

СРАВНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОГО НАЗЕМНОГО И ДЕШИФРОВОЧНОГО (ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО) МЕТОДОВ ТАКСАЦИИ ЛЕСОВ

И. Баленович¹, А. Селеткович², Р. Пернар², Х. Марьянович¹, Д. Вулетић¹, М. Бенко¹

¹ Институт лесного хозяйства Хорватии

² Лесной факультет Загребского университета

Компания [«Ракурс»](#) выражает благодарность за содействие и помощь, оказанную при переводе статьи:

кандидату сельскохозяйственных наук, доценту кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского Государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, ведущему инженеру ФГУП [«Рослесинфорг»](#) Черниховскому Д.М., члену Совета Союза лесопромышленников Республики Коми, директору ООО [«Техкарта»](#) (г. Сыктывкар) Серову А.В.

1 ВВЕДЕНИЕ

Таксация лесов, т.е. разделение лесных участков на лесотаксационные кварталы и выделы – важный этап лесоустройства. С этой целью проводятся натурные полевые работы — весьма трудоемкий и затратный по времени процесс, особенно в том случае, если лесоустройство территории проводится впервые.

На тему применения данных ДЗЗ (в первую очередь аэрофотоснимков) в лесоустроительном производстве с целью сокращения объема и стоимости полевых работ проведено большое количество исследований. В Хорватии такие работы в большинстве своем основывались на дешифрировании аналоговых снимков на аналоговых оптико-механических приборах.

За последние 30 лет на смену аналоговой фотограмметрии пришла аналитическая, а затем и цифровая. В течение этого периода аналоговые снимки и стереоприборы, также как и аналитические стереоприборы, были вытеснены цифровыми снимками и цифровыми фотограмметрическими станциями. Развитие цифровой фотограмметрии открывает новые перспективы использования данных ДЗЗ в лесном хозяйстве с целью ускорения, упрощения и удешевления процесса получения необходимых выходных данных. Тем не менее, в лесном хозяйстве Хорватии дистанционные методы еще не получили широкого распространения. Данная работа посвящена исследованию возможности применения цифровой фотограмметрии при таксации и картографировании лесов.

Для фрагмента разновозрастного леса, расположенного в пределах частного лесного владения «Donja Kurcina - Pisarovina» выполнено сравнение результатов, полученных с помощью классической наземной таксации и таксации фотограмметрическим методом (далее методом дешифрирования)¹. Также выполнено сравнение стоимости применения указанных методов. Выделение границ страт методом дешифрирования выполнялось на основе анализа стереомоделей, построенных по стереопарам цветных инфракрасных цифровых снимков с пространственным разрешением 30 см и 10 см в бесплатном программном обеспечении [PHOTOMOD Lite](#).

¹ Выделение по данным аэрофотосъемки страт и формирование на их основе лесоустроительных выделов.

В настоящей статье понятие «страта» означает насаждение однородное по размерам и сомкнутости древесных крон, средней высоте и составу пород.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Наземная таксация

Наземная таксация была проведена в процессе регулярной инвентаризации лесных участков весной 2009 года.

Перед началом полевых работ был составлен предварительный проект разбиения исследуемой территории на лесные кварталы по существующим искусственным границам: автострадам, дорогам, каналам.

Затем была проведена детальная полевая съемка и сделано описание для кадастровых единиц, зарегистрированных как частные леса или лесные земли. Картированные и описанные лесные насаждения были сгруппированы в хозяйственные секции (management classes), кварталы (compartments) и выделы (subcompartments)² в соответствии с правилами, установленными нормативным документом Regulation on forest management (NN 2006, 2008), а также с учетом специфики частных лесов.

Наземную таксацию выполняла рабочая группа из 2 человек: инженер лесного хозяйства и техник. Для работы они использовали компас, GPS, детальную топографическую карту (DTK25) и ортофотоплан местности в масштабе 1:20 000, созданный по материалам аэрофотосъемки 2003 года.

Полученные результаты (контуры выделов) были векторизованы в ArcGIS 9.1 и сопоставлены с кадастровыми данными. Кадастровые единицы, не зарегистрированные как частные леса или лесные территории, были исключены. Топографическая карта использовалась как основа для проводимых работ.

Для определения стоимости работ велся учет рабочих дней, затраченных на выполнение непосредственно наземной таксации, а также на описание и векторизацию.

2.2 Аэрофотосъемка

В июле 2009 года с помощью камеры UltraCamX (фокусное расстояние 100,5 мм; радиометрическое разрешение 12 бит; продольное перекрытие 60%; поперечное — 30%) дважды проводилась аэрофотосъемка исследуемой территории.

Первый аэросъемочный полет выполнялся на высоте 4400 м. С двух маршрутов было получено 10 инфракрасных снимков с разрешением 30 см.

Во время второго полета съемка велась с высоты 1400 м. В результате с двух маршрутов было получено 23 инфракрасных снимка с разрешением 10 см.

Аэрофотосъемку и последующую обработку полученных данных проводила компания Geofoto Ltd, Загреб.

² Лесотаксационные термины и понятия, используемые в России и Хорватии, отличаются. Для единообразного понимания при переводе статьи приняты следующие допущения и аналогии: management class – класс (близко к понятию хозяйственной секции в российском лесоустройстве - совокупности однородных по породному составу и продуктивности лесных насаждений), compartment - лесотаксационный квартал, subcompartment – лесотаксационный выдел (участок, однородный по своему хозяйственному значению и таксационной характеристике, достаточно отличающийся от смежных участков и требующий проведения на всей своей площади единых хозяйственных мероприятий).

2.3 Выделение страт методом дешифрирования

Выделение страт выполнялось методом дешифрирования по стереомоделям местности, полученным в результате обработки инфракрасных аэрофотоснимков с разрешением 30 и 10 см в ЦФС PHOTOMOD Lite (версия 4.4). Используемый метод был разработан и опубликован [Balenovic и др.] в 2011 году.

Фотограмметрическое программное обеспечение PHOTOMOD Lite является бесплатной версией ЦФС PHOTOMOD. PHOTOMOD Lite поддерживает ограниченное число снимков, векторных объектов, узлов TIN, структурных линий и пр. В проект, обрабатываемый с помощью Lite версии, можно загружать до 10 снимков в центральной проекции, возможна работа с векторными данными, содержащими не более 1000 точек. В пределах данных ограничений программа позволяет решать разнообразные фотограмметрические задачи: создание векторных данных, построение ортомозаики, ЦМР и создание векторных карт. Для определения границ страт использовался модуль StereoDraw предназначенный для создания, редактирования, и измерения 3D-объектов в стереорежиме.

Кроме программного обеспечения и мощного компьютера важным компонентом цифровой фотограмметрической станции является видеосистема. В данном случае она состояла из видеокарты (NVIDIA GeForce 9800 GT), стереомонитора Hyundai IT W220S (интерлейсный метод получения стерео) и поляризационных стереочков.

Для получения признаков дешифрирования, а также подготовки дешифровщиков были проведены полевые обследования на пробных участках.

Ввиду того, что составлять точные наборы дешифровочных признаков, особенно для лесов с высоким разнообразием (таким как наш), весьма затруднительно, а также, поскольку дешифровщиком выступал всего один человек (инженер лесного хозяйства), мы использовали другой подход.

Дешифровщик сначала «обучился» на небольшом участке леса, чтобы затем дешифрировать оставшуюся территорию.

До выделения границ страт, были определены категории классификации насаждений. На основе предварительного анализа полученных аэрофотоснимков и тренировочного дешифрирования (путем полевого обследования) в соответствии с Regulation on forest management (NN 2006, 2009) были установлены 4 главные категории и 19 подкатегорий классификации лесов и лесных земель, применяемые при дешифрировании цифровых аэрофотоснимков (Таблица 1).

Таблица 1. Категории классификации лесов и лесных земель, применяемые при дешифрировании цифровых аэрофотоснимков.

Категория	Подкатегория
Покрытие	Высокоствольный лес – Молодой Высокоствольный лес – Средневозрастный Высокоствольный лес – Старый Вырубленный лес Кустарники Области сукцессии Не покрытые лесом земли
Состав	Чистый

Категория	Подкатегория
	Смешанный Не имеет значения
Сомкнутость крон	91-100% 76-90% 50-75% <50% Не имеет значения
Преобладающие древесные породы	Дуб скальный (<i>Quercus petraea</i>) Бук европейский (<i>Fagus sylvatica</i>) Граб обыкновенный (<i>Carpinus betulus</i>) Ольха черная (<i>Alnus glutinosa</i>) Тополь (<i>Populus sp.</i>) Другие Не имеет значения

Страты при дешифрировании цифровых снимков выделялись на основе визуальных различий между категориями классификации: размерами крон и высотами деревьев (категория «покрытие»), составом, сомкнутостью крон и преобладающими породами (Рисунок 1).

После контурного дешифрирования границ страт в StereoDraw (путем создания векторных объектов – полигонов) результаты были импортированы в ArcGIS 9.1 для дальнейшей обработки (сопоставления с кадастровыми данными). Топографическая карта использовалась в качестве базового раstra для облегчения ориентирования.

Поскольку выделение страт проводилось в пределах частных лесов, необходимо было выполнить сопоставление с кадастровыми данными (в частности, сопоставление с кадастровыми единицами, зарегистрированными как частные владения). Страты или их части, не зарегистрированные в кадастре как частные лесные владения, удалялись.

В итоге, группировка страт в хозяйственные секции, и затем в лесоустроительные выдела была выполнена в соответствии с: 1) категориями (Таблица 1), которые были присвоены каждой страте; 2) пространственным распределением выделенных страт внутри кварталов; 3) с учетом Regulation on forest management (NN 2006, 2009).

Как и в случае с наземной таксацией, фиксировалось время, затраченное на выделение страт по аэроснимкам.

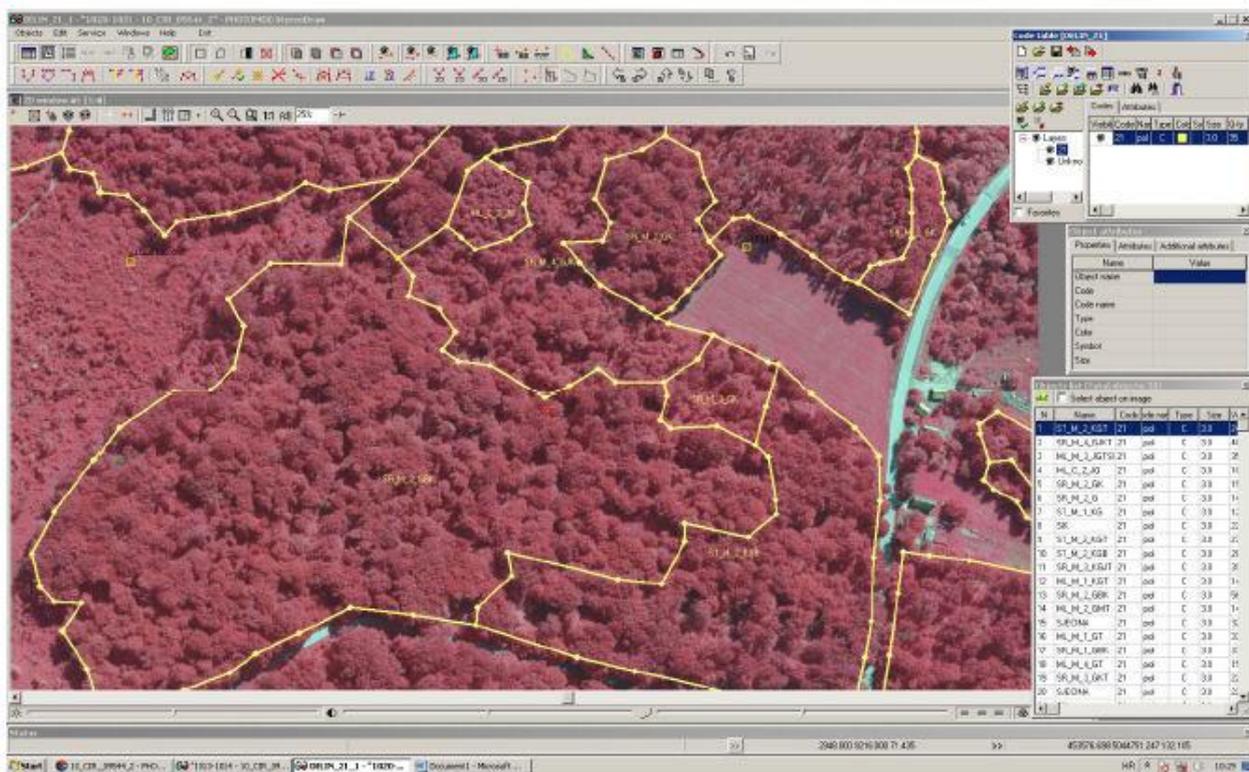


Рис. 1. Пример выделения страт по цифровым аэрофотоснимкам (10 см GSD) в 2D-окне модуля StereoDraw в масштабе отображения экрана 25%.

2.4 Статистический анализ и сравнение стоимости

Данные, полученные путем наземной таксации, а также результаты выделения страт методом дешифрирования снимков, были экспортированы из таблицы атрибутов ArcGIS 9.1 в базу данных MS Excel 2007 для проведения статистического анализа.

Результаты таксации, полученные этими двумя методами, сравнивались с помощью критерия Стьюдента³ (t-test) для двух зависимых выборок с использованием ПО STATISTICA 7.1 (StatSoft Inc. 2011). Доверительный интервал 95% признавался статистически значимым.

В процессе анализа стоимости работ, все затраты делились на четыре части: заработная плата исполнителям, стоимость оборудования, материальные затраты и стоимость аэрофотоснимков. Итоговая стоимость рассчитывалась в Евро по курсу Хорватского национального банка на 28 июня 2012 года.

3. ИССЛЕДУЕМАЯ ТЕРРИТОРИЯ

Исследование проводилось на выбранном участке разновозрастного леса на частной территории «Donja Kurcina - Pisarovina», общей площадью 480 га (Рисунок 2). Основными видами произрастающих на этой территории деревьев являются: дуб скальный (*Quercus petraea*), бук европейский (*Fagus sylvatica*), граб обыкновенный (*Carpinus betulus*), ольха черная (*Alnus glutinosa*), тополь (*Populus sp.*) .

³ Класс статистических методов, наиболее часто применяется для проверки равенства средних значений в двух выборках [Википедия].

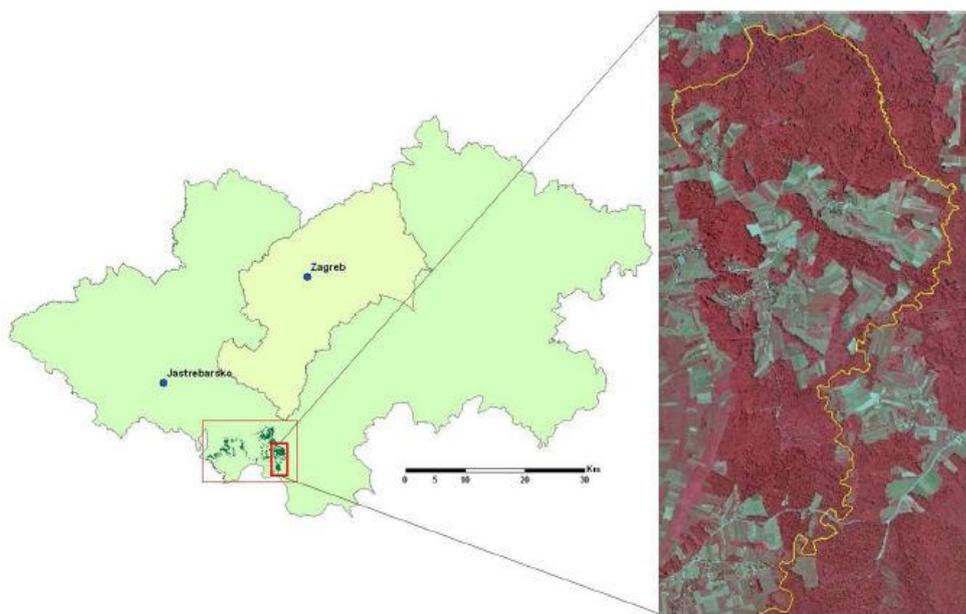


Рис. 2. Слева: расположение «Donja Kupčina - Pisarovina» на территории Zagreb County. Справа: исследуемая территория, обозначенная желтой границей.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

4.1. Статистический анализ

Сравнение результатов таксации, выполненной двумя методами, представлены в Таблице 2.

Путем наземной таксации было выделено 95 различных насаждений, которые сформировали 6 хозяйственных секций или 24 выдела, сгруппированных в 6 кварталов. В результате дешифрирования цифровых аэроснимков с разрешением 30 см было выделено 410 страт, которые образовали 27 выделов. При дешифрировании снимков с разрешением 10 см было выделено 645 страт, формирующих 29 выделов. Как при наземной таксации, так и при дешифрировании снимков было выделено 6 хозяйственных секций и 6 кварталов. Исследуемая территория, кроме лесов и территорий, отведенных для выращивания лесов, включает частные фермерские домовладения, пашни, луга и другие, не покрытые лесом территории. Таким образом, территория покрытая лесом занимает только 288,89 га из исходных 480 га.

Результаты статистического анализа (t-test для зависимых выборок) таксационных характеристик выделов приведены в Таблице 3. Было проведено три сравнительных теста: (I) сравнение между выделами, полученными при проведении наземной таксации и теми, которые были получены при дешифрировании снимков с разрешением 30 см; (II) сравнение между выделами, полученными при проведении наземной таксации и выделами, полученными при дешифрировании снимков с разрешением 10 см; (III) сравнение между выделами, полученными при дешифрировании снимков с разрешением 30 см и 10 см. Все тесты показывают незначительные статистические расхождения.

Результаты тестов указывают на возможность применения метода дешифрирования цифровых аэроснимков в процессе лесной таксации. Более того, использование снимков с разрешением 30 см, и особенно с разрешением 10 см, позволяет проводить очень детальное дешифрирование, о чем свидетельствуют количество выделенных страт и средняя площадь страты ($S_{GSD\ 30\ см} = 0,7$ га, $S_{GSD\ 10\ см} = 0,45$ га). Иными словами, по снимкам с разрешением 30 и 10 см, можно ясно распознавать лесные насаждения и древесные породы и проводить дешифрирование с высокой степенью точности и достоверности. Для сравнения: средняя площадь 95 полигонов, выделенных методом наземной таксации, составляет 3,04 га.

Таблица 2. Результаты лесной таксации, проведенной наземным способом и методом дешифрирования аэрофотоснимков с разрешением 10 см и 30 см.

Лесотаксационный выдел	Хозяйственная секция	Площадь (га)			Кол-во выделенных наземным способом различных насаждений / кол-во выделенных по снимкам страт		
		На-земн. таксация	Дешиф. снимков 30 см GSD	Дешиф. снимков 10 см GSD	На-земн. таксация	Дешиф. снимков 30 см GSD	Дешиф. снимков 10 см GSD
16a	Бук средневозрастный	44,07	37,82	38,50	3	39	65
16b	Граб средневозрастный	1,57	5,41	4,69	4	20	31
16c	Ольха средневозрастная	0,90	1,23	1,17	2	3	4
16d	Кустарники	1,80	1,18	1,82	4	5	14
16e	Дуб одновозрастный	–	2,07	2,17	–	5	9
17a	Бук средневозрастный	40,50	40,18	38,36	2	35	66
17b	Бук средневозрастный	28,71	26,84	26,37	2	42	70
17c	Граб средневозрастный	11,15	9,59	8,76	5	18	34
17d	Дуб одновозрастный	–	–	3,36	–	–	10
17f	Ольха средневозрастная	–	1,40	1,39	–	7	7
17g	Кустарники	–	2,35	2,11	–	12	16
18a	Дуб одновозрастный	6,39	6,32	7,57	5	10	13
18b	Бук средневозрастный	21,91	17,86	15,51	3	9	10
18c	Кустарники	0,60	2,64	2,41	2	5	6
18f	Граб средневозрастный	–	2,08	3,41	–	9	11
19a	Дуб одновозрастный	2,70	1,82	3,12	4	5	10
19b	Бук средневозрастный	7,11	6,92	6,58	3	5	12
19c	Граб средневозрастный	17,61	13,08	12,93	15	28	40
19d	Тополь средневозрастный	5,04	0,66	2,30	4	4	11
19e	Кустарники	5,05	13,01	10,75	5	32	35
19g	Ольха средневозрастная	–	2,13	1,91	–	6	9
19DA	Линейный объект (например, ЛЭП или газопровод)	–	0,34	0,38	–	2	2
20a	Дуб одновозрастный	15,57	11,68	10,81	6	12	21
20c	Бук средневозрастный	11,38	12,54	13,84	4	15	23
20d	Граб средневозрастный	20,46	22,63	21,94	8	34	49

Лесотаксационный выдел	Хозяйственная секция	Площадь (га)			Кол-во выделенных наземным способом различных насаждений / кол-во выделенных по снимкам страт		
		Наземн. таксация	Дешиф. снимков 30 см GSD	Дешиф. снимков 10 см GSD	Наземн. таксация	Дешиф. снимков 30 см GSD	Дешиф. снимков 10 см GSD
20е	Кустарники	1,62	2,03	2,31	1	17	22
20DA	Линейный объект (например, ЛЭП или газопровод)	0,54	0,69	0,67	2	2	2
21а	Дуб одновозрастный	9,91	8,98	8,83	4	7	11
21b	Граб средневозрастный	29,82	32,15	29,00	2	18	24
21с	Кустарники (например, ЛЭП или газопровод)	4,03	2,63	2,67	5	4	6
21е	Ольха средневозрастная	–	–	3,36	–	–	2
Всего		288,89	288,89	288,89	95	410	645

Таблица 3. Результаты t-тестов.

Номер теста	Сравниваемые методы	Среднее	Стандартное отклонение	N	Средняя разность	Разность стандартных отклонений	t-значение	Степени свободы	p-значение
I	Наземный Дистанц. 30 см	9,32	12,37	31	0,0000	2,78	<0,0001	30	1,0000
		9,32	11,42						
II	Наземный Дистанц. 10 см	9,32	12,37	31	-0,0036	2,85	-0,0069	30	0,9945
		9,32	10,76						
III	Дистанц. 30 см Дистанц. 10 см	9,32	11,42	31	-0,0036	1,42	-0,0140	30	0,9890
		9,32	10,76						

4.2 Экономический анализ двух методов

Сравнение стоимости таксационных работ, проводимых различными методами, показано в Таблице 4. Наиболее выгодной с финансовой точки зрения является таксация на основе полевых работ: средняя стоимость для 1 га составляет 19,67 Евро. По сравнению с наземной таксацией метод дешифрирования оказывается более дорогим. Стоимость дешифрирования снимков с разрешением 30 см составляет 24,79 Евро/га (выше на 26,03%), а стоимость дешифрирования снимков с разрешением 10 см — 34,26 Евро/га (выше на 74,19%).

Поскольку закупленное оборудование может быть использовано в дальнейшем и, в конечном итоге, окупится, то сравнение стоимости таксации различными методами было выполнено также без учета первоначальных затрат на оборудование. В этом случае, наиболее выгодным оказывается метод дешифрирования снимков с разрешением 30 см (средняя стоимость работ 4,03 Евро/га). Стоимость наземных работ оказывается выше этого показателя на 56,59% и составляет 6,32 Евро/га. Также, как и в предыдущем случае, наименее выгоден метод дешифрирования

снимков с разрешением 10 см (стоимость работ выше на 234,87% по сравнению со стоимостью дешифрирования по снимкам с разрешением 30 см и на 113,84% выше по сравнению с затратами на наземную таксацию).

Проведенные расчеты показывают, что наименее выгодным в обоих случаях оказывается метод дешифрирования снимков с разрешением 10 см. Результаты статистического анализа не выявили значительной разницы между таксационными характеристиками выделов, полученных по снимкам с разрешением 10 и 30 см (Таблица 3, тест III). Следовательно, можно сделать вывод о том, что дешифрирование по снимкам с разрешением 30 см дает примерно такие же результаты по точности, что и при использовании снимков с разрешением 10 см, но при этом обходится значительно дешевле. По этой причине в дальнейшем при экономических сопоставлениях и при сравнении с методом наземной таксации насаждений мы принимали во внимание только метод дешифрирования по снимкам с разрешением 30 см.

Для дальнейшего анализа стоимости работ и обсуждения результатов было введено понятие «аэрофотосъемочный коэффициент»: отношение исследуемой площади (480 га) к площади, занимаемой лесом (288,89 га). В нашем случае этот коэффициент составляет 1,66. Таким образом, за счет неравномерного покрытия лесом исследуемой территории необходимо было отснять на 66% больше, чтобы на снимках отобразился весь исследуемый лес.

Как показано выше, дешифрирование аэрофотоснимков с разрешением 30 см с экономической точки зрения более оправдано, чем проведение наземных работ, когда в расчет не берутся первоначальные расходы. Необходимо было выяснить на каком этапе окупятся первичные затраты при использовании метода дешифрирования.

Таблица 4. Сравнение стоимости таксационных работ, проводимых различными методами, включая первоначальные затраты на покупку оборудования.

Затраты	Стоимость	Единица	Евро/Ед	Оплачено единиц	Стоимость		
					Назем. картографир. Евро	Дешифрир. 30 см Евро	Дешифрир. 10 см Евро
Аэрофото-съемка	Более крупномасштабная (10 см)	Га	6,98	480			3 352,60
	Менее крупномасштабная (30 см)	га	1,40	480		670,42	
З/плата	Инженер лесного хозяйства	день	54,57	T=12+3 F10=6+1 F30=5+1*	818,59	382,01	436,58
	Техник	день	28,85	T=12	346,15	28,85	28,85
	Плата за полевые работы	день	22,62	T=6	271,40	22,62	22,62
Оборудование	GPS	Шт	358,1	1	358,14		
	Компас	Шт	97,78	1	97,78		
	Компьютер	Шт	532,16	1	532,16		
	ArcGIS	Шт	2869,61	1	2869,61	2869,61	2869,61
	ЦФС PHOTOMOD + ПО	Шт	3126,43	1		3126,43	3,126,43
Материальные затраты	DTK25	Лист	39,91	1	39,91	39,91	39,91
	Цифровой ортофото ч/б	Лист	26,61	2	53,22		

Затраты	Стоимость	Единица	Евро/Ед	Оплачено единиц	Стоимость		
					Назем. картографир. Евро	Дешифрир. 30 см Евро	Дешифрир. 10 см Евро
	Цифровой орто-фото цветной	Лист	39,91	1	39,91		
	Автомобиль	км	0,27	T=960 F10=80 F30=80	255,44	21,29	21,29
Всего Евро					5682,31	7161,23	9897,88
Среднее Евро/га					19,67	24,79	34,26

Исходные затраты, в том числе покупка цифровой фотограмметрической станции (использованное в этом исследовании ПО PHOTOMOD Lite – бесплатное) могут окупиться уже при первом применении, если площадь составит 950 га (при $k=1,66$).

В случае покупки коммерческой версии PHOTOMOD⁴ затраты окупятся при проведении седьмой по счету таксации территории площадью 950 га (при $k=1,66$). Общая кумулятивная стоимость проведения семи проектов по лесной таксации методом наземного картографирования составит 44 662,16 Евро, а стоимость дешифрирования снимков с разрешением 30 см для аналогичной цели — 42 691,73 Евро.

С каждым последующим проектом выгода использования метода дешифрирования возрастает (Рисунок 3). В случае, если исследуемая территория имеет большую площадь, то первоначальные затраты окупятся еще быстрее. Например, если площадь составляет 1300 га, то покупка PHOTOMOD 4.4 окупится при проведении пятого по счету проекта по лесной таксации методом дешифрирования.

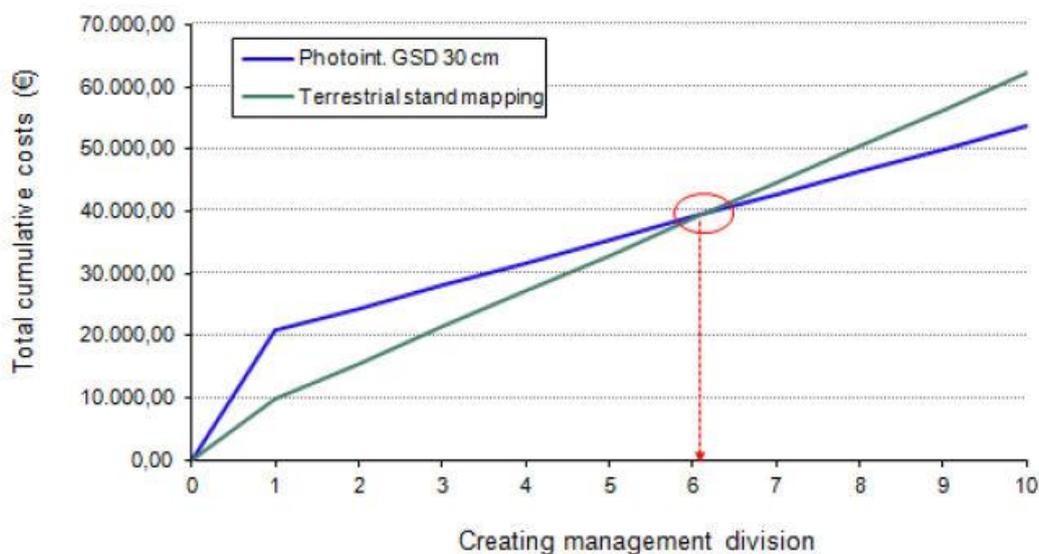


Рисунок 3. Сравнение общей кумулятивной стоимости лесной таксации методом наземных полевых работ и методом дешифрирования аэрофотоснимков с разрешением 30 см при последовательном выполнении 10 аналогичных проектов (S леса = 950 га, $k=1,66$).

Из таблицы 3 следует, что стоимость аэрофотосъемки является существенной частью общих затрат при использовании метода дешифрирования. На рисунке 4 показана средняя стоимость наземной таксации и картографирования в частных лесовладениях, а также изменение общей

⁴ Полная локальная англоязычная версия PHOTOMOD версия 4.4 в 2010 году стоила 16400\$.

стоимости дешифрирования в зависимости от стоимости аэрофотосъемки. Если считать, что стоимость наземной таксации постоянна в одних и тех же условиях, то наиболее предпочтительный метод таксации определяется стоимостью аэрофотосъемки. Полученные результаты позволяют говорить о том, что применение метода дешифрирования экономически оправдано в том случае, когда стоимость аэрофотосъемки не превышает 2,77 Евро/га. Поскольку средняя стоимость более крупномасштабной аэрофотосъемки, проведенной для этого исследования, составила 1,40 Евро/га, то можно заключить, что применение метода дешифрирования более чем оправдано. В случае, когда аэрофотосъемочный коэффициент k ниже, чем 1,66 или в случае более однородных лесонасаждений экономическая эффективность будет выше.

Вычисления были выполнены для следующих параметров: площадь S леса = 288,89 га; аэросъемочный коэффициент $k=1,66$; средняя дневная норма выполнения наземных лесотаксационных работ – 24,07 га/день; средняя дневная норма при дешифрировании аэрофотоснимков с разрешением 30 см – 57,78 га/день; были включены все другие затраты (Таблица 4), первоначальные затраты на оборудование не учитывались.

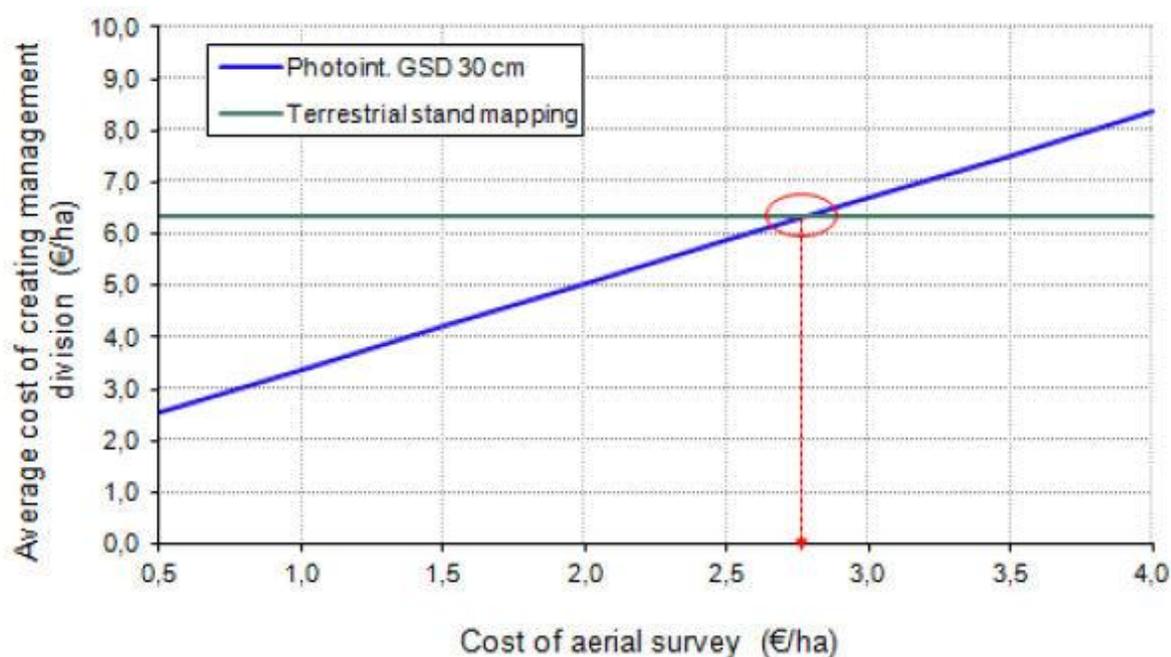


Рисунок 4. Сравнение средних показателей стоимости лесотаксационных работ, проводимых методом наземной таксации и картографирования и методом дешифрирования аэрофотоснимков с разрешением 30 см. Стоимость дешифрирования показана в зависимости от изменения стоимости аэрофотосъемки.

Если сравнить дневные нормы выработки в обоих методах, то станет ясно, что дешифрирование снимков с разрешением 30 см занимает меньше всего времени (при норме дешифрирования в среднем 57,78 га в день). Дешифрирование аэрофотоснимков с разрешением 10 см происходило со скоростью 48,15 га/день, в то время как наземные полевые работы заняли наиболее продолжительное время: в среднем удавалось картографировать 24,07 га в день. К тому же если учесть, что в наземной таксации принимают участие 2 человека, а дешифрированием может заниматься 1 человек, то преимущества метода дешифрирования становятся очевидными.

Следующим преимуществом метода дешифрирования можно считать тот факт, что после завершения векторизации в StereoDraw большую часть работы можно считать выполненной. Оставшаяся работа заключается в проведении небольшой коррекции границ выделенных страт с использованием ArcGIS (либо другого софта для работы с пространственными данными) и объединении выделенных страт в потенциальные выделы. В случае таксации классическим назем-

ным методом после проведения натурных полевых работ нужно еще выполнить векторизацию и сопоставить выделенные области с кадастровыми данными.

Кроме того, снимки и выделенные по ним страты всегда доступны для просмотра, поэтому проделанная работа может быть неоднократно проверена. Снимки могут быть использованы в дальнейшем для выполнения измерений основных показателей древостоя фотограмметрическими методами, что снижает стоимость последующих работ.

В исследованиях прошлых лет на предмет возможности применения дистанционных методов для таксации лесных насаждений путем визуальной интерпретации аналоговых аэрофотоснимков было показано, что дешифрирование аэрофотоснимков не исключает необходимости проведения полевых работ, но существенно сокращает их объем. С тех пор возможности дистанционных методов существенно возросли за счет технологического развития съемочной аппаратуры. Разумно предположить, что этот прогресс должен отразиться и на применении данных ДЗЗ для выделения границ лесных насаждений в процессе таксации и картографирования лесов. Принимая во внимание полученные результаты, можно сделать вывод о том, что выделение страт методом стереодешифрирования инфракрасных цифровых аэрофотоснимков на ЦФС сводит объем полевых работ к минимуму. В полевых условиях определяются только дешифровочные признаки, соответствующие характерным видам растительности и деревьев на исследуемой территории.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование показало возможность применения метода дешифрирования цифровых аэрофотоснимков высокого пространственного разрешения (10 и 30 см), обработанных на ЦФС, для выделения лесных страт при проведении таксации и картографирования лесов.

Сравнение результатов (границ лесотаксационных выделов), полученных наземным и дешифровочными методами показало отсутствие значимых расхождений. При этом метод дешифрирования является более детальным, поскольку дает возможность выделять значительно большее количество страт и лесных кварталов.

С экономической точки зрения наиболее выгодным оказался метод дешифрирования снимков с разрешением 30 см, наименее выгодным – дешифрирование снимков с разрешением 10 см.

Подытожить приведенное исследование можно тезисом о том, что метод дешифрирования по аэрофотоснимкам с разрешением 30 см предлагает наилучшее для лесной таксации соотношение цены и качества полученных результатов.