

АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ

© 2018 А.В. Любимов¹, А.А. Селиванов¹, А.Н. Крючков²,
Кхумало Номагсино Номалунгело¹, Чан Хау Тхин¹, С.В. Саксонов³

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

² Тольяттинское отделение русского ботанического общества, г. Тольятти

³ Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Статья поступила в редакцию 04.04.2018

В настоящее время в практику инвентаризации лесов возвращаются методы дешифрирования таксационных показателей лесов по материалам дистанционного зондирования Земли – аэрофотоснимки и изображения, полученные съемкой из космоса. Новые приборы и оборудование, современные программно – аппаратные комплексы и съемочные системы обеспечивают высокую достоверность распознавания объектов инвентаризации, точность контурного дешифрирования границ выделов и таксационных показателей насаждений. Работы по инвентаризации лесов нуждаются в научно-техническом обосновании. На решение этой задачи и направлена данная работа. *Ключевые слова:* инвентаризация лесов, дешифрирование, таксационные показатели, дистанционное зондирование Земли, вероятностные методы.

Для рационального ведения лесного хозяйства необходима оперативная, точная и актуальная информация о лесе. Как известно, данные лесоустройства по многим регионам сильно устарели. На сегодняшний момент всю огромную территорию лесов России обследовать наземными методами в ограниченные сроки не представляется возможным. Это связано с высокой стоимостью полевых работ и нехваткой таксаторов.

Согласно лесоустроительной инструкции, в РФ могут применяться четыре способа таксации леса. Один из них – дешифровочный, основанный на получении таксационных показателей по материалам ДЗЗ в камеральных условиях.

Существуют мнения о возможности создания универсальных алгоритмов автоматического дешифрирования для таксации лесов всей территории России. На данный момент подобные предположения кажутся спорными. Лес – живой организм, и на его развитие и отображение на материалах дистанционного зондирования влияет множество факторов. Существенное значение

Любимов Александр Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. E-mail: lyubitoff@yandex.ru

Селиванов Анатолий, Архипович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор Института леса и природопользования. E-mail: aa_selivanov@gmail.ru

Крючков Андрей Николаевич, кандидат географических наук, член Российского Ботанического общества. E-mail: land-1967@yandex.ru

Кхумало Номагсино Номалунгело, инженер.

E-mail: gcinok@yahoo.com

Чан Хау Тхин, аспирант. E-mail: thindhv@gmail.com

Саксонов Сергей Владимирович, доктор биологических наук, профессор, врио директора.

E-mail: sv saxonoff@yandex.ru

имеет отображение на снимке конкретных древесных пород. На разновременных изображениях одни и те же древесные породы могут отображаться по-разному, в зависимости от положения Солнца во время съёмки, наклона крон деревьев, времени года, территориального расположения объекта съёмки, наличия или отсутствия густого подлеска и многих других факторов. В связи с неоднозначностью отображения лесного полога на изображениях для целей таксации лесов дешифровочным способом необходимо выполнять тщательный анализ признаков дешифрирования для каждой съёмки.

Задачей данной работы является демонстрация и описание последовательности действий, выполняемых при камеральном анализе признаков дешифрирования в процессе выполнения таксации лесов дешифровочным способом.

Анализ признаков дешифрирования направлен на поиск тех показателей на изображении, с помощью которых возможно безошибочное определение породы конкретного дерева на снимке. Такими признаками являются: цвет освещённой части крон, формы крон, их размер и другие.

Перед тем, как приступить к камеральному анализу признаков дешифрирования, необходимо выполнить комплекс наземных работ:

- выборочная измерительно-перечислительная таксация выделов,
- измерение таксационных и дешифровочных показателей модельных деревьев,
- наземный анализ признаков дешифрирования.

На основе данных наземных работ устанавливаются взаимосвязи между таксационными и

дешифровочными показателями, строятся графики и номограммы.

Технология таксации лесов дешифровочными методами включает три основных этапа:

- аэросъёмка (возможно - камерой VisionMap A3),

- контурное и лесотаксационное дешифрирование в стереорежиме по программе Photomod с заполнением карточек таксации,

- формирование геоинформационных баз данных, печать стандартных выходных материалов таксации лесов (лесные карты, таксационные описания, ведомости).

Общей задачей данной технологии является интеграция современных программно-аппаратных средств в единый технологический цикл, направленный на выполнение стереоскопической таксации лесов дешифровочным способом для массовых производственных работ.

Опытная апробация технологии выполнялась г. на примере аэрокосмического полигона, расположенного в Приозерском лесничестве (Ленинградская область).

Наземные работы по изучению таксационных и дешифровочных показателей лесных насаждений включали закладку таксационно-дешифровочных пробных площадей (ТДПП), выделов с выборочно-перечислительной таксацией, а также тренировочного таксационно-дешифровочного маршрутного хода. На пробных площадях и выделах выполнялись следующие виды работ:

- измерялись таксационно-дешифровочные показатели модельных деревьев с целью последующего установления зависимостей между таксационными и дешифровочными показателями древостоев;

- выполнялся анализ факторов, влияющих на характер изображения насаждений, с заполнением карточек анализа признаков дешифрирования непосредственно на местности;

- определялись характерные формы крон разных пород в насаждении, разница в цвете лиственных и хвойных пород, густота крон, схематический чертёж профиля насаждения при виде сбоку и т.д.

Координаты границ ТДПП, центров ПП и выделов ВПТ (определяемые с помощью GPS-навигаторов) в камеральных условиях совмещались с ортофотопланами. Подготовленная картографическая фотооснова (фрагменты ортофотопланов) загружалась в программу ForestDecrypt для проведения анализа признаков дешифрирования. Исполнители выполняли анализ изображений деревьев конкретных пород на фрагментах ортофотопланов. Аналитическим и измерительным путём определялись морфологические, фотометрические характеристики отдельного дерева.

В результате камерального анализа признаков дешифрирования по преобладающим и составляющим породам автоматически в программе ForestDecrypt формировались описательные таблицы признаков дешифрирования (табл. 1), в которых указывались:

- вероятности значений признаков,

- пошаговая последовательность использования признаков в процессе дешифрирования,

- вероятности ошибок распознавания соответствующей древесной породы.

Пошаговый процесс распознавания древесных пород, показанный в табл. 1, может использоваться при дешифрировании. Так, при дешифрировании материалов съёмки, используемых в данном примере, для отличия ели от сосны целесообразно использовать совокупность признаков в следующем порядке – выпуклость кроны, собственную тень и размер промежутков; для отличия ели от берёзы достаточно использовать только цвет (табл. 1).

Данные автоматизированной статистической обработки признаков дешифрирования позволяют оценивать информационные особенности используемых материалов съёмки для дешифрирования различных категорий лесных насаждений в зависимости от преобладающей породы, групп или классов возраста, полноты и категорий площадей.

Некоторые таксационные показатели по снимку измерить невозможно. Поэтому определяются корреляционные зависимости между таксационными и дешифровочными показателями с использованием материалов, полученных на пробных площадях и в выделах перечислительной таксации.

Статистические характеристики таксационных и дешифровочных показателей (средние значения, коэффициенты варьирования, ошибки, регрессионные зависимости) могут оцениваться программными средствами для статистической обработки данных (надстройка «Анализ данных» в MS Excel, программы STATGRAPHICS или STATISTICA).

Для практического использования результатов регрессионного анализа при дешифрировании целесообразно строить графики и номограммы (рис. 1).

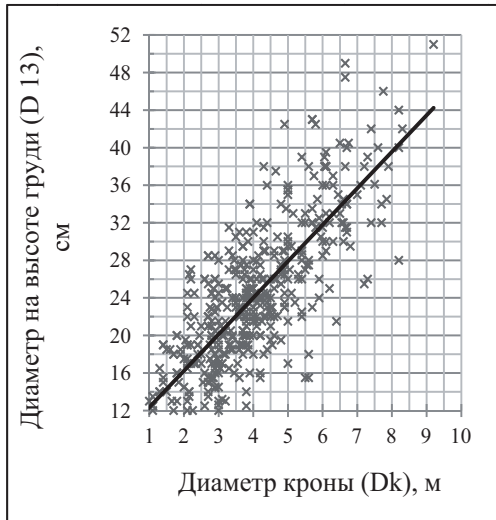
На территории аэрокосмического полигона были выполнены опытные работы по контурному и аналитико-измерительному дешифрированию. В табл. 2 приведены результаты сравнения дешифровочной и перечислительной таксации. Сравнение показывает, что ошибки определения основных таксационных показателей древостоев дешифровочным способом не превышают значения допустимых пределов, установленных для наземного глазомерного способа таксации.

Таблица 1. Фрагмент таблицы признаков дешифрирования и пошагового процесса распознавания древесных пород по материалам аэросъемки камерой VisionMap A3 пространственного разрешения 0,3 м (Учебно-тренировочный таксационно-дешифровочный полигон: Приозерское лесничество Ленинградской области)

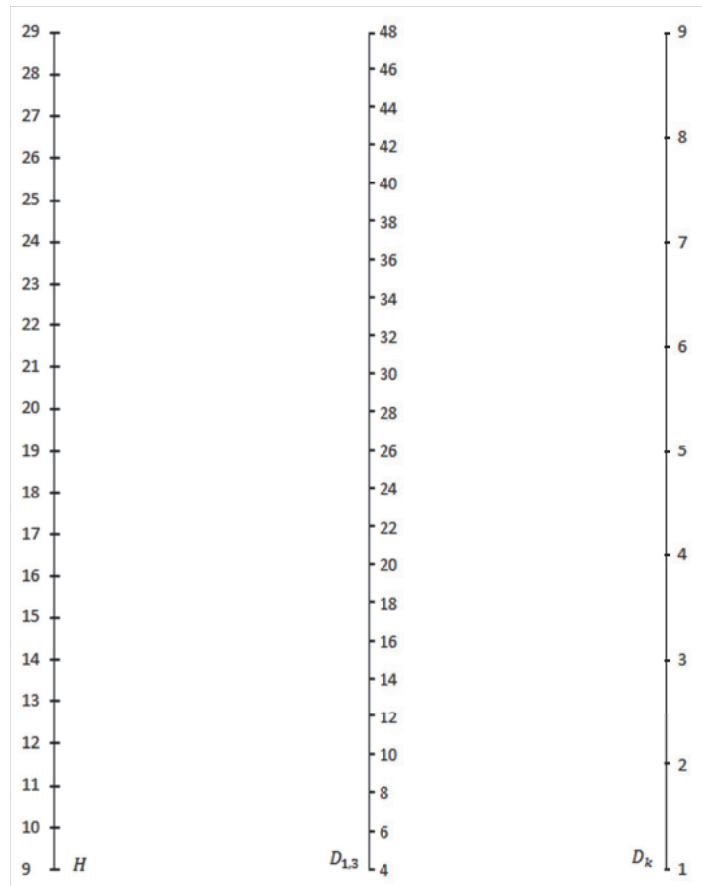
Признаки дешифрирования и вероятности их значений	Пошаговый процесс распознавания древесных пород (дешифрирования) и его достоверность
Преобладающая порода - ель	
<p><u>Цвет</u>: Зеленый-4 (23) - $P = 0,37$, Зеленый-3 (22) - $P = 0,27$, Зеленый-5 (24) - $P = 0,13$, Зеленый-2 (21) - $P = 0,10$, Зеленый-1 (20) - $P = 0,08$.</p> <p><u>Проекция крон в плане</u>: Неправильно-округлая - $P = 0,65$, Эллипсовидная - $P = 0,24$, Округлая - $P = 0,08$.</p> <p><u>Собственная тень</u>: Треугольная - $P = 0,86$, Овальная - $P = 0,10$.</p> <p><u>Выпуклость кроны</u>: Остроконечная - $P = 0,92$.</p> <p><u>Размеры проекций кроны</u>: 6,5-7,5 м - $P = 0,24$, 5,5-6,5 м - $P = 0,22$, 4,5-5,5 м - $P = 0,17$, 7,5-8,5 м - $P = 0,16$, 3,5-4,5 м - $P = 0,10$, 8,5-9,5 м - $P = 0,08$.</p> <p><u>Форма промежутков</u>: Неправильно округлая - $P = 0,54$, Однобоко-вытянутая - $P = 0,22$, Узорчатая - $P = 0,19$.</p> <p><u>Размер промежутков</u>: 1,5-2,5 м - $P = 0,24$, 2,5-3,5 м - $P = 0,22$, 0-1,5 м - $P = 0,19$.</p> <p><u>Просматриваемость в глубину</u>: Просматриваемость средняя - $P = 0,52$, Просматривается хорошо - $P = 0,25$, Полог плотный - $P = 0,22$.</p>	<p>Отличается от:</p> <p><u>Береза</u>: Цвет - $Q = 1,00$.</p> <p><u>Осина</u>: Цвет - $Q = 1,00$.</p> <p><u>Сосна</u>: Выпуклость кроны - $Q = 0,68$, Собственная тень - $Q = 0,89$, Размер промежутков - $Q = 0,95$, Цвет - $Q = 0,97$, Просматриваемость в глубину - $Q = 0,98$, Проекция крон в плане - $Q = 0,99$, Форма промежутков - $Q = 0,99$.</p>
Преобладающая порода - береза	
<p><u>Цвет</u>: Желтый-4 (39) - $P = 0,34$, Желтый-3 (38) - $P = 0,28$, Желтый-5 (40) - $P = 0,28$.</p> <p><u>Проекция крон в плане</u>: Неправильно-округлая - $P = 0,77$, Округлая - $P = 0,15$, Однобоко-вытянутая - $P = 0,08$.</p> <p><u>Собственная тень</u>: Овальная - $P = 0,91$, Серповидная - $P = 0,06$.</p> <p><u>Выпуклость кроны</u>: Ясно выражена - $P = 0,94$.</p> <p><u>Размеры проекций кроны</u>: 3,5-4,5 м - $P = 0,30$, 5,5-6,5 м - $P = 0,25$, 4,5-5,5 м - $P = 0,21$, 6,5-7,5 м - $P = 0,09$, 2,5-3,5 м - $P = 0,08$, 7,5-8,5 м - $P = 0,06$.</p> <p><u>Форма промежутков</u>: Неправильно округлая - $P = 0,75$, Узорчатая - $P = 0,11$, Однобоко-вытянутая - $P = 0,09$.</p> <p><u>Размер промежутков</u>: 0-1,5 м - $P = 0,68$, 2,5-3,5 м - $P = 0,13$, 1,5-2,5 м - $P = 0,11$.</p> <p><u>Просматриваемость в глубину</u>: Просматриваемость средняя - $P = 0,81$, Полог плотный - $P = 0,11$, Просматривается хорошо - $P = 0,08$.</p>	<p>Отличается от:</p> <p><u>Ель</u>: Цвет - $Q = 1,00$.</p> <p><u>Осина</u>: Выпуклость кроны - $Q = 0,97$, Цвет - $Q = 1,00$.</p> <p><u>Сосна</u>: Цвет - $Q = 1,00$.</p>

Дистанционные методы для обширных лесов России являются безальтернативным средством получения точной и актуальной информации о

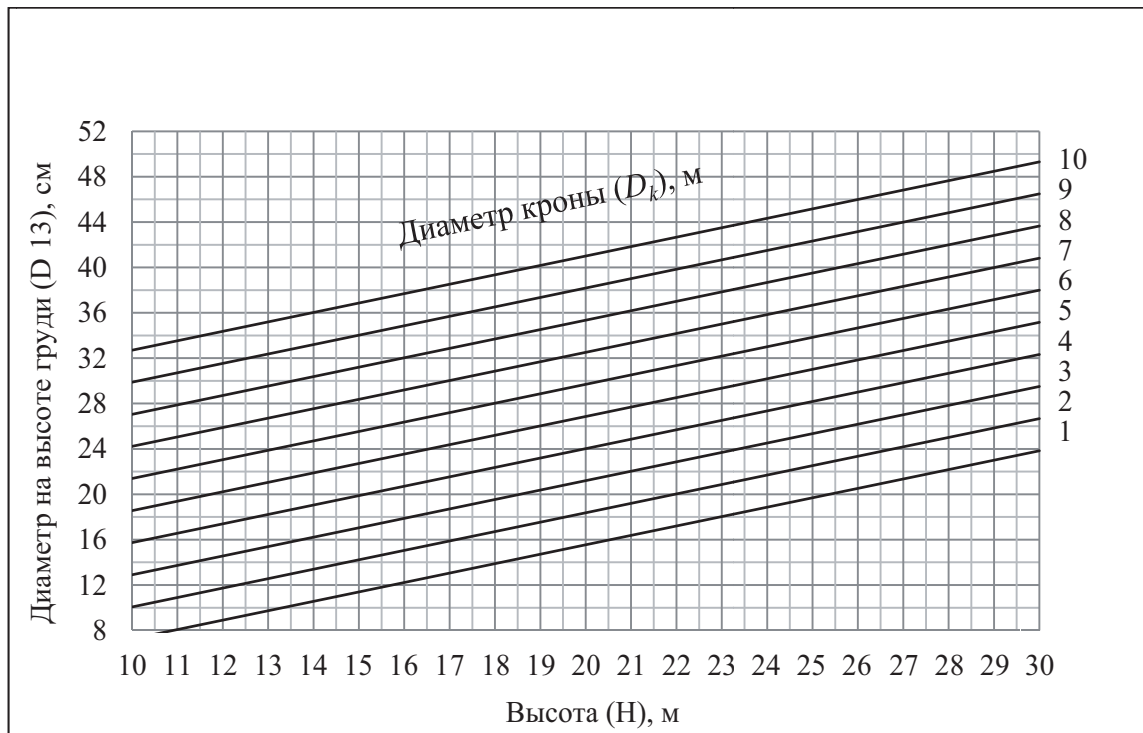
лесе. Процесс таксационного дешифрирования достаточно сложный и трудоёмкий, требует специальной подготовки исполнителей, на кото-



а



б



в

Рис. 1. Примеры графиков и номограмм для сосновых насаждений:

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

номограммы зависимости $D_{1,3} = -3,89 + 0,83 * H + 2,83 * D_k$ ($R^2 = 73,15\%$);

б – линейная номограмма с тремя прямолинейными параллельными шкалами,
в – линейная номограмма по одному квадранту с двумя прямолинейными шкалами

Таблица 2. Результаты сравнения дешифровочной и перечислительной таксации

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

рых, в конечном счете, возлагается большая ответственность за результаты работ. Поэтому для получения удовлетворительных результатов работ по лесному стереоскопическому дешифрированию важно пунктуально выполнять все работы, определенные технологической схемой. Важнейшим видом работ является подготовка исполнителей, связанная с натурной тренировкой исполнителя, и последующим тщательным камеральным анализом признаков дешифрирования для каждой съёмки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Center ScanEx, Данные спектрорадиометра MODIS. URL: Available from www.scanex.ru (дата обращения 15.02.2018).
- Барталёв С. С., Малинников В.А. Эксперименты по региональной оценке характеристик экологического состояния лесов с использованием данных спутниковых наблюдений и ГИС-технологий // Четвёртая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г. Сборник тезисов конференции. С. 202.
- Барталёв С. С., Малинников В.А. Взаимная яркостная нормализация спутниковых изображений при региональном картографировании лесов // Известия высших учебных заведений. 2006. Специальный выпуск. С. 83-92.
- Барталёв С. С., Малинников В.А. Возможности региональной экологической оценки лесов по данным спутниковых наблюдений // Известия высших учебных заведений // Геодезия и аэрофотосъёмка. 2006. № 6. С. 3-18.
- Гиряев М.Д., Харин О. А. Лесоуправление и лесопользование // Природно-ресурсные ведомости. 2002. № 10. С. 7-8.
- Куртеев В.В. ГИС и дистанционное зондирование в системе лесопатологического мониторинга России // ArcReview № 4 (43) 2007. URL: Available from www.dataplus.ru/arcrev/number_43/index.html (дата обращения 15.02.2018).
- Мельник Н.Н., Барталёв С.С. Применение информационных систем в целях оптимизации деятельности агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов // Вестник электротехнологии, электрификации и автоматизации сельского хозяйства. Выпуск №3 (13). С. 151-154
- Нифонтов В.И., Леонтьев С.Ю. Отчет по лесопатологическому обследованию части лесов Вельского и Торопецкого лесхозов Тверской области. Рослесозащита, 2002.
- Пузаченко М.Ю., Черненко Т.В. ГИС-технологии в мониторинге биоразнообразия лесов // Arcview № 4 (39) 2006. . URL: www.dataplus.ru/arcrev/number_39/index.html (дата обращения 15.02.2018).

**ANALYZES OF THE PHOTOINTERPRETATION PARAMETERS
FOR THE FOREST INVENTORY ON THE PROBABILITY METHODS**

© 2018 A.V. Lyubimov¹, A. A. Selivanov¹, A.N. Kryuchkov²,
Khumalo Nomagcino Nomalungelo¹, Trun Hau Thin¹, S.V. Saksonov³

¹ St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov

² Togliatti Branch of the Russian Botanical Society, Togliatti

³ Institute of Ecology of Volga Basin of RAS, Togliatti

Photointerpretation of forests characteristics is getting more important in order to the new relations in forestry and forest management. This paper is dealt with elaboration of new methods of forest inventory with remotely sensed data and principles of probability in the interpretation process. Modern equipment, hardware and soft with modern and updated remotely sensed imagery is the basis for new methods of forest inventory development.

Keywords: forest inventory, decoding, taxation indicators, remote sensing of the Earth, probabilistic methods.

Alexandr Lyubimov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor. E-mail: lyubimoff@yandex.ru

Anatoly Selivanov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Forest and Environmental Management. E-mail: aa_selivanov@gmail.ru

Andrey Kryuchkov, Candidate of Geography, Member of the Russian Botanical Society. E-mail: land-1967@yandex.ru

Khumalo Nomagcino Nomalungelo, Engineer.

E-mail: gcinok@yahoo.com

Tran Hau Thin, Post-Graduate Student.

E-mail: thindhv@gmail.com

Sergey Saksonov, Doctor of Biology, Professor, Director.

E-mail: svsexonoff@yandex.ru