

# НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ ТАКСАЦИИ ЛЕСОВ «ОТ СЪЕМКИ — К ПРОЕКТУ»\*

**В.И. Архипов** («Рослесинфорг»)

В 1976 г. окончил лесохозяйственный факультет Санкт-Петербургской лесотехнической академии им. С.М. Кирова (в настоящее время — Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова) по специальности «лесное хозяйство». После окончания академии работал на Северо-Западном лесостроительном предприятии. С 2011 г. по настоящее время — директор Департамента науки и инноваций ФГУП «Рослесинфорг». Кандидат сельскохозяйственных наук.

**В.И. Березин** (Филиал ФГУП «Рослесинфорг» — «Севзаплеспроект», Санкт-Петербург)

В 1970 г. окончил лесохозяйственный факультет Санкт-Петербургской лесотехнической академии им. С.М. Кирова по специальности «лесное хозяйство». После окончания академии работал на Северо-Западном лесостроительном предприятии. С 2011 г. по настоящее время — заместитель начальника отдела развития новых технологий филиала ФГУП «Рослесинфорг» — «Севзаплеспроект». Кандидат сельскохозяйственных наук.

**Д.М. Черниковский** («Рослесинфорг»)

В 1996 г. окончил лесохозяйственный факультет Санкт-Петербургской лесотехнической академии им. С.М. Кирова по специальности «лесное и садово-парковое хозяйство». После окончания института работал на Северо-Западном лесостроительном предприятии. С 2012 г. по настоящее время — ведущий инженер Департамента науки и инноваций ФГУП «Рослесинфорг». С 1997 г. работает на кафедре лесной таксации, лесостроительства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, в настоящее время — доцент. Кандидат сельскохозяйственных наук.

В Российской Федерации с ее огромными лесными территориями и слаборазвитой лесной инфраструктурой неизбежно дальнейшее развитие и доминирование относительно дешевых дистанционных методов лесоучетных работ. В отношении приоритетности дистанционных методов перед наземными при изучении российских лесов никогда не потеряет своего значения замечательная цитата из классического труда Р.Ю. Тиле «Фототопография в современном развитии» (1909 г.): «...вне всякого сом-

нения, что воздушная фототопография окажет немаловажную услугу и в таксационном деле... При необозримых пространствах на миллионы квадратных верст, занимаемых нашею Сибирскою тайгою, никакая инспекция — ни проездами, ни осмотрами — не может дать о ее истинном состоянии верных заключений, основанных на фактических данных в соответствующих широких размерах собранных» [1, с. 34].

Но по ряду причин применение дистанционных методов в лесном хозяйстве РФ характе-

ризуется многолетним застоём. Технологии и инструменты для лесотаксационного дешифрирования не менялись с 1980-х гг. Возможности материалов цифровых аэрофотосъемок для лесоучетных 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 лесоучетных работах в РФ. В смежных отраслях, таких как геоде-

\* Исследование проведено в рамках научно-инновационного проекта ФГУП «Рослесинфорг» «Подготовка описания технологического цикла «От съемки — к проекту» на основе использования фотограмметрического комплекса VisionMap A3, модуля по стереоскопическому дешифрированию ЦФС PHOTOMOD и ПК «ЕСАУЛ». Опытная апробация технологического цикла «От съемки — к проекту» на примере одного участкового лесничества» (рук. Д.М. Черниковский).

зия, кадастр, маркшейдерия, экология, отмечается достаточно успешное их применение. Ключевой причиной отсутствия производственных технологий автоматической обработки данных ДЗЗ является невозможность получения с их помощью стандартных выходных материалов повысительной лесной таксации (таксационных описаний, ведомостей, лесных карт). Поэтому при таксации лесов до сих пор используется исключительно визуальное (ручное) дешифрирование.

Опыт использования цифровых фотограмметрических систем для выполнения задач лесного стереоскопического де-

шифрирования данных ДЗЗ отражен в ряде публикаций [2–5]. 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.

Авторами статьи предложен алгоритм использования цифровой фотограмметрической системы (ЦФС) PHOTOMOD («Ракурс») для стереодешифрирования материалов стереосъемки с космического аппарата GeoEye-1 с пространственным

разрешением 0,50 м в целях выполнения работ по государственной инвентаризации лесов на труднодоступных территориях [6].

ФГУП «Рослесинфорг» был приобретен аэросъемочный фотограмметрический комплекс (АФК) VisionMap АЗ (VisionMap, Израиль), позволяющий выполнять высокопроизводительную аэрофотосъемку с пространственным разрешением на местности 2 см (с высоты съемки 800 м), 2,5 см (1000 м) и 25 см (10 000 м). Технично-экономические особенности применения данного комплекса детально отражены в ряде публикаций [7–10]. Но возмож-

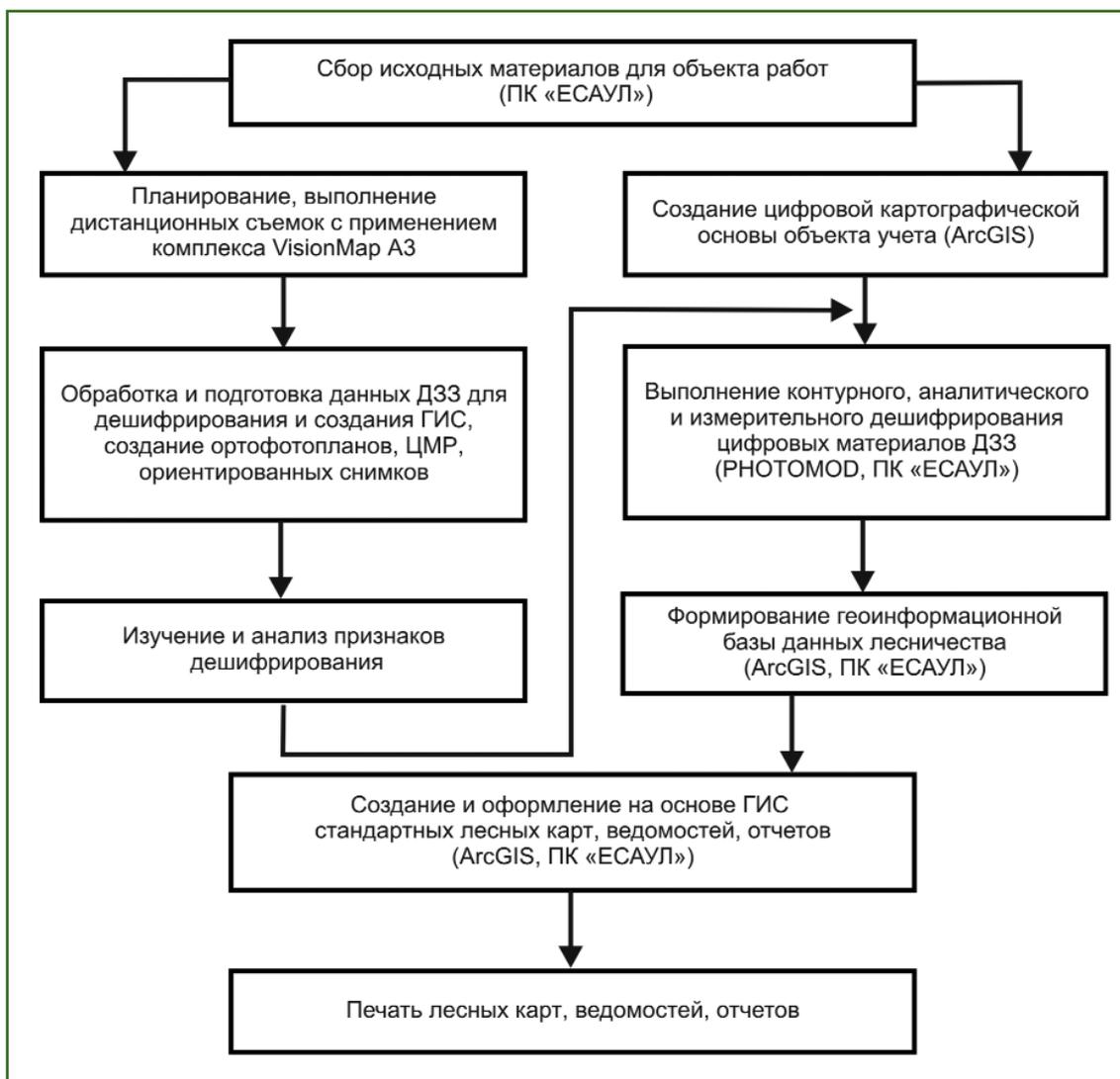


Рис. 1

Этапы лесотаксационных работ по технологии «От съемки — к проекту»

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 всего	пней сосны	Диаметр пней, см	Тип вырубки	4			Захламл. общая		кбм/ га	Старый	сухостой				
		Б	2	КС	С2																	
10		Ярус кф.	Состав пор.	А лет	Н м	Д см	Т Вид	Плн	П.с	Запас на га	10		Ярус кф.	Состав пор.	А лет	Н м	Д см	Т Вид	Плн	П.с	Запас на га	
		1	8 Б	30	14,0	14	2	1	4	61				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	Коеф.	Порода	Коеф.	Порода	Коеф.	Порода	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

ности и перспективы его применения для решения лесоучетных 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.

Авторами была разработана технологическая схема таксации лесов дешифровочным способом с элементами интерактивного дешифрирования на основе АФК VisionMap АЗ, ЦФС PHOTOMOD, программного комплекса «ЕСАУЛ» и аппаратных средств для стереодешифрирования. Предложенная технология получила название «От съемки — к проекту» (рис. 1).

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

В целом, алгоритм, приведенный на рис. 1, 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 цифровой аэрофотосъемки и современного программно-аппаратного обеспечения для стереодешифрирования.

Для камерального стереоскопического дешифрирования были оборудованы автоматизированные рабочие места, в состав которых вошли рабочие станции (процессор IntelCore i7, оперативная память 4 Гбайт, видеокарта nVidiaQuadroFX 4800, жесткий диск объемом 2 Тбайт), зеркальные мониторы Planar StereoMirror SD2220W и высокочастотные мониторы Samsung SyncMaster SA750 со стереоочками. Контурное дешифрирование — установление границ лесотаксационных выделов в стереорежиме — вы-

полнялось одновременно с аналитическим дешифрированием. Критериями разграничения выделов служили различия по составу, высоте, форме и размерам крон, сомкнутости полога, условиям местопроизрастания и другим особенностям насаждений. Эти особенности при дешифрировании анализировались и оценивались глазомерно (при контурном дешифрировании) сначала в обобщенной, а затем — в детальной форме и являлись основанием для проведения границ выделов. Затем, на стадии аналитического и измерительного дешифрирования перечисленные различия уточнялись и фиксировались 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 каждого выдела (рис. 2). Форма карточки таксации утверждена лесоустроительной инструкцией (Приказ Рослесхоза № 516 от 12 декабря 2011 «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 лесохозяйственных дисциплин (дендрологии, почвоведения, лесоводства, ботаники, гидролесомелиорации и пр.). Большой и разнообразный состав

Таксационные показатели и признаки их дешифрирования

Таблица 1

Таксационные показатели	Класс признаков дешифрирования
Категория земель	Фотометрические и морфологические
Преобладающая порода	Фотометрические, морфологические и ландшафтные
Состав насаждений	Фотометрические, морфологические и ландшафтные
Возраст (класс или группа)	Морфологические и фотометрические
Тип лесорастительных условий	Ландшафтные, фотометрические и морфологические
Класс бонитета	Взаимосвязи с другими показателями
Средняя высота (яруса, элемента леса)	Измерительные методы, глазомерная оценка, взаимосвязи с другими показателями
Средний диаметр элементов леса	Взаимосвязи с другими показателями
Сомкнутость полога	Измерительные методы, глазомерная оценка
Диаметр проекции крон	Измерительные методы, глазомерная оценка
Количество проекций крон	Измерительные методы
Относительная полнота	Взаимосвязи с сомкнутостью, глазомерная оценка
Запас на 1 га	Взаимосвязи с другими показателями

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 дешифровщики проходили обязательную тренировку на территории объекта работ.

Ключевыми этапами работ, определяющими качество итоговых материалов таксации лесов, являются:

- специальная базовая подготовка исполнителей;
- таксационно-дешифровочная тренировка исполнителей на территории объекта работ.

В 2013 г. на модельной территории были выполнены работы по апробации технологии «От съемки — к проекту». Модельная территория была выб-

рана в северо-западной части Ленинградской области на Карельском перешейке, на территории Джатиевского участка лесничества Приозерского лесничества. Она включала 12 лесотаксационных кварталов общей площадью 1040 га.

Примеры ортофотопланов модельной территории, полученные по результатам аэросъемки крупноформатной цифровой камерой VisionMap A3 CIR, показаны на рис. 3 (состав 9Е1Б+С, класс бонитета 2, 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 60СЗЕ1С, класс бонитета 1, тип леса — осинник — кисличник, возраст 70 лет, средняя высота яруса 25 м, относительная полнота 0,7, запас 280 м<sup>3</sup>/га).

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

- выбор выделов для проверки (контроля) с составлением схемы их размещения;

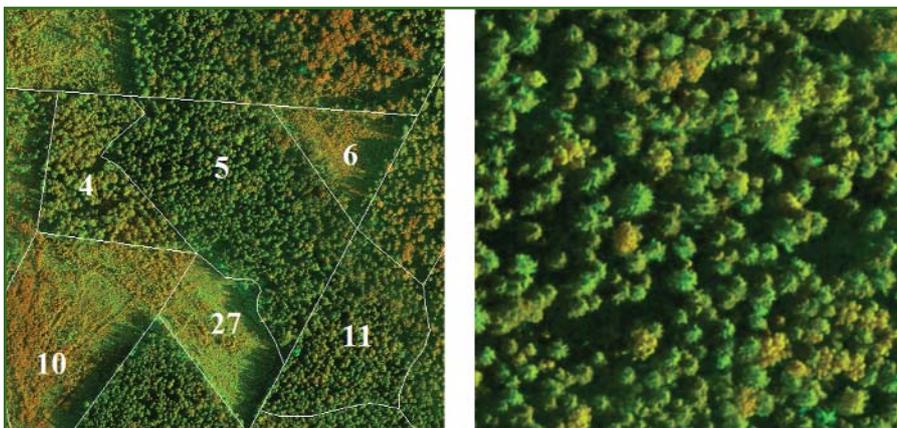


Рис. 3

Ортофотоплан квартала № 123 (выдел № 5) в масштабе 1:5000 (слева) и 1:1000 (справа)

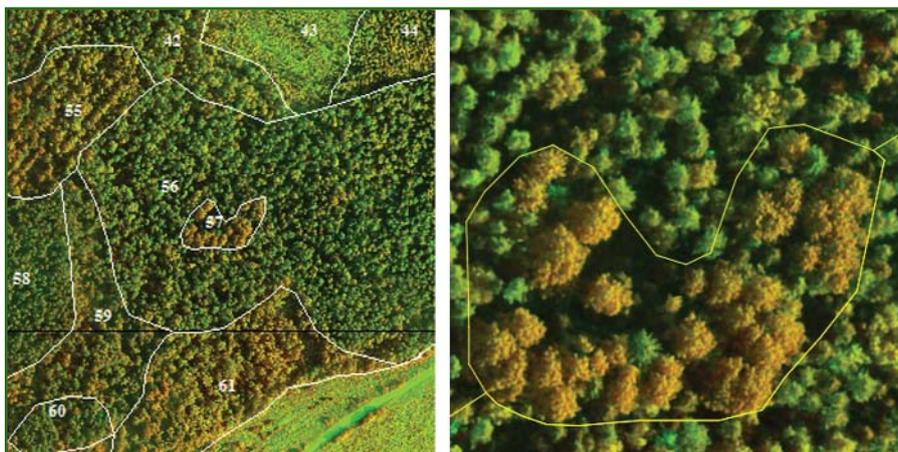


Рис. 4

Ортофотоплан квартала № 152 (выдел № 57) в масштабе 1:5000 (слева) и 1:1000 (справа)

— выполнение уточненной выборочно-перечислительной или выборочно-измерительной таксации выделов контрольной выборки специалистами, не участвующими в дешифрировании (точность определения запаса не ниже 10%);

— сравнение полученных результатов с данными таксации дешифровочным способом по основным таксационным показателям — породному соста-

ву, возрасту, средним высотам и диаметрам элементов леса, классам бонитета, полноте и запасу древесины.

Результаты сравнения дешифровочной и наземной выборочной перечислительной таксации приведены в табл. 2. Они показали, что систематические (S) и случайные ( $\sigma$ ) ошибки определения основных таксационных показателей древостоев дешифровоч-

ным способом не превысили значений допустимых величин, установленных для наземного глазомерного способа таксации.

Проведенные исследования на модельной территории показали, что разработанная технология таксации лесов дешифровочным способом «От съемки — к проекту» с методиками работ по отдельным этапам позволяет получить полный комплект выходных документов по таксации лесов в соответствии с требованиями лесоустроительной инструкции.

Следует отметить следующие новые возможности, предоставляемые за счет применения данной технологии:

— работа с высокоинформативными материалами аэросъемки в виде ортофотоплана с пространственным разрешением до 15 см на местности и ориентированных наборов стереопар;

— совмещения контурного дешифрирования с созданием векторного слоя с адресными

Результаты сравнения дешифровочной и наземной выборочной перечислительной таксации

Таблица 2

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

**Примечание.** Перечислительная таксация — метод таксации, при котором проводится сплошной пересчет диаметров деревьев по элементам леса, по ступеням толщины и категориям технической годности с замером высот. Перечислительный метод позволяет получить наиболее точные результаты таксации лесов, поэтому в данной работе он использовался для определения «истинных» таксационных показателей.

атрибутами, что ранее выполнялось отдельно;

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

— интеграции результатов стереодешифрирования в геоинформационные базы данных лесоустройства;

— высокая сезонная производительность и приемлемая точность.

Вместе с тем, результаты опытно-производственной проверки однозначно указывают, 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 на объекте работ, включающая полевой и камеральный анализ признаков дешифрирования, изучение характерных особенностей изображения полога лесных насаждений на материалах аэрофотосъемки, изучение и установление взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями лесных насаждений, выполнение 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 де-

шифровщиков высокого профессионального уровня на базе специализированных многофункциональных учебно-методических центров.

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

Разработанная в ФГУП «Рослесинфорг» технология таксации лесов дешифровочным способом «От съемки — к проекту» может быть вполне конкурентоспособной на рынке лесосочетных 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

1. Тиле Р.Ю. Фототопография в современном развитии. Т. III. Воздушная фототопографическая съемка. — СПб.: Изд-е Риккера, 1909. — 262 с.
2. 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», 8–12 October 2012, Dubrovnik (Cavtat), Croatia.
3. 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.

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

5. Трейфельд Р.Ф., Филиппов Ю.В. Внедрение цифровых фотограмметрических систем в лесостроительство // Геопрофи. — 2004. — № 2. — С. 38–41.

6. Черниковский 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 / Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью: Сб. материалов IX Междунар. науч. конгр. «Интерэкспо Гео-Сибирь», т. 4. — Новосибирск: СГА, 2013.

7. Райзман Ю.Г., Гозес А. АЗ EDGE — новая аэросъемочная камера компании VisionMap // Геопрофи. — 2014. — № 1. — С. 41–44.

8. Райзман Ю.Г. Планирование аэросъемки в эпоху цифровых камер или от поперечного перекрытия к уклону зданий // Геопрофи. — 2012. — № 2. — С. 17–20.

9. Печатников М.Я., Райзман Ю.Г. Аэросъемка с АФК VisionMap АЗ // Геопрофи. — 2009. — № 1. — С. 44–47.

10. Печатников М.Я., Райзман Ю.Г. Общее назначение и технические характеристики АФК VisionMap АЗ // Геопрофи. — 2008. — № 3. — С. 28–31.

#### RESUME

A technological scheme of forest inventory is given together with the elements of interactive interpretation based on the aerial survey photogrammetric complex VisionMap АЗ, DPW PHOTOMOD, PC «ESAU» and the hardware systems for stereo interpretation. The scheme is called «From survey to the project».