

УДК 630*587

А. А. Пушкин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (БГТУ)**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕМАТИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ
ЛЕСНОГО ФОНДА ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

В статье рассматривается технология автоматизированного тематического дешифрирования земель лесного фонда по материалам космической съемки высокого разрешения. Алгоритм основан на контролируемых методах классификации с использованием спектральных яркостей объектов. Представлено описание разработанного программного обеспечения и основных этапов проведения работ.

The article discusses the technology of automated thematic interpretation of forest land based on high resolution space image. The present algorithm based on methods of classification using spectral brightness. The description of the developed software and main stages of the work are present in this article.

Введение. Современный этап развития лесостроительства, землеустройства и других отраслей, связанных с использованием пространственной информации, характеризуется широким использованием материалов космической съемки. Совершенно очевидно, что с течением времени применение данных материалов будет возрастать не только в областях решения производственных практических задач, но также и в сфере научных исследований, связанных, прежде всего, с изучением динамики природных объектов и их качественных показателей. К этому существуют следующие предпосылки:

– снижение стоимости материалов космической съемки зарубежных систем вследствие конкурентной борьбы, а также разработка Национальной системы дистанционного зондирования;

– экономическая целесообразность использования материалов космической съемки, поскольку затраты на их получение и обработку в несколько раз ниже по сравнению с обработкой материалов аэрофотосъемки;

– развитие компьютерной техники, позволяющей реализовывать сложные вычислительные алгоритмы;

– развитие рынка программного обеспечения обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и разработка новых вычислительных алгоритмов.

На основе тематически обработанных ДДЗ решаются не только ставшие уже традиционными задачи ведения мониторинга лесных территорий и создания тематических карт, но и оценка многолетней динамики основных видов лесных земель и растительности, проведение пространственно-временного моделирования динамики дешифрированных объектов [1, 5].

Таким образом, использование материалов космической съемки в первую очередь предполагает разработку методов и алгоритмов их дешифрирования. В общем случае под дешифрированием понимают процесс изучения данных дистанционного зондирования с целью идентификации объектов местности, а также опре-

деления их количественных и качественных показателей. Это наиболее важный этап обработки данных, имеющий целью получение информации из изображений, который включает в себя ряд последовательно проводимых процедур: классификация объектов, определение их количества, площадей, протяженности и других необходимых параметров. При этом процедура тематической классификации ДДЗ является самой сложной и плохо автоматизируемой, в то время как процедуры определения количественных и качественных параметров картографических объектов достаточно хорошо автоматизированы практически во всех современных ГИС-пакетах. Тематическая классификация космического снимка представляет собой процесс сортировки пикселей изображения в конечном количестве классов, основанный на значениях признаков [1, 3]. Оцениваемые признаки пикселей могут быть различны, но наиболее часто используются спектральные яркости.

В настоящее время разработано достаточно большое количество методов тематической классификации, использующих различные признаки пикселей изображения, которые реализованы в своем большинстве на базе современных программных комплексов обработки ДДЗ: *Erdas Imagine*, *ENVI*, *eCognition*, *ER Mapper*, *IDRISI* и др. В то же время единый и однозначный подход в систематизации данных методов в настоящее время в литературе отсутствует.

С позиций практического применения методов тематической классификации необходимо обеспечить наиболее высокую точность при минимальном наборе исходных данных и временных затратах. Отличительной особенностью классификации земель лесного фонда является наличие значительного количества сходных по спектральным характеристикам и текстуре изображения классов: несомкнувшиеся лесные культуры и вырубки, болота и сосновые насаждения по болоту, сосновые и еловые насаждения. Это значительно затрудняет проведение достоверной автоматизированной классифика-

ции земель лесного фонда на материалах космической съемки.

Ввиду того, что программные комплексы обработки ДДЗ имеют достаточно широкий спектр применения, в них практически не учитываются особенности классификации лесных земель и растительности, а использование их базовых программных функций для классификации земель лесного фонда приводит к значительным временным затратам, а зачастую и неудовлетворительным результатам.

В этой связи целесообразна разработка программного инструментария с целью автоматизации тематического дешифрирования земель лесного фонда. Поставленная задача решалась на основе базового программного обеспечения *ENVI* с использованием внутреннего объектно-ориентированного языка программирования *IDL* в тесном сотрудничестве с отделом приема и обработки космической информации РУП «Белгослес».

Основная часть. При реализации программного модуля автоматизированного тематического дешифрирования материалов космической съемки за основу был выбран метод контролируемой классификации с использованием эталонных участков на основе алгоритмов оценки их спектральных яркостей. Это предусматривает применение мультиспектральных материалов космической съемки высокого разрешения (2–10 м), получение которых в настоящее время обеспечивает достаточно боль-

шое количество систем: *Alos*, *Landsat*, *Aster*, *IRS* и др. В перспективе к использованию планируются материалы Белорусского аппарата дистанционного зондирования.

В качестве входных данных применяются цифровые изображения космических снимков в формате растровой графики *GeoTIFF*, прошедшие этап предварительной обработки [2, 3, 4]. Эталонные участки представляются в формате векторной графики *evf*, координатно привязанные к изображению на космическом снимке. Создание эталонных участков осуществляется по планируемому к выделению тематическим классам. При этом может использоваться несколько способов: с помощью проведения *GPS*-съемки необходимых объектов (наиболее точный, но и наиболее затратный способ); с использованием вторичных источников информации, например лесоустроительных карт и поведельных баз данных. При этом минимальное количество спектральных образов того или иного тематического класса, охватываемых эталоном, определяется исходя из формулы

$$K = 10n,$$

где K – минимальное количество спектральных образов тематического класса, охватываемых эталонными участками; n – количество спектральных каналов космического снимка.

Загрузка разработанного программного модуля осуществляется из общего интерфейса *ENVI* (рис. 1).

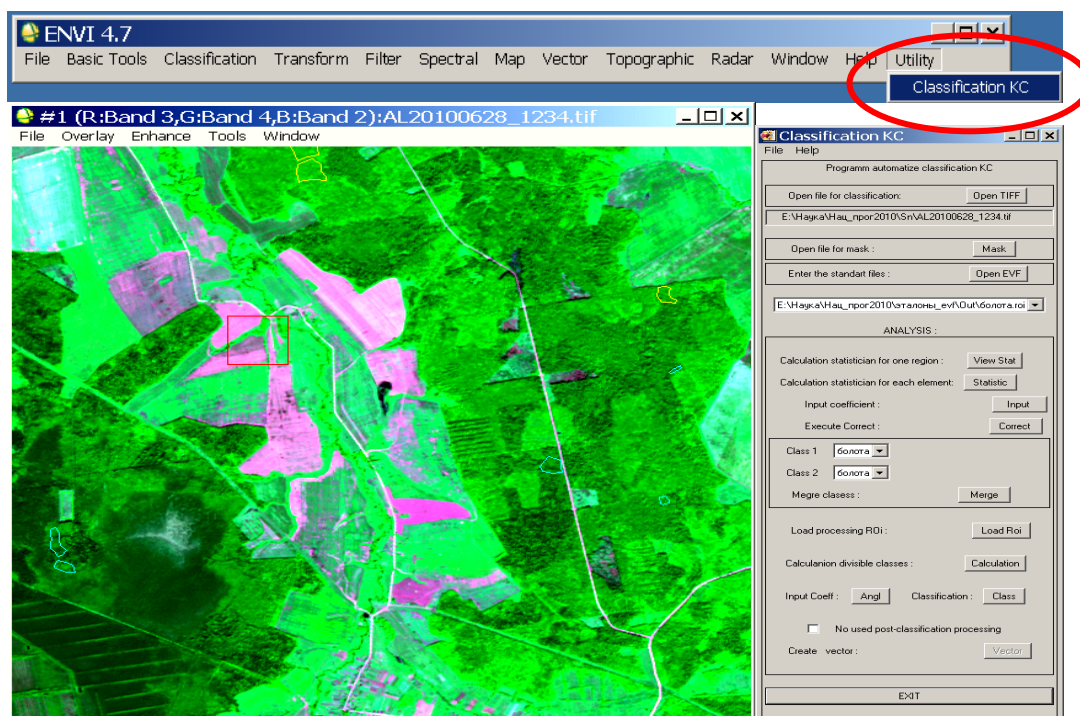


Рис. 1. Программный модуль автоматизированного тематического дешифрирования материалов космической съемки

В общем алгоритме работы программного обеспечения следует выделить следующие основные этапы.

1. Подготовка исходных данных. На этом этапе осуществляется загрузка классифицируемого космического снимка, изображений эталонных участков с созданием по ним регионов интересов, загрузка «маски» классификации (при необходимости), а также расчет статистических показателей спектральных яркостей эталонных участков с записью полученных результатов в базу данных. В данном случае для каждого канала изображения космического снимка определяются следующие статистики спектральной яркости: среднее, максимальное и минимальное значения, а также среднеквадратическое отклонение.

2. Проведение статистического анализа и коррекции массива эталонных участков. Проведение визуального анализа и коррекции массива эталонных участков осуществляется с целью достижения более детальной однородности выборок и лучшей разделимости информационных классов. Для этого проводятся загрузка распределений пикселей по спектральным яркостям по каналам для эталонной области в целом.

Данный этап предусматривает проведение процедур визуальной оценки гистограмм распределений спектральных яркостей с определением пороговых значений статистических показателей (рис. 2). При этом распределения должны характеризоваться небольшим размахом и быть одномодальными. Наличие многомодальности свидетельствует о том, что планируемый к выделению тематический класс необходимо разделить на несколько (рис. 2, б).

При большом размахе определяются пороговые значения средней спектральной яркости, среднеквадратического отклонения или максимального и минимального значений таким образом, чтобы выборка была репрезентативной. По визуально полученным пороговым значениям в автоматизированном режиме осуществляется корректировка массива эталонных участков путем удаления тех из них, спектральные яркости которых лежат за пределами установленных пороговых значений средней яркости и среднеквадратического отклонения (или минимального и максимального значений). Данный этап выполняется путем проведения запроса к атрибутивной базе данных эталонных участков.

3. Оценка разделимости планируемых к выделению тематических классов. Одним из основных критериев качества полученного при классификации тематического раstra является разделимость между классами, т. е. полученные в результате

тематической классификации классы объектов должны достоверно друг от друга отличаться.

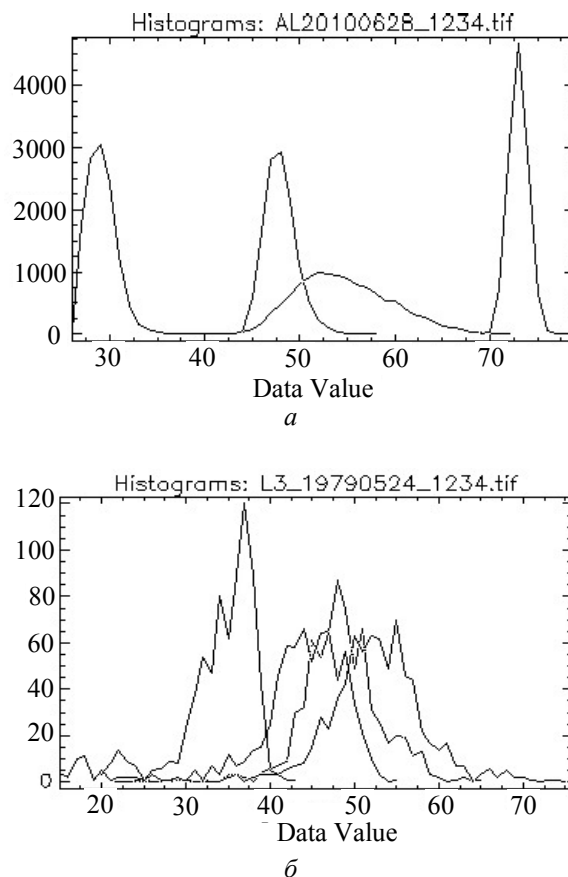


Рис. 2. Оценка распределений спектральных яркостей:
а – сосновые насаждения;
б – не покрытые лесом земли

Разделимость – статистическая мера расстояния между двумя тематическими классами, рассчитываемая для всех комбинаций пар выделяемых тематических классов [2, 3]. При вычислении разделимости принимаются во внимание ковариация, а также средние значения спектральных яркостей каналов изображения. По результатам оценки создается таблица разделимости, содержащая значения разделимости для каждой пары тематических классов. В качестве мер разделимости в разработанном программном обеспечении используется система коэффициентов трансформированной дивергенции и Джефриса – Матусита [2, 3].

Обеспечение разделимости является достаточно сложной задачей, поскольку ряд информационных классов обладает весьма схожими спектральными признаками. Например, свежие вырубки и участки сельскохозяйственного назначения, прогалины и несомкнувшиеся лесные культуры, черноольховые и осиновые насаждения и др. Зачастую такие объекты разделить не

удается, в связи с чем выполняется их объединение и формируются объединенные тематические классы.

По итогам расчета коэффициентов разделимости программный модуль формирует матрицу коэффициентов и представляет ее пользователю в виде таблицы.

На основе визуального анализа пользователь, выполняющий классификацию, принимает одно из нижеследующих решений: выполнить коррекцию массива эталонных участков с использованием n -мерного визуализатора или объединить плохо разделимые тематические классы в один.

При коррекции массива эталонных участков с использованием n -мерного визуализатора, спектральные яркости эталонных участков сформированных по тематическим классам распределяются в n -мерном пространстве (где n – количество спектральных каналов). Пользователь, визуально анализируя перекрытие классов, вручную проводит ограничение облака разброса спектральных яркостей эталонных участков, добиваясь тем самым лучшей разделимости планируемых к выделению тематических классов (рис. 3).

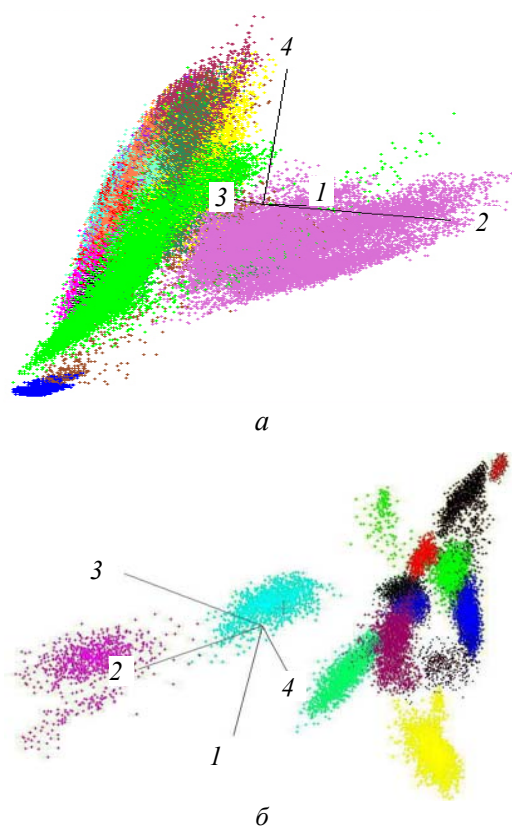


Рис. 3. Проведение коррекции массива эталонных участков в n -мерном визуализаторе:
 а – до проведения коррекции;
 б – после проведения коррекции

Необходимо отметить, что в данном варианте коррекции эталонных участков их количество не меняется, но из них удаляются области ошибочно определенных пикселей. При невозможности добиться лучшей разделимости информационных классов их объединяют.

4. Проведение тематической классификации и постобработки. Тематическая классификация производится на основе базовых алгоритмов *ENVI*: метода параллелепипеда, максимального правдоподобия, спектрального угла и др.

В результате данной процедуры формируется растровое тематическое изображение, однако для дальнейшего его использования выполняется генерализация классифицированных объектов – удаление мелких групп пикселей. Это позволяет не только снизить объем, занимаемый выходной информацией, но и значительно упростить последующий анализ полученных данных.

Заключительный этап обработки классифицированных изображений – формирование векторных слоев по выделенным тематическим классам, для чего используется соответствующая функция разработанного программного обеспечения.

Дальнейшее использование полученных таким образом векторных моделей осуществляется на основе геоинформационных систем, где определяются площади и другие характеристики классифицированных объектов, осуществляется геоинформационный анализ данных, подготавливаются планово-картографические материалы.

Заключение. В результате проведенных исследований разработана технология, алгоритм и программное обеспечение автоматизированного тематического дешифрирования земель лесного фонда по материалам космической съемки высокого разрешения. Тематическая классификация выполняется на основе спектральных яркостей объектов с применением эталонных участков.

Основные функциональные возможности разработанного программного обеспечения включают:

- статистическую оценку спектральных яркостей эталонных участков;
- расчет коэффициентов разделимости тематических классов;
- коррекцию массива эталонных участков для улучшения разделимости тематических классов;
- проведение тематической классификации;

– осуществление генерализации и векторизации классифицированных объектов.

Экспериментальная проверка технологии и программного обеспечения выполнена на примере территории ГЛХУ «Дисненский лесхоз» с использованием материалов космической съемки систем *Alos*, *Landsat MSS*, *Landsat 7 ETM⁺*.

Литература

1. Лурье, И. К. Теория и практика цифровой обработки изображений / И. К. Лурье, А. Г. Косиков // Дистанционное зондирование и географические информационные системы; под ред. А. М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.

2. Кравцов, С. Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ

методов) / С. Л. Кравцов. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – 256 с.

3. Чандра, А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош; пер. с англ. А. В. Кирюшина. – М.: Техносфера, 2008. – 307 с.

4. Капралов, Е. Г. Геоинформатика: учебник / Е. Г. Капралов [и др.]; под ред. В. С. Тикунова. – 2-е изд. – М.: Академия, 2008. – 384 с.

5. Пушкин, А. А. Система оценки динамики основных видов земель лесного фонда на основе тематического дешифрирования разновременных данных космической съемки / А. А. Пушкин // Устойчивое управление лесами и рациональное лесопользование: материалы междунар. науч.-практ. конференции, Минск, 2009 г.: в 2 т. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 537–540.

Поступила 15.02.2011