

Р.А. АЛЕШКО, А.Т. ГУРЬЕВ
**СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ
СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ
И ТАКСАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

Алешко Р.А., Гурьев А.Т. Структурное моделирование взаимосвязей дешифровочных признаков спутниковых снимков и таксационных параметров лесных насаждений. Аннотация. В статье рассматриваются методологические основы космического мониторинга и тематической обработки спутниковых снимков лесных территорий. Используются методы системного анализа для исследования процессов тематической обработки спутниковых снимков. Разработаны модели структурных связей и свойств лесных насаждений и дешифровочных признаков спутниковых снимков в различных спектральных каналах для обзорных и детальных снимков. Предложен критерий оценки альтернативных вариантов тематической обработки. Построены производственные правила дешифрирования таксационных параметров насаждений.

Ключевые слова: системный анализ, космический мониторинг, структурное моделирование, тематическая обработка.

Aleshko R.A., Guriev A.T. Structural modeling relationships between satellite imagery interpretive features and forest taxation parameters.

Abstract. Methodological foundations of space monitoring and thematic processing of satellite images of the forest are proposed in this paper. The methods of systems analysis for researching of satellite imagery thematic processing are used. We developed the models of structural relationships and properties of forests and satellite images interpretive features in different spectral bands of the survey and detailed images. In addition, we proposed criterion for alternatives evaluating of thematic processing. Production rules for interpretation of forest inventory parameters is constructed.

Keywords: system analysis, space monitoring, structural modelling, thematic processing.

1. Введение. В последние годы в лесопромышленном комплексе потребность в информации о лесных ресурсах уже не удовлетворяется использованием только специализированных цифровых карт и баз атрибутивных данных. Недостаточная актуальность имеющейся информации зачастую приводит к замедлению принятия управленческих решений. На сегодняшний день существует потребность в регулярно обновляемых данных о лесных ресурсах.

Работа, представленная в статье, направлена на теоретическое обобщение подходов к тематической обработке спутниковых снимков лесных территорий и решение научно-технической задачи, связанной с созданием методик и алгоритмов автоматизированной обработки спутниковых снимков лесных территорий с использованием структурного моделирования [1, 2].

2. Методы исследования. При рассмотрении структуры объектов лесного фонда, категории лесных выделов выглядит следующим образом. Все земли лесного фонда делятся на нелесные (пески, дороги, болота и др.) и лесные земли. В свою очередь, лесные земли делятся на непокрытые лесом (гари, вырубки, пустыри и др.) и покрытые лесом участки.

Полная характеристика покрытых лесом участков включает такие параметры, как преобладающая порода, класс возраста, средняя высота и диаметр, класс бонитета, тип леса и др. При общей характеристике часто выделяют только преобладающую породу, класс бонитета, класс возраста, тип леса.

Предлагается методика [3] определения основных дешифровочных признаков по спутниковым снимкам, состоящая из следующих этапов:

1. Определение наиболее информативных дешифровочных признаков для выявления основных таксационных параметров.

2. Формализованное описание объектов и свойств тематического дешифрирования с использованием аппарата теории множеств.

3. Построение булевой матрицы связей свойств объектов тематического дешифрирования: основных таксационных показателей и дешифровочных признаков.

4. Построение структурных связей свойств таксационных показателей и дешифровочных признаков.

5. Разработка продукционных правил нахождения основных таксационных показателей с использованием данных спутниковой съемки.

Для обзорных снимков определение наиболее информативных дешифровочных признаков осуществлялось следующим образом:

– на основе многоспектральных спутниковых снимков Landsat-5 определялись средние значения яркости пикселей в различных спектральных каналах;

– строились графики спектральных кривых для каждого канала спутникового изображения (рис. 1);

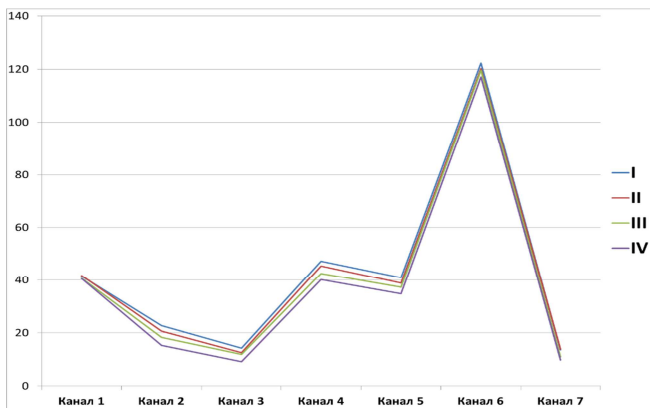


Рис. 1. Графики спектральных кривых для класса возраста.

– производился выбор наиболее обособленных спектральных кривых на графике, которые будут наиболее четко выделяться как тематический класс;

– например, для таксационного показателя «класс возраста» состав наиболее информативных спектральных диапазонов выглядит следующим образом: видимый зеленый, видимый красный, видимый синий, ближний инфракрасный. Значения яркости пикселей изображения в этих спектральных диапазонах и были выбраны в качестве дешифровочных признаков таксационных показателей.

Для детальных снимков состав дешифровочных признаков был выбран в ходе анализа литературных источников. Дешифровочные признаки на детальных спутниковых снимках в основном связаны с характеристиками текстуры и рисунка изображения: яркость крон, тон крон, протяженность крон, густота, варьирование, вид крон в пологе, форма крон, форма проекций крон, собственная тень на кроне.

Представим структуру лесного фонда и съемочных данных в формализованном виде на основе теории множеств.

Для формализации структуры лесных насаждений введем обозначения объектов леса: Q^{-IV} — лесничество, Q^{-II} — участковое лесничество, Q^{-I} — участок (урочище, дача), Q^{-1} — квартал, Q^0 — выдел, Q^1 — часть выдела, Q^2 — ярус, Q^3 — порода, q^4 — дерево.

Набор свойств, характеризующих лесные насаждения, имеет следующий состав: $F(Q^{-IV})$ — свойства, характеризующие лесничество; $F(Q^{-III})$ — свойства, характеризующие участковое лесничество; $F(Q^{-II})$ — свойства, характеризующие лесной участок; $F(Q^{-I})$ — свой-

ства, характеризующие квартал; $F(Q^0)$ — свойства, характеризующие выдел; $F(Q^1)$ — свойства, характеризующие часть выдела; $F(Q^2)$ — свойства, характеризующие ярус; $F(Q^3)$ — свойства, характеризующие породу; $F(q^4)$ — свойства, характеризующие дерево.

Каждая группа в свою очередь задается своим подмножеством свойств. Рассмотрим такое подмножество на примере свойств выдела. Определено четыре базовых таксационных параметра выдела, которые и выступают в качестве подмножества его свойств:

$$F(Q^0) = (F_{Л1}^0, F_{Л2}^0, F_{Л3}^0, F_{Л4}^0),$$

где $F_{Л1}^0$ — преобладающая порода; $F_{Л2}^0$ — класс бонитета; $F_{Л3}^0$ — тип леса; $F_{Л4}^0$ — класс возраста (свойства, связанные с лесными насаждениями имеют подстрочные индексы вида Ln , где n — порядковый номер свойства).

Для формализации структуры спутникового снимка введем следующие обозначения элементов множества: P^{II} — сцена, P^1 — фрагмент сцены, P^0 — объект, p^1 — пиксель изображения.

Набор свойств, характеризующих спутниковый снимок, имеет следующий состав: $F(P^{\text{II}})$ — свойства, характеризующие сцену, $F(P^1)$ — свойства, характеризующие фрагмент сцены, $F(P^0)$ — свойства, характеризующие объект, $F(p^1)$ — свойства, характеризующие пиксель изображения.

Состав свойств объектов многоспектрального *обзорного снимка* характеризуется совокупностью яркостных характеристик в различных диапазонах съемки. На примере объекта снимка рассмотрим подмножество характеристик свойства $F(P^0)$:

$$F(P^0) = (F_{C1}^0, F_{C2}^0, F_{C3}^0, F_{C4}^0),$$

где F_{C1}^0 — яркость в видимом синем спектре; F_{C2}^0 — яркость в видимом зеленом спектре; F_{C3}^0 — яркость в видимом красном спектре; F_{C4}^0 — яркость в ближнем инфракрасном спектре (свойства, связанные с обзорным снимком имеют подстрочные индексы вида Cn , где n — порядковый номер свойства).

Ранее в работе были определены спектральные каналы, использование которых наиболее целесообразно для определения того или иного таксационного параметра. Руководствуясь этими данными и данными множества свойств выдела и объекта спутникового снимка, построим булеву матрицу $[F(Q^0) \times F(P^0)]$ для обзорных спутниковых снимков (см. таблицу 1)

Таблица 1. Булева матрица $[F(Q^0) \times F(P^0)]$ для обзорных снимков

	$F_{Л1}^0$	$F_{Л2}^0$	$F_{Л3}^0$	$F_{Л4}^0$
F_{C1}^0				•
F_{C2}^0	•	•	•	•
F_{C3}^0	•	•	•	•
F_{C4}^0	•	•	•	

Разработанная система связей свойств лесных насаждений и дешифровочных признаков спутниковых снимков позволяет перейти к разработке структурных моделей процесса тематической обработки изображений. Представим полученные данные в виде структурных схем, демонстрирующих связь основных таксационных показателей и дешифровочных признаков лесных насаждений на примере класса возраста [4]. Структурные связи свойств «класс возраста» и «яркость в видимом синем спектре» представлены на рис. 2. Введем оценочный индекс для характеристики точности определения параметра. Будем полагать, что связь между свойством снимка и свойством насаждений равна «1». Тогда связи между отдельными вариантами значений этих свойств будут составлять долю от единицы. Причем, точность определения будет ниже, если разные значения таксационного параметра определяются по снимку с использованием одного и того же значения дешифровочного признака.

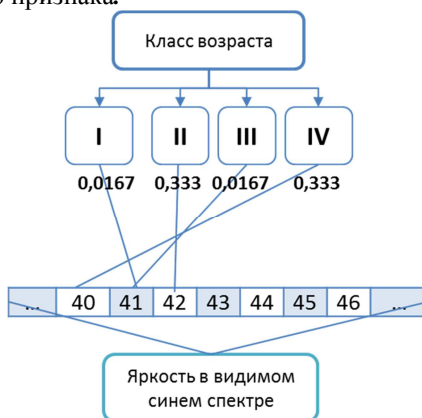


Рис. 2. Структурные связи свойств «класс возраста» и «яркость в видимом синем спектре»

Аналогичным образом построены структурные схемы для выделенных ранее основных таксационных показателей и всех дешифровочных признаков. Разработанные схемы можно представить в виде продукционных правил. Введем следующие обозначения используемых спектральных каналов: видимый синий – VB (visibleblue), видимый зеленый - VG (visiblegreen), видимый красный – VR (visiblered), ближний инфракрасный – NIR (nearinfra-red). Таксационный показатель «класс возраста» обозначим AC (ageclass). Критерий определения таксационного параметра укажем в надстрочном индексе.

Для таксационного параметра «Класс возраста» = I правило на основе продукционной модели будут выглядеть следующим образом:

IF VB = 41^{0,0167} & VG = 23^{0,25} & VR = 14^{0,333} & NIR = 47^{0,25} **THEN** AC := I

Используя методику, предложенную для обзорных спутниковых снимков можно проанализировать структурные связи дешифровочных признаков и таксационных показателей детальных снимков. Для таксационного параметра «Преобладающая порода» = «сосна» (FS) правило на основе продукционной модели будут выглядеть следующим образом:

IF
OS = «полумесец»^{0,2} & CFP = «округлая»^{0,125} & CF = «параболоид»^{0,1} &
CV = «выпуклые»^{0,083} & VAR = «1:3»^{0,25} & CL = «1/3-1/5»^{0,2} &
CH = «зеленый»^{0,2} & CB = «светло-серые»^{0,083}
THEN
FS = «сосна»,

где яркость крон — CB, тон крон — CH, протяженность крон — CL; варьирование — VAR, вид крон в пологе — CV, форма крон — CF, форма проекций крон — CFP; собственная тень — OS.

Таким образом, в работе на основе анализа спектральных кривых и структурных характеристик спутниковых снимков определен состав дешифровочных признаков отдельных таксационных параметров лесных насаждений обзорных и детальных спутниковых снимков. Установлены взаимосвязи основных дешифровочных признаков и таксационных показателей лесных территорий. Разработаны продукционные правила и структурные модели процесса тематической обработки спутниковых снимков лесных территорий, позволяющие автоматизировать процесс дешифрирования таежных лесов.

Закключение. Таким образом, в работе на основе анализа спектральных кривых и структурных характеристик спутниковых снимков определен состав дешифровочных признаков отдельных таксационных параметров лесных насаждений обзорных и детальных спутниковых снимков. Установлены взаимосвязи основных дешифровочных признаков и таксационных показателей лесных территорий. Разработаны производственные правила и структурные модели процесса тематической обработки спутниковых снимков лесных территорий, позволяющие автоматизировать процесс дешифрирования таежных лесов.

Литература

1. Тематическая обработка спутниковых снимков лесных территорий на основе структурных моделей: монография / А.Т. Гурьев, Р.А. Алешко, С.В. Торхов, Д.В. Трубин; Сев. (Арктич.) федер. ун-т. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 164 с.
2. Павлов В.В. Структурное моделирование в CALS-технологиях / В.В. Павлов; [отв. ред. Ю.М. Соломенцев]; Ин-т конструкторско-технологической информатики РАН. – М. Наука, 2006. 307 с.
3. Алешко Р.А., Гурьев А.Т. Разработка методики автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования лесных насаждений // Информационных технологий в исследовании Северных и Арктических территорий: материалы науч.-техн. конф. (Архангельск, 28-29 июня 2012 г.) / Сев. (Арктич.) федер. ун-т. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. С. 3–9.
4. Алешко Р.А., Гурьев А.Т., Торхов С.В. Анализ структурных связей дешифровочных признаков спутниковых снимков и таксационных параметров лесных территорий // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады V Всероссийской конференции, посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина (Москва, 22-24 апреля 2013 г.). М.: ЦЭПЛ РАН, 2013. С. 97–100.

Алешко Роман Александрович — ассистент кафедры Информационных технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов: системный анализ, методы тематической обработки спутниковых снимков, обработка изображений. Автор 25 научных трудов. roman@aleshko.com, <http://www.narfu.ru>; ФГАОУ ВПО САФУ им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, Архангельск, 163002, РФ; р.т. +7(8182)41-28-08

Aleshko Roman Aleksandrovich — assistant at Information Technology department of Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov. Research interests: system analysis, methods of satellite images thematic processing, image processing. The number of publications is 25. roman@aleshko.com, <http://www.narfu.ru>; Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov, 17 Northern Dvina emb., 163002, Arkhangelsk, Russia; office phone +7(8182)41-28-08.

Гурьев Александр Тимофеевич — д.т.н., профессор кафедры Информационных технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, структурирование систем, автоматизация процессов лесопромышленного комплекса. Автор более 150

научных трудов. atg6@rambler.ru; ФГАОУ ВПО САФУ им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, Архангельск, 163002, РФ; р.т. +7(8182)41-28-08

Guriev Aleksandr Timofeevich — Doctor of Sciences (Tech), Profat Information Technology department of Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov. Research interests: decision support systems, systems structuring, automation of timber industry processes. Author of more than 150 publications. atg6@rambler.ru; Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov, 17 Northern Dvina emb., 163002, Arkhangelsk, Russia; office phone +7(8182)41-28-08.

Рекомендовано САФУ им. М.В. Ломоносова, проректор по научной работе, д.х.н., профессор К.Г. Боголицын.

Статья поступила в редакцию 13.06.2013.

РЕФЕРАТ

Алешко Р.А., Гурьев А.Т. Структурное моделирование взаимосвязей дешифровочных признаков спутниковых снимков и таксационных параметров лесных насаждений.

Основной целью статьи является повышение эффективности дешифрирования спутниковых снимков лесных территорий путём разработки методов и алгоритмов тематической обработки изображений на основе структурных моделей. В работе предложены пути достижения поставленной цели, основанные на использовании аппарата теории множеств для формализации процесса тематического дешифрирования снимков.

Для управления лесными ресурсами при решении задач лесопромышленного комплекса необходима информационная система управления, которая должна базироваться на геоинформационных технологиях, методах обработки пространственных данных и полевых исследований, поэтому разработка методов и алгоритмов автоматизированной обработки спутниковых снимков лесных территорий является актуальной. Используемые методы исследования, математический аппарат, экспериментальная проверка результатов структурного моделирования нашли применение в разработанных средствах информационной поддержки предприятий лесопромышленного комплекса.

Предложена методика автоматизированного определения основных таксационных показателей лесных территорий по дешифровочным признакам данных спутниковой съемки. Основой методики является структурирование объектов, свойств и отношений лесных насаждений и спутниковых снимков. Результаты структурирования представлены в виде булевых матриц, структурных схем и продукционных правил.

На основе проведенного анализа структурных взаимосвязей свойств спутникового снимка и свойств лесных насаждений разработаны алгоритмы тематического дешифрирования для решения различных прикладных задач.

Практическая значимость проведенных исследований подтверждается тем, что на их основе разработана информационная система управления лесными ресурсами. Система позволяет выполнять манипуляции с пространственными и атрибутивными данными, в ней реализованы основные функции геоинформационных систем, а также организовано взаимодействие с базой данных. Основным компонентом обновления данных о лесных ресурсах является предложенная авторами методика на основе структурных моделей.

SUMMARY

Aleshko R.A., Guriev A.T. **Structural modeling relationships between satellite imagery interpretive features and forest taxation parameters.**

The main aim of this article is to improve interpretation of satellite images of forest areas through the development of methods and algorithms for thematic image processing on a basis of structural models. This paper describes a way to achieve this goal, based on the use of the theory of sets to formalize the process of thematic image interpretation.

For forest management when solving problems timber industry complex information management system is needed, which should be based on GIS technologies, methods of spatial data processing and field research, so the development of methods and algorithms for automated processing of satellite images of forest areas is relevant. Used research methods, mathematical tools, the experimental verification of the results of structural modeling were used in the developed information management tools of forestry enterprises.

The technique automated determination of major forest indices of forest areas for interpretive features of satellite data is proposed. The basis of the method is the structuring of objects, properties and relationships of forests and satellite imagery. The results are presented in the form of structured Boolean matrices, block diagrams and production rules.

Based on the analysis of structural properties relationship of satellite imagery and the properties of forest stands thematic decoding algorithms are developed for different applications.

The practical significance of the research supported by the fact that information system of forest management were released. The system enables manipulation of spatial and attribute data, it implemented the basic functions of geographic information systems, as well as organized interaction with the database. The main component of the updating of the forest resources is the method proposed by the authors on the basis of structural models.