

АВТОМАТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ СНИМКОВ QUICKBIRD В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ПОЛНОТЫ ЛЕСА

Терехов А.Г., Макаренко Н.Г., Пак И.Т.

Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК

Аннотация

На основе спутниковых данных сверхвысокого пространственного разрешения (QuickBird) разработана автоматическая технология оценки доли проективного покрытия кронами деревьев и расчёта полноты леса на примере Аман-Карагайского бора Северного Казахстана. Алгоритм обработки основан на пороговом выделении маски теней, с её последующим морфологическим фильтрованием. Построенная по критериям универсальной системы классификации земных покровов (Land Cover Classification System) карта полноты леса тестового участка имела точность 82,5% относительно соответствующей карты на основе экспертного дешифрирования снимка сверхвысокого разрешения.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, снимки сверхвысокого разрешения, маска теней, морфологическое фильтрование, проективное покрытие кронами деревьев, полнота леса.

Введение

Снимки сверхвысокого пространственного разрешения получили в последнее время широкое распространение. Так, например, система Google-Earth позволяет получать покрытия относительно больших территорий по всему миру снимками QuickBird с пространственным разрешением 0,6 м. Высокая информационная ёмкость этих данных и свободный характер доступа к ним обуславливает значительный интерес к автоматическим методикам их обработки практически во всех востребованных направлениях. Одним из них является описание и типизация лесных сообществ: определение границ лесов, оценка полноты и возрастной структуры лесов, выделение очагов развития энтомопатологий и т. п. К сожалению, таксация леса на основе наземного обследования является чрезвычайно трудоёмкой работой, поэтому дистанционное зондирование с получением снимков сверхвысокого пространственного разрешения (лучше 1 м) остаётся, наверное, единственным средством получения необходимых сведений в большом объёме с разумной частотой обновления.

Целью данной статьи является оценка полноты леса по критериям международной системы классификации земного покрова (Land Cover Classification System (LCCS) [www.fao.org]). В рамках этой задачи мы обсуждаем новую методику обработки спутниковых данных QuickBird с разрешением 0,6 м.

Объект описания

В качестве тестового объекта использовался Аман-Карагайский лесной массив [1], расположенный в Северном Казахстане в пределах Костанайской области, с координатами центра примерно 52°25' с.ш., 63°55' в.д. Он занимает площадь около 600 км² и представляет собой почти однородный лес, состоящий из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) с отдельными включениями берёзы (*Betula pendula*). Аман-Карагайский лесной массив расположен на южной границе Евразийского ареала распространения сосны (за исключением горных и предгорных территорий). Деревья, как правило, имеют относительно небольшой возраст с типичной высотой 10–15 м (рис. 1).

Лесоустройство базируется на пожарно-охранной деятельности и искусственном возобновлении по территориям лесных гарей.



Рис. 1. Типичный вид Аман-Карагайского лесного массива

Система описания полноты леса

Универсальная система классификации земных покровов рекомендуется в международной системе стандартов (ISO/CD 19144) для использования в геоинформационных системах и при создании различных тематических карт подстилающей поверхности, в том числе и растительности [2]. В рамках LCCS описание леса по фактору его полноты (доля проективного покрытия) базируется на двух пороговых величинах: 65% – порог, разделяющий сомкнутый лес от редколесья, и 15% – порог, разделяющий редколесье от фрагментированного редколесья. Аман-Карагайский консолидированный лесной массив расположен в степной зоне [3], поэтому практический интерес представляет распознавание леса с разделением редколесья и сомкнутого покрова. Фрагментированное редколесье нетипично для этого лесного массива.

Спутниковые данные и их предварительная обработка

Для разработки методики анализа полноты леса использовался снимок QuickBird за 20.08.2007 г., доступный в системе в Google-Earth, в панхроматическом канале (450–900 нм) с пространственным разрешением 0,61 м в надире. Снимок покрывает восточную часть Аман-Карагайского лесного массива со сверхвысоким разре-

шением, что позволяет детально регистрировать текстуру светотеней подстилающей поверхности (рис. 2).

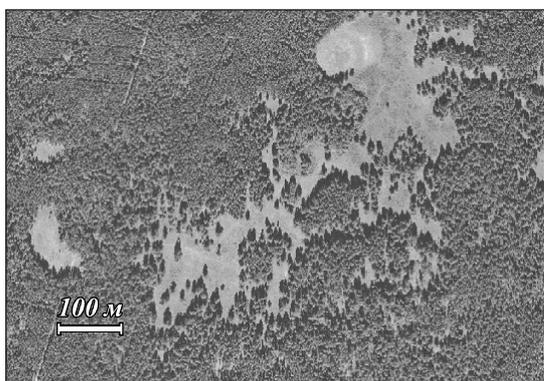


Рис. 2. Фрагмент спутниковой съёмки Аман-Карагайского лесного массива.

Снимок QuickBird на 20.08.2007 г. [Google-Earth]

Получение снимка QuickBird для его последующей обработки осуществлялось с помощью набора перекрывающихся экранных изображений. Базовый снимок QuickBird (20.08.2007 г.) восточной части Аман-Карагайского лесного массива был собран из 144 фрагментов. Создание мозаики из такого большого числа фрагментов сопряжено с ошибками географической привязки, которые могут достигать 5–10 пикселей, однако из-за чрезвычайно высокого разрешения снимка (60 см) такой уровень ошибок не слишком велик для задачи картирования полноты леса.

Методика обработки данных QuickBird

Автоматическая обработка спутниковых снимков сверхвысокого пространственного разрешения имеет определённые трудности. Высокая детальность снимка формирует покрытие отдельными пикселями слишком мелких объектов. Для леса это отдельные ветви деревьев или их тени. В этом случае стандартный аппарат спектрального анализа, базирующийся на классификации, становится неэффективным. Результатом классификации может быть, например, разделение ветвей по степени их освещённости, архитектонике, состоянию листовой поверхности и прочего, что лежит вне круга стандартных задач описания леса. Текстурный и морфологический анализ, более подходящий для автоматического распознавания пространственно распределённых объектов на снимках сверхвысокого пространственного разрешения.

В решении задачи полноты леса ключевым дешифровочным признаком является морфология и текстура светотеней. Тени характеризуются низкими коэффициентами отражения, что позволяет их легко выделять простыми пороговыми алгоритмами даже на панхроматических снимках. В случае лесной растительности тени, сформированные на подстилающей поверхности, являются следствием особенностей архитектоники и полноты леса. Возвышающиеся деревья затеняют кроны соседних деревьев или растительность нижнего яруса (травяной или кустарниковый покров) в случае полян и редколесья. Размер теней зависит от архитек-

тоники кроны и различий в высоте между доминирующими деревьями и фоновым окружением. Особый тип теней в форме полос образуется на границах компактных лесных формирований (рис. 2).

Цель обработки снимка QuickBird сводится к построению маски кроны деревьев на основе морфологии и текстуры теней. Затем проективное покрытие кронами деревьев может быть аппроксимировано на выделы больших размеров, чем исходный пиксель изображения ($0,6 \times 0,6$ м) с разделением на классы по долям покрытия внутри них. При этом можно использовать произвольные пороговые значения, в том числе и рекомендуемые в системе LSSC (15 % и 65 %). Для решения задачи построения маски кроны деревьев использовалась пара связанных морфологических фильтров. Первый увеличивал выделенную зону на заданное число пикселей, второй уменьшал её на это же значение.

- Первая стадия обработки панхроматического снимка QuickBird – построение маски теней с помощью простого порогового алгоритма (рис. 3а, б).
- Вторая – морфологическое фильтрование с построением маски кроны деревьев (рис. 3в).
- Третья – аппроксимация маски кроны деревьев на выделы большего размера, например, на регулярную сетку с периодом 30 м, что пространственно синхронизировано с очень популярной съёмкой LANDSAT, для которой имеется архив с 1983 года (рис. 3г).

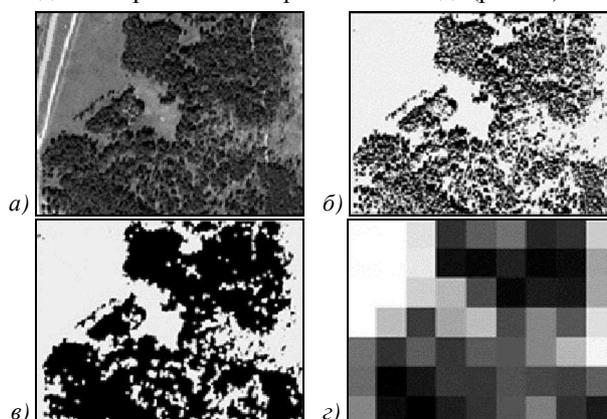


Рис. 3. Основные этапы технологической схемы построения карты полноты леса (плотность серого цвета кодирует долю лесного покрытия): исходный снимок QuickBird (а); выделенные тени (пороговый алгоритм (б)); кроны деревьев (морфологическое фильтрование) (в); аппроксимация на 30-метровые квадратные выделы (г)

Морфологическое фильтрование осуществлялось с помощью двух фильтров, обеспечивающих увеличение (дилатацию) и уменьшение (эрозию) маски теней путём сдвига её границ на заданное число пикселей [4]. Масштаб сдвига – несколько пикселей; его оптимальная величина подбирается экспериментальным путём, рис. 4. В результате такого фильтрования тени сливаются, образуя маску кроны деревьев.

Таким образом, маска кроны деревьев, построенная путём морфологического фильтрования маски теней

со снимка сверхвысокого разрешения, способна служить основой для оценки полноты леса. Тематические карты могут формироваться с произвольным уровнем генерализации с помощью любых величин порогов, разделяющих сомкнутый лес от редколесья и фрагментированного редколесья.

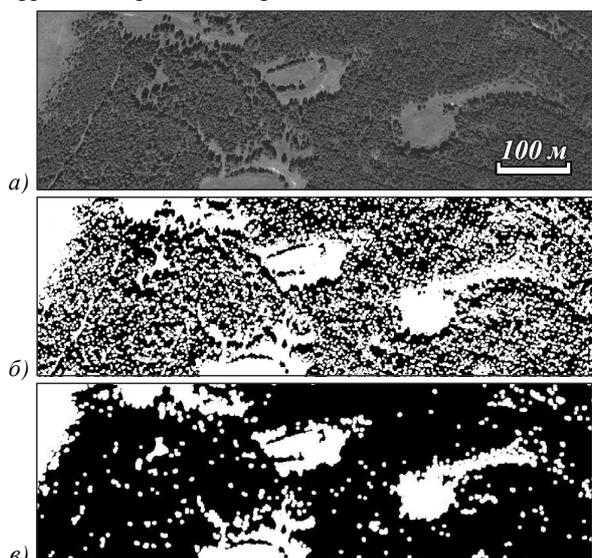


Рис. 4. Примеры трансформации маски теней с исходного снимка (QuickBird, 20.08.2007) (а): результаты раздувания и сжатия маски теней на 2 пикселя (б); на 4 пикселя (в)

Валидация

Валидация автоматического алгоритма оценки полноты леса по данным QuickBird (разрешение 60 см) проводилась на тестовом фрагменте снимка Аман-Карагайского лесного массива. Маска крон деревьев строилась двумя способом – автоматическим дешифрированием согласно описанному алгоритму и с помощью экспертной фотоинтерпретации. Результаты в обоих случаях аппроксимировались на регулярную сетку с периодом 30 м. Затем соответствие полученных фрагментов тематических карт оценивалось через стандартную матрицу ошибок (см. таблицу). Уровень соответствия в 82,5% демонстрировал достаточно высокую точность автоматического алгоритма дешифрирования редколесья при построении карт полноты соснового леса Северного Казахстана.

Табл. Матрица ошибок автоматической оценки полноты леса, на примере фрагмента Аман-Карагайского бора, по спутниковым данным QuickBird, при генерализации на регулярную матрицу с периодом 30 м размером 7×9

АВТОМАТ	Полнота леса	<15 %	15-65 %	> 65%	Точность
	<15 %	10	1	0	90,9
15-65 %	4	16	0	89,0	
>65 %	0	6	26	81,4	
Точность	71,4	69,6	100	82,5	

Заключение

Описание полноты леса на основе наземных данных является трудоёмким процессом, характеризуемым опеределённой долей субъективизма. Между тем динамика полноты леса наиболее интересна при мониторинге и

экологическом обследовании состояния облесённых территорий. Заметим, что предложенный в этой работе алгоритм оценки полноты леса по морфологии и текстуре его тени фактически опирается на общую форму известной из анализа теоремы Фубини [5]. Она утверждает, что для любого измеримого подмножества, почти все типичные проекции измеримы и объём проекции позволяет получить объём исходного множества простым интегрированием.

Мы полагаем, что автоматический алгоритм распознавания редколесья и построения карт полноты леса на основе снимков сверхвысокого пространственного разрешения QuickBird представляет собой полезный инструмент, дающий объективную оценку состояния сосновых лесов и их изменений во времени.

Другим направлением использования спутниковых карт полноты леса на основе QuickBird может являться создание эталонов, необходимых для решения подобных задач на основе спутниковых данных более низкого разрешения, например LANDSAT (разрешение 30 м), для которых имеется 30-летний ряд наблюдений с многократным полным покрытием крупных регионов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов № 0866/ГФ2 и 2308/ГФ3 МОН РК.

Литература

1. **Бирюкова, З.П.** Водный режим и устойчивость насаждений сосны в Северном Казахстане / З.П. Бирюкова, А.И. Верзунов, Л.Г. Мехедова, Г.И. Скоморохова // Лесоведение. – 1989. – № 1. – С. 97-103.
2. **Jansen, J.M.** Land Cover Classification System (LCCS): classification concepts and user manual // FAO Land and Water Development Division, FAO – 2000. – URL: <http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.htm> (дата обращения 25.09.2014).
3. **Усольцев, В.А.** Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев / В.А. Усольцев – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. – 191 с.
4. **Визильтер, Ю.В.** Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко, М.В. Ососков, А.В. Моржин. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
5. **Зорич, В.А.** Математический анализ / В.А. Зорич. – М.: Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 640 с.

References

1. **Biryukova, Z.P.** Water conditions and stability of pine plantations in northern Kazakhstan / Z.P. Biryukova, A.I. Verzunov, L.G. Mehedova, G.I. Skomorohova // Lesovedenie. – 1989. – Vol. 1. – P. 97-103. – (In Russian).
2. **Jansen, J.M.** Land Cover Classification System (LCCS): classification concepts and user manual // FAO Land and Water Development Division, FAO – 2000. – URL: <http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.htm> (date of the request 25.09.2014)
3. **Usolcev, V.A.** Modeling of structure and dynamics of wood phytomass / V.A. Usolcev – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk University Publisher, 1985. – 191 p. – (In Russian).
4. **Vizilter, Yu.V.** Image processing and analysis in computer vision problems / Yu.V. Vizilter, S.Yu. Zheltov, A.V. Bondarenko, M.V. Ososkov, A.V. Morzhin. – Moscow: "Fizmatkniga" Publisher, 2010. – 672 p. – (In Russian).
5. **Zorich, V.A.** Mathematical analysis / V.A. Zorich. – Moscow: Nauka Main Edition of physical and mathematical literature, 1984. – 640 p. – (In Russian).

AUTOMATIC CLASSIFICATION ALGORITHM OF QUICK BIRD IMAGES IN THE PROBLEM OF EVALUATING OF FOREST COMPLETENESS

A.G. Terehov, N.G. Makarenko, I.T. Pak
Institute of Computational Technologies MES RK

Abstract

Automated technology based on ultra-high spatial resolution (QuickBird) satellite data has been developed to estimate fraction of projective covering by crowns of trees and calculate forest integrity on the sample of Aman-Karagaisky forest in the Northern Kazakhstan. The processing algorithm is based on the threshold allocation of mask of shadows and its succeeding morphological filtering. The map of forest's test area integrity built by Land Cover Classification System [LCCS] criteria have an accuracy of 82.5% relatively to the corresponding map based on an expert decoding.

Key words: remote sensing, high resolution images, mask of shadows, morphological filtering, projective covering by crowns of trees, forest integrity.

Сведения об авторах



Терехов Алексей Геннадьевич, родился 31.08.1960 года в г. Алматы (Казakhstan), кандидат технических наук в области тематической обработки данных дистанционного зондирования, старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий министерства образования и науки Республики Казахстан. С 1991 года – работает в области обработки спутниковых данных, с 2008 года научный эксперт LPV WG CEOS NASA. Автор и соавтор свыше 150 научных публикаций.

E-mail: aterehov1@yandex.kz.



Alexey Gennadyevich Terehov, born 31.08.1960 in Almaty (Kazakhstan), PhD in the field of thematic processing of remote sensing data, a senior research worker of the Institute of Computational Technologies, the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. Since 1991 he has been working in the field of satellite data processing, since 2008 scientific expert LPV WG CEOS NASA. Author and co-author of over 150 scientific papers.

Макаренко Николай Григорьевич, д.т.н., д.ф.-м.н., г.н.с. ИИВТ (Алматы, РК), г.н.с. ГАО РАН (Санкт-Петербург, РФ). Научные интересы: фрактальная геометрия, нейрокомпьютинг, вычислительная топология, космическая погода, математическая морфология, детерминированный хаос. Имеет более 100 научных публикаций.

E-mail: ng-makar@mail.ru.



Nikolay Grigorevich Makarenko, PhD, DSc Principal Research Associate ИСТ (Almaty, Kazakhstan), Chief Researcher CAO RAS (St. Petersburg, Russia). Research interests: fractal geometry, neurocomputing, computational topology, space weather, mathematical morphology, deterministic chaos. He has more than 100 scientific publications.

Пак Иван Тимофеевич, 1930 года рождения, в 1954 году окончил Казахский государственный университет им. С.М. Кирова, физико-математический факультет, работает в Институте информационных и вычислительных технологий главным научным сотрудником (г. Алматы, РК). Область научных интересов: разработка теоретических основ компьютерной арифметики в различных алгебраических областях. Получены оригинальные результаты в разработке принципов получения систем специального назначения, связанных с обработкой многомерных структур данных.

E-mail: pak.it@mail.ru.

Ivan Timofeevich Pak (b.1930) graduated from al-Farabi Kazakh National University, Mechanics and Mathematics faculty, works at the Institute of Computational Technologies as the Chief Researcher (Almaty, Kazakhstan). His research interests are currently focused on the development of theoretical foundations of computer arithmetic in various algebraic fields. Original results were obtained in developing of principles of finding special purpose systems associated with processing of multidimensional data structures.

Поступила в редакцию 20 марта 2014 г.