниховский Д.М. Новая технология стереоскопической таксации лесов «От съемки - к проекту» // Геопрофи №4, 2014, с.17-22.

6. Архипов В.И., Черниховский Д.М., Березин В.И., Белов В.А. Современная техноло-

гия таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту» // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. Вып. 208. С. 22–42.

7. Архипов В.И. Особенности национальной инвентаризации. Какая инвентаризация лесов требуется России? / Использование материалов государственной инвентаризации лесов в интересах охраны окружающей среды: материалы Всероссийского совещания; Брянск, 9-10 октября 2013 г. - М.: ФГУП "Рослесинфорг", 2013.-144 с.

8. Черниховский Д.М., Березин В.И. Опыт лесного стереодешифрирования с применением специального программно-аппаратного обеспечения и ГИС-технологий для целей выполнения работ по государственной инвентаризации лесов в объектах с наличием труднодоступных территорий (статья) // Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью: Сб. материалов IX Междунар. науч. конгр. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013., проходившего 15–26 апреля 2013 г. в Новосибирске. Т. 4. – Новосибирск: СГГА, 2013. 112-121 с.

9. Архипов В.И., Березин В.И. О необходимости выполнения стереоскопического контурного дешифрирования материалов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) при таксации лесов / Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр., 13–25 апреля 2015 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Сб. материалов в 4 т. Т. 4. – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. С.99-103.

10. Алексеев А.С. Теоретические основы государственной (национальной) инвентаризации лесов // Лесное хозяйство. 2009. № 4. С. 31-33.

11. Алексеев А.С. Методологические основы организации и проведения государственной инвентаризации лесов / Использование материалов государственной инвентаризации лесов в интересах охраны окружающей среды: материалы Всероссийского совещания; Брянск, 9-10 октября 2013 г. М.: ФГУП «Рослесинфорг», 2013. С. 87-96.

12. Магаршак А.Ф. Райзман Ю.Г. Опыт использования системы A3 EDGE компанией «Агентство «БАЛТАЭРОСЕРВИС» // Геопрофи №3, 2015, с.14-17.