На правах рукописи

БОРИСОВА МАРИЯ ВЯЧЕСЛАВОВНА

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ n – МЕРНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ

Специальность 25.00.34

Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискания ученой степени

кандидата технических наук

Москва - 2010

Работа выполнена на кафедре физики факультета оптико-информационных систем и технологий
Московского государственного университета геодезии и картографии

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, профессор Феофилактова Т.В.

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор Зверев А. Т.
кандидат технических наук Ершов Д.В.

Ведущая организация: ФГУП «Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» (ФГУП «Госцентр «Природа»)

Защита состоится « 9 » декабря 2010 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.143.01 при Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва К-64, Гороховский пер., д. 4, МИИГАиК, зал заседания Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК.

Автореферат разослан «___»_____2010г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Краснопевцев Б.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность проблемы:

В настоящее время широкое развитие получили космические системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). За всем происходящим на ее поверхности ежесекундно наблюдают сотни спутниковых систем с различного рода разрешением и спектральным диапазоном, каждая из которых решает определенные природно-ресурсные задачи. Обработка данных дистанционного зондирования достаточно трудоемкий процесс, он состоит из нескольких этапов предварительной, первичной и вторичной (тематической) обработки. Получение информации об объектах местности по материалам космических съемок для выполнения различного рода тематической обработки выполняется на этапе дешифрирования. Тематическое дешифрирование аэрокосмических изображений для задач мониторинга и картографирования традиционно опирается на визуально инструментальные и автоматизированные методы. Следует отметить, что процесс визуально инструментальной обработки весьма трудоемок и субъективен. При этом сроки выполнения и качество полученной информации определяются главным образом общей эрудицией и квалификацией специалистов, уровнем развития у них профессионально необходимых психофизических качеств, а главное опытом. Поэтому вполне объяснимо стремление к максимальной автоматизации процесса обработки аэрокосмической информации.

В настоящее время существует большой опыт автоматизированной обработки и анализа цифровых изображений. Часть автоматизированных методов реализована и успешно применяется в процессе интерактивного дешифрирования аэрокосмической информации. Одной из главных задач ученых в данном направлении является поиск таких прямых и косвенных дешифровочных признаков, при которых результат автоматизированного дешифрирования будет наиболее устойчив к изменениям условий аэрокосмической съемки исследуемых объектов на земной поверхности.

Классификация многозональных космических изображений с использованием большинства современных программных средств (Erdas Imagine, ENVI, EDRISIW, Er Mapper и т.д.), ведется по спектральным коэффициентам яркости (СКЯ), но спектральные характеристики природных образований не всегда позволяют однозначно разделить два объекта между собой. Это связано с сильной корреляцией спектральных характеристик

различных классов объектов в одних и тех же диапазонах спектра, что приводит к ошибочному распознаванию классифицируемых объектов. Кроме того, СКЯ и их линейные производные очень чувствительны к условиям космосъемки (геометрические условия освещения и визирования объектов, угол поля зрения прибора, атмосферно-оптические явления (дымка, облачность и т.д.)). Все это и многое другое оказывает существенное влияние на результат тематического дешифрирования.

Актуальность диссертационной работы, таким образом, обусловлена:

– Необходимостью повышения достоверности результатов классификации объектов и ускорения процесса тематического дешифрирования цифровых изображений земной поверхности;

– Необходимостью разработки соответствующих автоматизированных технологий тематической обработки космических изображений.

Цель исследования: разработка методики и технологии автоматизированной тематической обработки многозональных космических изображений земной поверхности на основе системы n-мерных спектральных признаков.

Задачи исследования:

1. Провести исследования дешифровочных свойств исходных многозональных изображений и их производных цифровых изображений, полученных с помощью системы n-мерных спектральных признаков;

2. Разработать алгоритмы тематической классификации отображений космических изображений в n-мерном пространстве спектральных признаков для реализации процесса автоматизированного дешифрирования космических изображений;

3. Разработать с использованием стандартных средств программного комплекса ERDAS Imagine 9.2 технологию тематического дешифрирования, реализующую предложенные алгоритмы классификации космических изображений;

4. Провести сравнительный анализ результатов работы предлагаемой методики автоматизированного тематического дешифрирования объектов с уже существующими стандартными методиками;

5. Исследовать возможность использования разработанной методики автоматизированного тематического дешифрирования объектов для обработки аэрокосмических изображений, получаемых с различных космических съемочных систем.

Объект исследования: автоматизированное тематическое дешифрирование многозональных космических изображений земной поверхности.

Предмет исследования: система n-мерных спектральных дешифровочных признаков, используемая для автоматизированной классификации многозональных космических изображений земной поверхности.

Методология исследования

Проведенные в диссертационной работе теоретические исследования основаны на методах теории вероятностей и математической статистики, вычислительной математики, теории обработки цифровых изображений, методах цифрового моделирования, компьютерной графики и ГИС-технологий. При решении поставленных задач использовались данные о спектральных характеристиках природных образований, получивших широкое развитие в трудах Е.Л. Кринова, Л.И. Чапурского и т.д.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработаны новые алгоритмы и программы численных оценок n – мерных спектральных признаков природных и антропогенных объектов по материалам многозональной космической съемки.

2. Разработана методика тематического дешифрирования многозональных космических изображений, основанная на системе n-мерных спектральных признаков.

3. Разработана автоматизированная технология классификации многозональных космических изображений, реализующая предложенную методику тематической обработки цифровых изображений.

Достоверность результатов подтверждается:

1. Корректным применением математических методов и вычислительных средств теории вероятностей и математической статистики, вычислительной математики.

2. Научно-методическим обоснованием выбора характеристик спектральных свойств природных и антропогенных объектов.

Научные результаты выносимые на защиту:

1. Новые алгоритмы и программы численных оценок спектральных признаков природных и антропогенных объектов по материалам многозональной космической съемки.

2. Методика автоматизированного дешифрирования космических изображений земной поверхности с использованием системы n - мерных спектральных признаков.

3. Технология автоматизированного дешифрирования космических изображений земной поверхности, реализующая предложенную методику.

4. Результаты тестирования разработанных алгоритмов и программ, а также их сравнительная характеристика с расчетами в аналитических и численных моделях, полученными другими авторами.

Практическая значимость работы:

Предложенная методика автоматизированного тематического дешифрирования космических изображений земной поверхности с использованием системы n-мерных спектральных признаков может быть использован для задач прикладного картографирования. А именно, для создания экспресс карт, в сжатые сроки, по материалам космических съемок.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности:

Данная работа посвящена исследованиям n – мерных спектральных признаков различных классов объектов и их дешифровочных способностей, и разработке на их основе нового метода тематического дешифрирования многозональных космических изображений. Иными словами, работа посвящена разработке теоретических и практических принципов дешифрирования изображений с целью исследования природных ресурсов и картографирования объектов исследований, что является одной из областей исследования специальности 25.00.34 Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия, в рамках которой и предлагается к защите данная работа.

Апробация и реализация результатов исследования:

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 58,59,60,61,63,64 и 65 научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых, проводившихся в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) в период с 2004-2010 г. Результаты выполненных исследований использовались при выполнении научно-исследовательских работ по теме «Географические исследования северных территорий России по материалам космических съемок» в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (шифр 2009-1.1-154-069).

Публикации:

По результатам проведенных исследований и разработок, выполненных в процессе работы, опубликовано 3 научные работы.

Структура диссертации:

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы, который насчитывает 101 наименование. Объём работы 162 страницы текста, 15 таблиц, 52 иллюстрации и приложения на 23 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

Первая глава «Современное состояние тематического дешифрирования космических изображений» посвящена обзору современного состояния тематического дешифрирования космических изображений. В настоящее время очень трудно представить жизнь человека без использования технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). За последние несколько лет, они прочно вошли в нашу жизнь и нашли свое применение в различных сферах деятельности человека. Однако, наиболее актуальным направлением использования пространственной информации является мониторинг геопространственных данных (картографирование территорий). В данном процессе наиболее важную роль играют дешифровочные свойства космических снимков и точность извлечения требуемой информации. Для повышения достоверности результатов дешифрирования объектов по космическим изображениям все чаще используют данные многозональных (гиперспектральных) сенсоров. Съемка в узких диапазонах электромагнитного спектра дает возможность выявить недоступные глазу обработчика особенности поведения объектов при анализе привычных для визуального восприятия изображений в видимой части спектра. Глава содержит обзор основных современных космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), их описание и классификацию.

Кроме того, в данном разделе, приводятся основные понятия теории распознавания образов, принципы построения систем тематического дешифрирования.

Отдельное внимание уделяется предварительной обработке изображений, как этапу предшествующему непосредственно самому дешифрированию, с целью улучшения изобразительных свойств снимка. Так же приводится краткое описание существующих в настоящее время и активно используемых в современных системах обработки данных дистанционного зондирования Земли, алгоритмов классификации изображений.

Если раньше тематическое дешифрирование выполнялось в основном с использованием визуально инструментальных методов, получивших широкое развитие в трудах таких ученых как В.И.Аковецкий, А.Т.Зверев, С.А.Сладкопевцев и др. То на фоне активного развития систем обработки данных дистанционного зондирования тематическое дешифрирование, помимо визуально-инструментальных методов, стало использовать, так же автоматизированные методы. Существует большое количество современных пакетов по обработке данных ДЗЗ, с помощью которых можно выполнять процедуру классификации объектов представленных на космическом изображении в интерактивном режиме, с непосредственным участием обработчика. Так называемая классификация с обучением. Либо же выполнять кластеризацию изображения на основе известных статистических методов и алгоритмов, таких как, например IZODATA. Но идентификацию, полученных в результате кластеризации, классов объектов будет выполнять специалист (интерпретатор). Таким образом, полностью автоматизировать процесс тематического дешифрирования пока не удалось, потому, как даже самые современные компьютерные системы вряд ли смогут полностью смоделировать возможности человечного глаза и его аналитического аппарата.

Одним из наиболее популярных и широко используемых программных пакетов для обработки данных ДЗЗ является ERDAS Imagine. Благодаря своим широким функциональным возможностям он позволяет максимально автоматизировать работу по обработке данных при отсутствии навыков программирования у обработчика.

В виду не вполне удовлетворительной достоверности результатов классификации объектов на космических изображениях на основе СКЯ природных и антропогенных образований, возникает необходимость поиска новых, более устойчивых и информативных параметров для процесса классификации и разработки методики дешифрирования космических изображений на их основе. На что и направлена данная диссертационная работа.

Вторая глава «Спектральные характеристики природных и антропогенных образований» посвящена изучению дешифровочных возможностей СКЯ природных и антропогенных образований. Раздел содержит подробное описание основных параметров, характеризующих отражательные свойства элементов ландшафта. Наиболее распространенными из них являются: яркость, коэффициент яркости, альбедо и коэффициент отражения.

Наиболее широкое развитие спектрально – отражательный методы в изучении различного рода объектов получили в трудах Г.И. Покровского, Н.А. Архангельской, В.Л. Андроникова, Е.Л.Кринова, Д.С.Орлова, Б.В.Виноградова, Н.А. Михайлова, П.П. Федченко, К.Я. Кондратьева и М.Е. Баумгарднера.

На основе различия в СКЯ объектов разработаны различного рода системы деления природных и антропогенных объектов на классы. Что так же отражено в данной главе и представлено в виде подробного словесного и графического (раздел содержит большое количество графиков спектральных кривых всех описанных классов объектов) описания каждого класса объектов.

Наиболее известная и используемая в работе классификация природных и антропогенных образований – спектрофотометрическая классификация Е.Л. Кринова приведена на *Рис.1*.

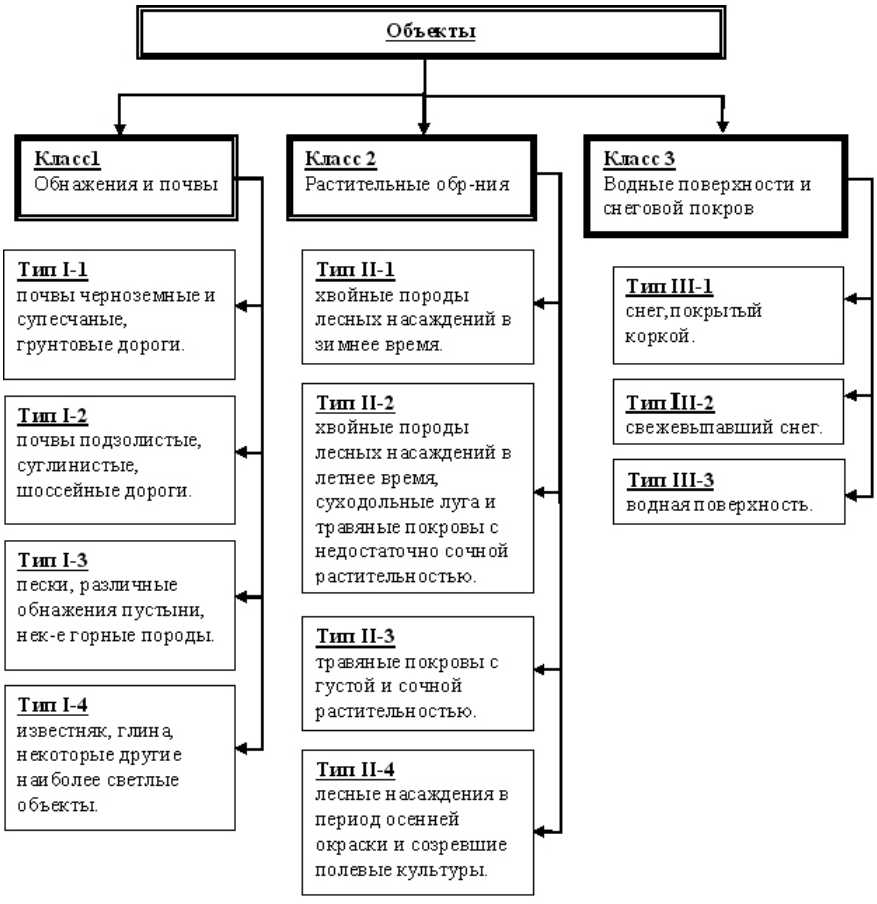


Рис.1. Классификация природных и антропогенных объектов Е.Л. Кринова

В основе большинства современных методов классификации изображения, лежат СКЯ объектов и их производные. За последние несколько десятилетий изучения спектрометрических характеристик объектов созданы целые библиотеки значений СКЯ и спектральных кривых различных природных и антропогенных образований. Исследования

показали, что спектральные характеристики объектов и их производные зависят от большого количества внешних факторов (геометрические условия освещения и природные факторы), что делает результат дешифрирования, с их использованием, зависимым от условий комосъемки. Кроме того, СКЯ различных классов объектов в различных спектральных диапазонах очень близки друг к другу, а иногда и вовсе совпадают. Поэтому дифференцировать исследуемые типы подстилающих поверхностей только лишь по СКЯ не всегда удается с достаточной степенью достоверности.

Неоднократно предпринимались попытки поиска различного рода альтернативных параметров для проведения процессов классификации, с целью повышения достоверности проводимых процедур классификации. К, подобного рода, параметрам относят линейные комбинации зональных значений СКЯ, вегетационный индекс и т.д. Все эти и многие другие параметры получили широкое развитие в трудах Д.В. Ершова, С.С Барталева, В.М. Жирина, Г.Н. Коровина, Н.А. Коршунова и д.р.

Особое внимание в данной главе уделяется описанию системы n-мерных спектральных признаков, разработанной В.А. Малинниковым. В основе данного способа описания спектрально-отражательных характеристик природных и антропогенных объектов (ПАО) лежит представление об уникальности спектров отражения природных и антропогенных объектов.

В пространстве (R, λ), где R спектральная яркость объекта, а λ - длина волны зондирующего излучения, каждому природному или антропогенному объекту можно сопоставить некоторый геометрический образ, многоугольник, число сторон которого определяется количеством спектральных каналов съемки. Например, в случае обработки изображений, полученных с помощью КА SPOT - 5 (одновременно съемка осуществляется в четырех спектральных каналах), каждому объекту будет соответствовать геометрический образ в виде четырехугольника, отличающегося от других площадью, периметром, ориентацией и другими характеристиками. При обработке многозональных изображений, полученных с помощью сканера ETM+ (ИСЗ Landsat-7) в семи спектральных каналах, каждому объекту будет соответствовать геометрический образ в виде многоугольника с количеством сторон равным семи и т.д. Таким образом, можно сколько угодно расширять признаковое пространство, используя все имеющиеся каналы многозонального изображения, а не ограничиваться только двумя каналами, как при работе с вегетационным индексом.

Система n-мерных спектральных признаков, рассчитываемых в пространстве $\{R, \lambda\}$, представляет собой следующий набор параметров: (1)

$$P_1 = \frac{R_w \cdot R_o}{S},\ P_2 = \frac{R_w}{R_0},\ P_3 = \sqrt{(\frac{J_R}{S})^2 + (\frac{J_\lambda}{S})^2},\ P_4 = \frac{L^2}{S},\ P_5 = \frac{R_w}{L};\ P_6 = \frac{R_o}{L},\ P_7 = \frac{J_R}{J_\lambda},\ P_8 = \frac{J_R}{\sqrt{J_R^2 + J_\lambda^2}},\ P_9 = \frac{J_\lambda}{\sqrt{J_R^2 + J_\lambda^2}},\ P_{10} = \sqrt{\frac{(R_w + R_o)L}{2S}},$$

$$S = \sum_{i=1}^{n} \frac{[(R_i + R_{i+1})(\lambda_i - \lambda_{i+1})]}{2},\ P = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{[(R_i - R_{i+1})^2 + (R_i - R_{i+1})^2]},\ J_\lambda = \sum_{i=1}^{n} [\frac{(\lambda_i - \lambda_{i+1}) \cdot (R_i^2 + R_i R_{i+1} + R_{i+1}^2)}{6}],\ J_R = \sum_{i=1}^{n} [\frac{(R_i - R_{i+1})(\lambda_i^2 + \lambda_i \lambda_{i+1} + \lambda_{i+1}^2)}{6}]$$

где R_w, R_o, - радиусы вписанной и описанной окружности (или меньшая и большая стороны минимального по площади многоугольника) вокруг спектрального многоугольника, характеризующего геометрический образ ПАО в пространстве (R, λ), S,L - площадь и периметр спектрального многоугольника, J_λ, J_R, - статистические моменты инерции многоугольника в исходной системе координат, n - число вершин спектрального многоугольника, равное числу спектральных каналов съемки, R - нормированный СКЯ исследуемого объекта.

Проведенные исследования показали, что использование данной системы возможно при выполнении следующих условий космической съемки объектов: высота Солнца в диапазоне 0 -50°, угол визирования в пределах 0 - 40°.Таким образом, рассматриваемая система спектральных признаков природных образований, более устойчива к воздействию различного рода внешних факторов и пригодна для классификации природных и антропогенных образований по их космическим изображениям.

Третья глава «Разработка методики автоматизированного дешифрирования космических изображений земной поверхности с использованием системы n-мерных спектральных признаков» посвящена разработке методики автоматизированного тематического дешифрирования космических изображений земной поверхности с использованием системы n- мерных спектральных признаков.

На начальном этапе исследования был проведен анализ дешифровочной способности серии изображений полученных на основе системы n-мерных спектральных признаков по исходному многозональному изображению и схожести их поведения при одинаковых условиях съемки. В обработке использовалось более ста многозональных изображений с КА Landsat -7 (ETM+). Целью данного эксперимента является исследование поведения следующих групп объектов:1-*гидрография*, 2-*антропогенные объекты (городская застройка/дороги)*, 3-*почвы*, 4-*растительность высокорослая (хвойный и лиственный лес)*,5- *растительность низкорослая (луговая).*

Для каждого типа объектов путем визуально инструментального дешифрирования, с использованием априорной информации о районе интереса, были набраны массивы значений СКЯ в шести спектральных диапазонах 500,550,650,800,1600 и 2250 нм. В результате чего, были получены таблицы для каждого типа объектов содержащие значения СКЯ и значения n-мерных спектральных признаков, рассчитанных для них.

Как было сказано ранее, используемая система n-мерных спектральных признаков не накладывает ограничений на количество каналов многозонального изображения используемого для обработки. Поэтому, в рамках исследования использовались три отличных друг от друга набора каналов съемки: L_1 - 500 нм, 550 нм, 650 нм, 800 нм, 1600 нм, 2250 нм; L_2 - 500 нм, 550 нм, 650 нм, 800 нм; L_3 - 650 нм ,800 нм, 1600 нм, 2250 нм.

Для разделения объектов между собой чаще всего используют перемену знака одного из параметров, по которому ведется классификация объектов, кроме того, используется различие параметров по абсолютной величине. На начальном этапе исследования был выполнен анализ знакопостоянства полученных производных изображений на основе системы n-мерных спектральных признаков для каждого из выделяемых классов объектов.

Обобщением результатов проделанной работы стала таблица знакопостоянства, с которой более подробно можно ознакомиться в диссертационной работе.

Различие в значениях признака, а точнее в его знаке одного и того же признака для разных типов объектов дает возможность отделить один класс объектов от другого и тем самым выполнить дешифрирование всего изображения целиком.

На основе полученных экспериментальных данных был разработан алгоритм выделения объектов, который положен в основу методики распознавания природных и антропогенных объектов приведенной на *Рис.2*. Алгоритм состоит из пяти этапов.

Этап 1. Данный этап предполагает ввод исходных данных, их последующую нормировку и формирование трех наборов многозональных изображений с различной комбинацией спектральных каналов (L_1, L_2 и L_3).

Этап 2. На основе полученных, на предыдущем этапе, данных выполняется построение ряда вспомогательных изображений, которые будут участвовать в создании изображений на основе системы n-мерных спектральных признаков.

А именно: (2)

$$S=\sum_{i=1}^{n}\frac{[(R_i+R_{i+1})(\lambda_i-\lambda_{i+1})]}{2},\quad P=\sum_{i=1}^{n}\sqrt{[(R_i-R_{i+1})^2+(R_i-R_{i+1})^2]},\quad J_\lambda=\sum_{i=1}^{n}[\frac{(\lambda_i-\lambda_{i+1})\cdot(R_i^{\,2}+R_iR_{i+1}+R_{i+1}^2)}{6}],\quad J_R=\sum_{i=1}^{n}[\frac{(R_i-R_{i+1})(\lambda_i^2+\lambda_i\lambda_{i+1}+\lambda_{i+1}^2)}{6}]$$

где S – площадь спектрального многоугольника; L – периметр спектрального многоугольника; J_λ, J_R – статистический момент инерции многоугольника, относительно осей λ и R соответственно; n – число вершин спектрального многоугольника; R – нормированный СКЯ.

Этап 3. На данном этапе выполняется построение десяти производных изображений на основе системы n-мерных спектральных признаков для каждого из трех исходных отнормированных изображений полученных на первом этапе. Формулы расчета, которых приведены ниже. (3)

$$P_1=\frac{R_w\cdot R_o}{S},\ P_2=\frac{R_w}{R_0},\ P_3=\sqrt{(\frac{J_R}{S})^2+(\frac{J_\lambda}{S})^2},\ P_4=\frac{L^2}{S},\ P_5=\frac{R_w}{L};\ P_6=\frac{R_o}{L},\ P_7=\frac{J_R}{J_\lambda},\ P_8=\frac{J_R}{\sqrt{J_R^2+J_\lambda^2}},\ P_9=\frac{J_\lambda}{\sqrt{J_R^2+J_\lambda^2}},\ P_{10}=\sqrt{\frac{(R_w+R_o)L}{2S}},$$

где R_w, R_0 - радиус вписанной и описанной окружности (или меньшая и большая сторона минимального по площади многоугольника) соответственно.

Этап 4. После выполнения всех предварительных этапов и построения всех дополнительных изображений реализуется расчет масок объектов. В предлагаемом алгоритме, реализованы процедуры выделения следующих классов объектов:

Класс 1 – гидрография

Класс 2 – антропогенные объекты и почвы (**класс 2.1** – почвы, **класс 2.2** – антропогенные объекты).

Класс 3 – растительный покров (**класс 3.1** – низкорослая растительность (луг), **класс 3.2** – высокорослая растительность (хвойный и лиственный лес)).

По причине сильной корреляции спектральных характеристик объектов входящих во второй и третий классы объектов, было принято решение проводить выделение трех классов объектов на первом этапе. А за тем уже делить каждый из них на более мелкие подклассы.

- **Гидрография (obj_1)**

$$obj_1 = Step(P_1(4к_2)) - Step(P_8(4к_1)),\quad (4)$$

где $Step-$ функция перевода изображения в тематическое (присвоение всем отрицательным значениям на изображении 0, а всем положительным 1); $P_1(4к_2)-$ признак P_1 для последних четырех каналов съемки – набор L_3; $P_8(4к_1)-$ признак P_8 для первых четырех каналов съемки L_2.

- **Антропогенные объекты и почвы (odj_2)**

$$obj_2 = B - obj_1 \quad (5)$$

$$B = Step(-NDVI(A)),\ \ A = Step(S(4\kappa_2)) \cdot img,$$

где img – исходное многозональное изображение с КА Landsat (ETM+); $S(4\kappa_2)$ – изображение площади, полученное на втором этапе работы алгоритма, для последних четырех каналов съемки – набор L_3; NDVI – нормализованный разностный вегетационный индекс.

- **Почвы (obj_2.1)**

$$obj_2.1 = MIN(B - obj_1) \quad (6)$$

$$B = Step(-NDVI(A)),\ \ A = Step(S(4\kappa_2)) \cdot img,$$

где MIN – минимизирующий фильтр (стандартное средство оконной обработки программного пакета ERDAS Imagine 9.2).

- **Антропогенные объекты (obj_2.2)**

$$obj_2.2 = B - obj_1 - obj_2.1 \quad (7)$$

$$B = Step(-NDVI(A)),\ \ A = Step(S(4\kappa_2)) \cdot img.$$

- **Растительность (obj_3)**
- **Низкорослая растительность (луговая растительность) (obj_3.1)**

$$obj_3.1 = STEP(254 - P_1(6k) \cdot P_4(6k)) - obj_1 - obj_2 - obj_3, \quad (8)$$

где $P_1(6\kappa)$ – признак P_1 для шести каналов съемки – набор L_1; $P_4(6\kappa)$ – признак P_4 для шести каналов съемки – набор L_1;

- **Высокорослая растительность (хвойный и лиственный лес) (obj_3.2).**

$$obj_3.2 = STEP(P_9(4\kappa_1) \cdot \mathrm{P_8(4k_2)}) - obj_4 - obj_3 - obj_2, \quad (9)$$

где $P_9(4\kappa_1)$ – признак P_9 для первых четырех каналов съемки – набор L_2; $P_8(4\kappa_2)$ – признак P_8 для последних четырех каналов съемки – набор L_3;

Для избежания появления ошибок первого и второго рода, в ходе классификации изображения, начиная с выделения класса объектов *obj_2,* выполняется вычитание ранее полученных объектов. Так в случае с выделением объектов почвенного покрова происходит вычитание полученных ранее объектов гидрографии. Потому как, считается, что объекты гидрографии выделены с большей степенью вероятности, нежели объекты, принадлежащие к классу почв. Аналогичным образом происходит устранение ошибок

первого и второго рода в оставшихся классах объектов.

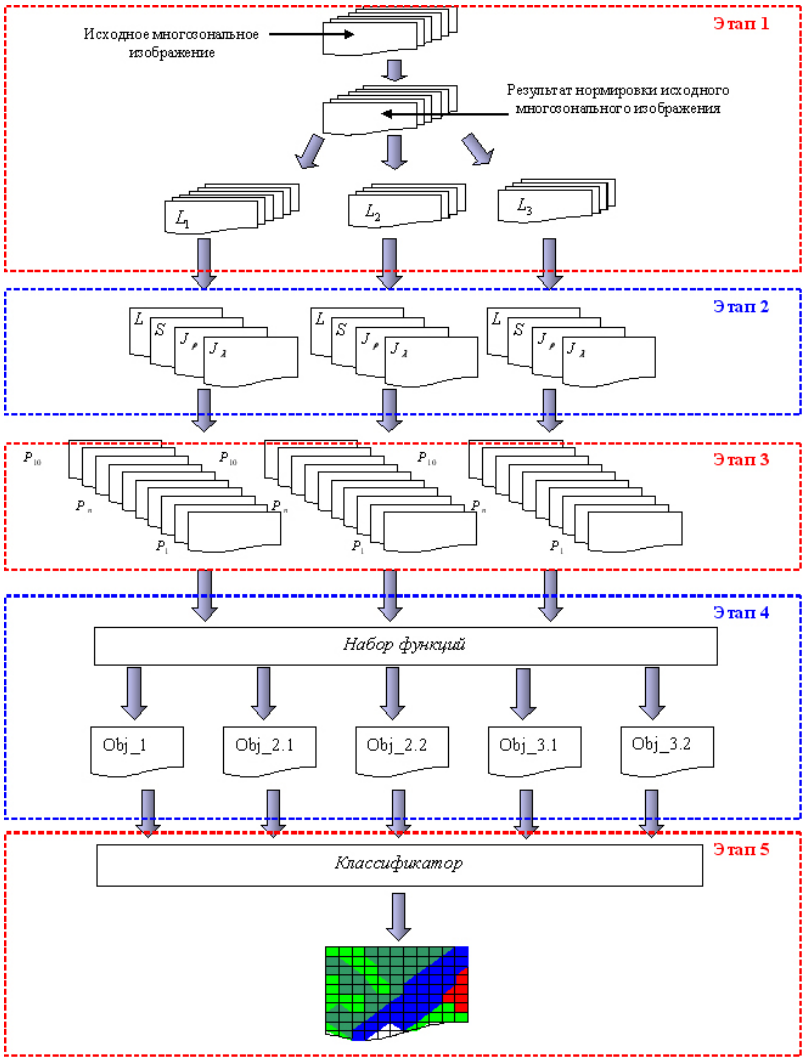


Рис.2. Общая схема методики распознавания природных и антропогенных объектов с использованием системы n-мерных спектральных признаков

Этап 5. Заключительный этап – это оформление результатов классификации, т.е. формирование единого растрового изображения. На данном этапе выполняется объединение полученных, на предыдущем этапе, масок объектов и присвоение им значений в соответствии с номером класса объектов: 0 – не классифицированные объекты; 1 – гидрография; 2 – антропогенные объекты; 3 – почва; 4 – низкорослая растительность (луговая растительность); 5 – высокорослая растительность (хвойный и лиственный лес).

Специально созданный файл - классификатор, содержащий информацию о цвете каждого из классов объектов *color.dat* позволяет открывать полученные изображения уже в соответствующей каждому объекту цветовой гамме.

Для оценки достоверности полученных результатов выполняется сравнение результатов предлагаемой методики с результатами визуально инструментального

дешифрирования, выполненного на основе априорной информации о районе интереса, с использованием коэффициента взаимного соответствия К(АВ), вычисляемого по формуле:

$$K(AB) = \frac{H(A) + H(B) - H(AB)}{H(AB)} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где Н(А),Н(В),Н(АВ)- количество точек на изображении отнесенных к выделяемому классу в результате схемы выделения объектов по диапазонам яркостей эталонного снимка, схемы визуально-инструментального дешифрирования и их совмещенного изображения.

На базе программного комплекса ERDAS 9.2 разработана технология реализации предлагаемой методики автоматизированного тематического дешифрирования космических изображений. Стандартными средствами модуля Modeler создан набор процедур (скриптов), результатом выполнения каждой из которых, является набор выходных данных по каждому из пяти этапов. На *Рис.3.* приведена блок схема процесса распознавания объектов.

Четвертая глава «Экспериментальные исследования и применение разработанной технологии» посвящена экспериментальным исследованиям и применениям разработанной технологии на основе ранее описанной методики автоматизированного тематического дешифрирования космических изображений земной поверхности с использованием системы n - мерных спектральных признаков.

С целью экономии времени, результаты исследования приведены на примере изображения с КА Landsat-7 (ETM+) на территорию *Пермского края.*

Согласно технологической схемы, состоящей из пяти этапов, приведенной на *Рис.3.* выполняется обработка данного космического изображения.

В интерактивном режиме пользователь задает исходное многозональное изображение (6 каналов), для которого выполняется расчет. После чего производится нормировка данного изображения на максимальное значение яркости, для изображения с радиометрическим разрешением 8 bit это значение равно 255. Затем, происходит формирование трех наборов многозональных изображений с различной комбинацией спектральных каналов (L_1, L_2 и L_3).

Более подробное описание комбинации каналов для каждого из наборов приведено выше.

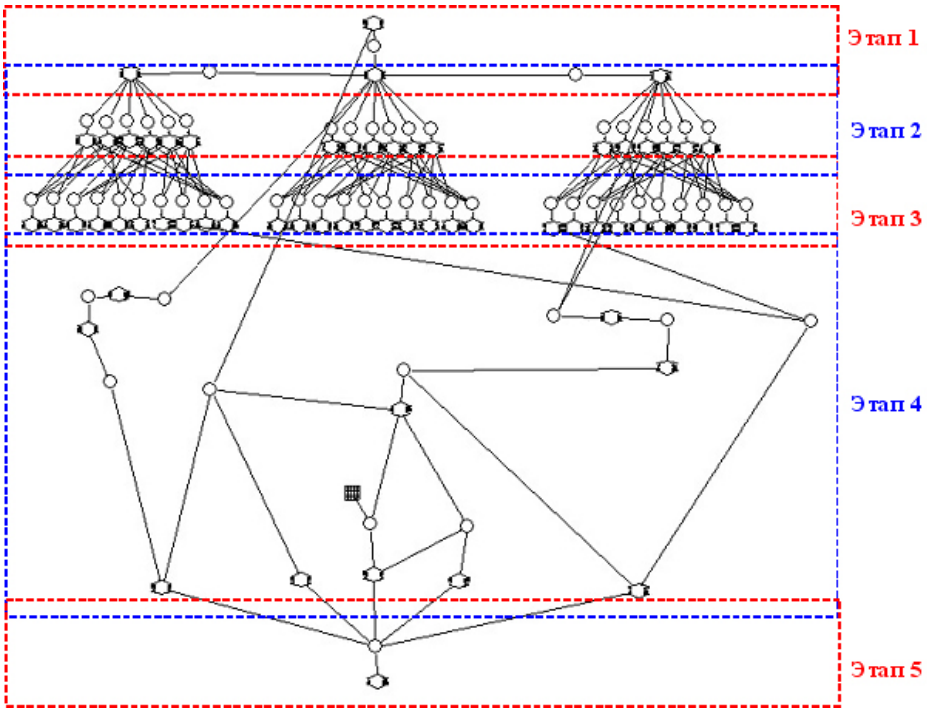


Рис.3. Технологическая схема процесса распознавания природных и антропогенных объектов с использованием системы n-мерных спектральных признаков реализованная в программном комплексе ERDAS Imagine 9.2

Далее обработка для каждого полученного изображения выполняется отдельно. Алгоритм одинаков для всех трех изображений.

Результатом работы на первом этапе являются три отнормированных изображения, приведенных на *Рис.4*.

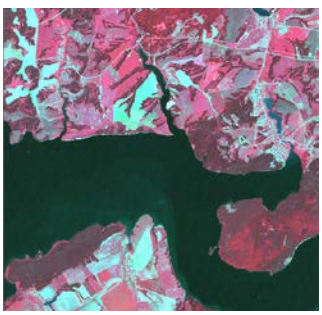
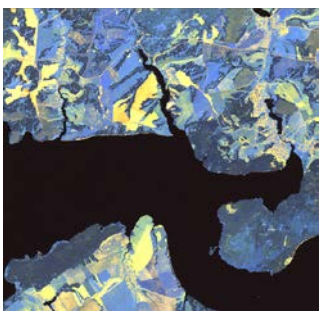
а  б в 

Рис.4. Группа отнормированных изображений полученных на первом этапе:

а - набор L_1; б - *набор* L_2; в - *набор* L_3

Рассмотрим реализацию второго этапа обработки на примере многозонального изображения с набором каналов L_1.

На данном этапе выполняется расчет следующих величин: R_w, R_o - радиусы вписанной и описанной окружности (или меньшая и большая стороны минимального по площади многоугольника) вокруг спектрального многоугольника; L, S - периметр и площадь

спектрального многоугольника; J_λ, J_R - статистические моменты инерции спектрального многоугольника относительно оси λ и R. Результат построения серии изображений приведен на *Рис.5.*

Используя полученные изображения, на следующем этапе, выполняется расчет производных изображений на основе системы n - мерных спектральных признаков для каждого из трех многозональных изображений.

Аналогичным образом выполняется расчет для остальных наборов L_2 и L_3.

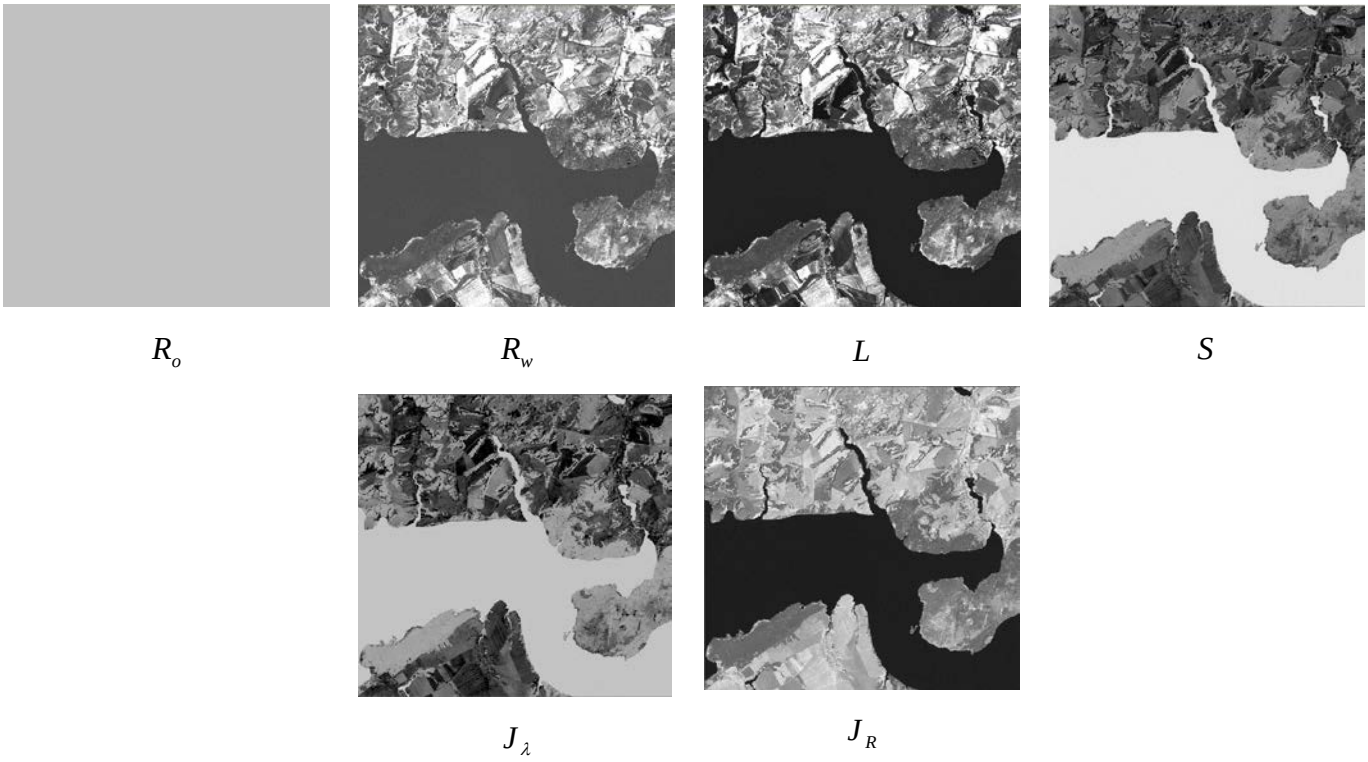


Рис.5. Группа изображений полученных на втором этапе для набора каналов L_1

Рассмотрим реализацию третьего этапа обработки на примере изображения с набором каналов L_1(*Рис.6.*). После того, как все предварительные этапы были выполнены, переходим к непосредственному выделению объектов, а именно к расчету масок объектов. Более подробно алгоритм расчета масок объектов приведен выше (см. главу 3), результат расчета приведен на *Рис.7.*

Заключительным этапом обработки данных, входящим в состав разработанной методики, является оценка достоверности полученных результатов. Принимая результаты визуально инструментального дешифрирования, с использованием априорной информации о районе интереса, за эталон, сопоставляем результаты работы двух алгоритмов и получаем некоторый коэффициент взаимного соответствия, характеризующий корреляцию изображаемых на снимках объектов.

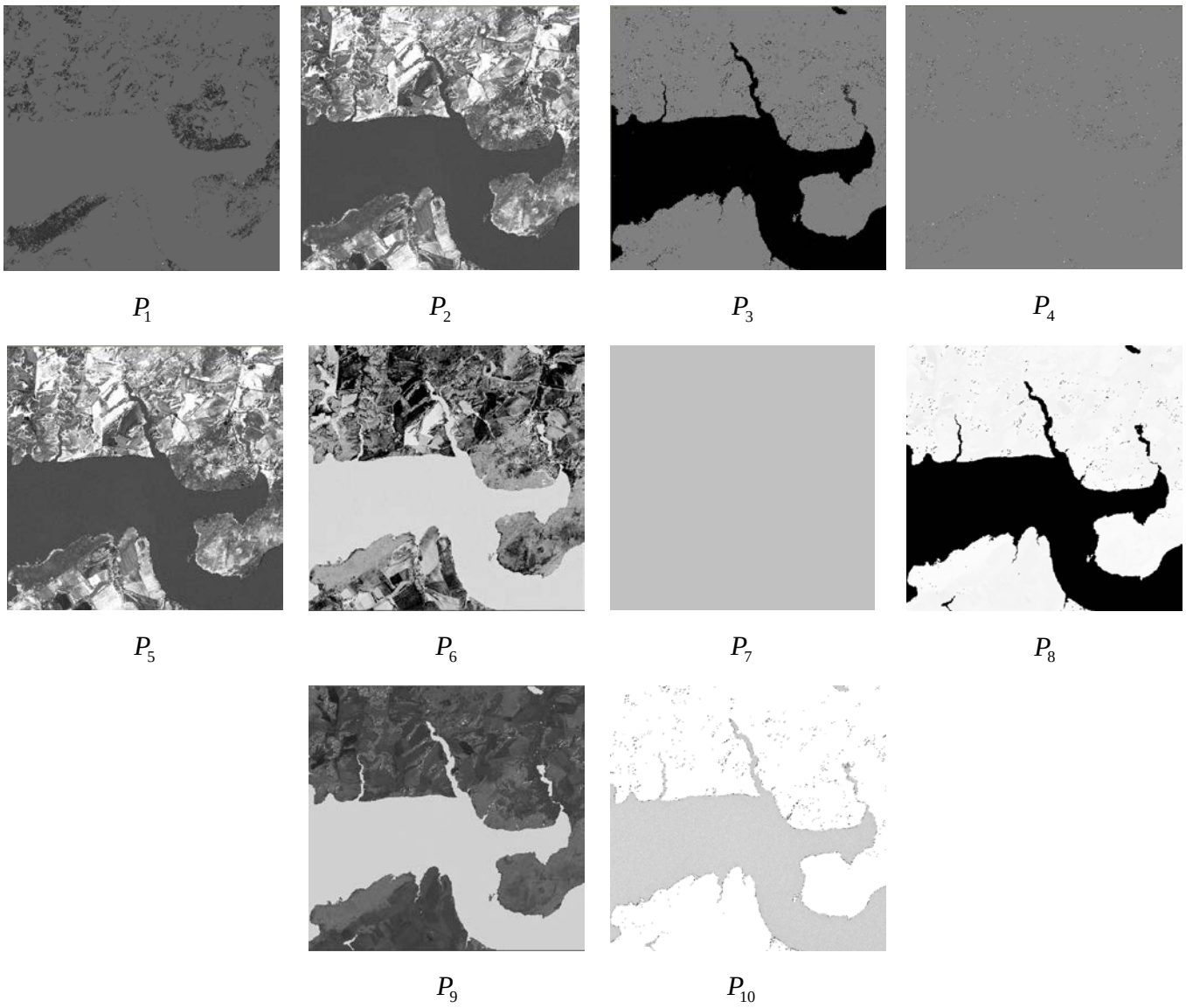


Рис.6. Группа изображений полученных на третьем этапе для набора каналов L_1

Необходимо отметить, что визуально инструментальное дешифрирование было выполнено стандартными средствами программного комплекса ERDAS Imagine 9.2 (Classification), по средствам классификации с обучением. На основе имеющейся априорной информации о территории интереса. А именно, на основе имеющихся топографических карт (масштаба 1: 100 000) района интереса (*Рис.8.*), материалов наземного обследования и результатов тематической обработки прошлых лет.

Оценка результатов выполненной классификации по трем и пяти классам приведена в таблице 1 и таблица 2.

В ходе проведения экспериментальных исследований на предмет достоверности полученных результатов возникла необходимость сравнительного анализа, результатов выделения объектов растительного покрова, средствами разработанной методики и уже

давно существующими и широко применяемыми методами. Одним из таких методов является расчет вегетационного индекса.

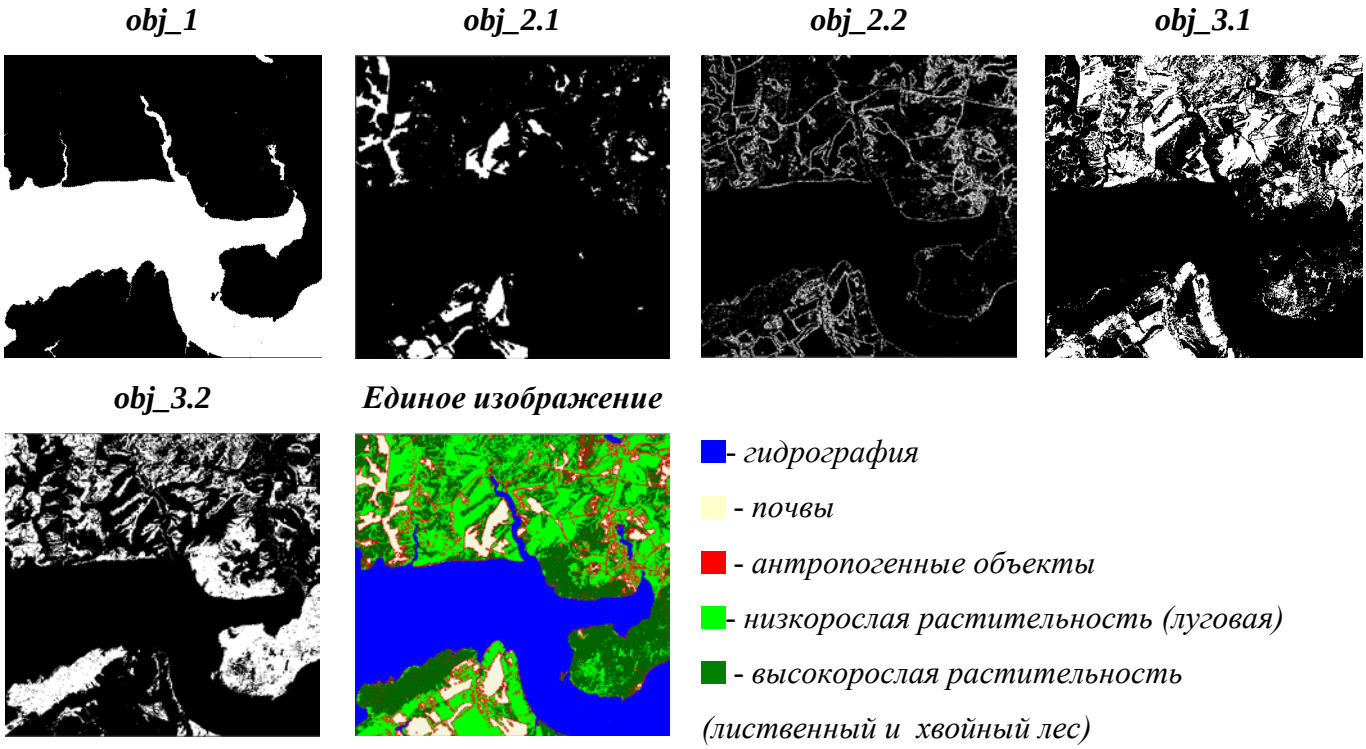


Рис.7. Результат выделения пяти классов объектов

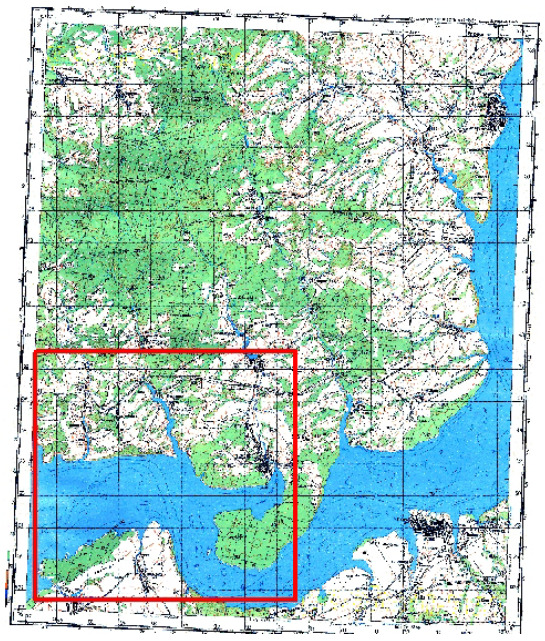


Рис.8. Топографическая карта масштаба 1:100 000 на территорию области интереса

Таблица 1.

Достоверность выделения трех классов объектов

Классы об.	Выделение,%
Гидрография	98
Антропогенные об-ты и почва	66
Растительность	88

Таблица 2.

Достоверность выделения пяти классов объектов

Классы об.	Выделение,%
Гидрография	98
Почва	40
Антропогенные об-ты	64
Низкорослая рас-ть	80
Высокорослая рас-ть	86

Для проведения сравнительного анализа, из всего многообразия разновидностей вегетационных индексов был выбран самый распространенный и широко используемый, нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI).

$$NDVI = \frac{\rho_{IR} - \rho_R}{\rho_{IR} + \rho_R} = \frac{RVI - 1}{RVI + 1} \qquad (11)$$

Известно, что использование вегетационного индекса накладывает ряд ограничений. Одним из таких ограничений является процентное соотношение растительности на изображении. Считается, что выделение растительности с использованием вегетационного индекса дает наиболее хорошие результаты, только в том случае, если величина растительного покрова на исследуемой территории составляет не менее 30%. Проведенные исследования показали, что те изображения процентное соотношение растительности на которых составляет больше 60%-70% по результатам применения предложенной методики дают результаты близкие к результатам обработки с применением вегетационного индекса. В то время, как при малом процентном соотношении растительности на изображении результаты выделения посредствам предлагаемой методики выше чем у вегетационного индекса. Результаты выделения объектов растительности обоими упомянутыми методами приведены на *Рис.9.*

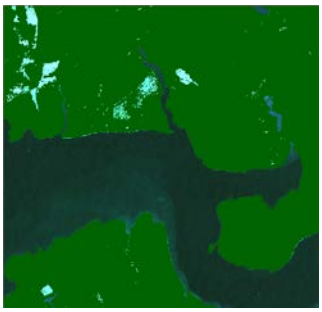
а *б*  *в*

Рис.9. Результат выделения объектов растительности (а- предлагаемым методом; б- расчет NDVI; в- выделения объектов растительности стандартными средствами ERDAS Imagine 9.2)

Результаты выделения объектов растительности по средствам реализации предлагаемого алгоритма и расчета нормализованного вегетационного индекса NDVI приведены в таблице 3.

Расчет достоверности выделения объектов растительного покрова обоими методами был выполнен уже упомянутым выше способом, с использованием формулы 10.

Таблица 3

Достоверность выделения объектов растительности

Класс объектов	***Выделение***	
	Предлагаемый алгоритм,%	***NDVI,%***
Растительность	*88*	*72*

Разработка методики автоматизированного дешифрирования космических изображений земной поверхности с использованием системы n-мерных спектральных признаков основывалась на использовании изображений с КА Landsat-7 (ETM+). Исследования показали, что данная методика пригодна для использования ее при обработке данных с других КА, таких как, например, ASTER. Для этого необходимо лишь уточнить пороговые значения алгоритма принятия решений, для каждого конкретного спутника в отдельности. Чаще всего, подобного рода, доработки необходимы из-за различного числа каналов КА и их спектральных диапазонов, а так же радиометрического разрешения каждого конкретного изображения. Результат применения разработанной методики, а именно, выделения высокорослой растительности (хвойный и лиственный лес), для изображений с разных КА приведен на *Рис.10.* В качестве области интереса выступает территория США штат Maryland, а - Landsat -7 (ETM+) – 18 июля 2002г, б-TERRA (ASTER) – 18 июля 2002г.

Данные с КА Landsat – 7 (ETM+) с пространственным разрешением 30 м – 60 м рекомендуют для обновления и создания топографических карт масштаба 1:200 000 и мельче. Результаты тематической обработки данных с КА Landsat – 7 (ETM+) предлагаемым алгоритмом автоматизированного дешифрирования космических изображений земной поверхности с применением системы n-мерных спектральных признаков могут быть использована для создания электронной экспресс карты (*Рис.11.*).

Анализируя изображения с различных КА можно выявить два типа подстилающих поверхностей: так называемые «чистые» классы объектов и объекты с вкраплениями.

К «чистым» классам объектов относят такие как, например: вода, ненарушенные лесные массивы и т.д. Что же касается объектов с вкраплениями, то это наиболее часто встречающийся тип объектов. К нему относятся такие объекты как, вода в сочетании с растительным покровом – болото или почва с незначительной растительностью на ее поверхности. Наличие подобного рода объектов на изображении существенно осложняет процесс идентификации объектов на изображении.

В случае «чистых» объектов разработанная методика дает максимальное значение достоверности выделяемых объектов. В противном же случае достоверность распознавания объектов уменьшается.

а

б

Рис.10.Пример тематической обработки данных

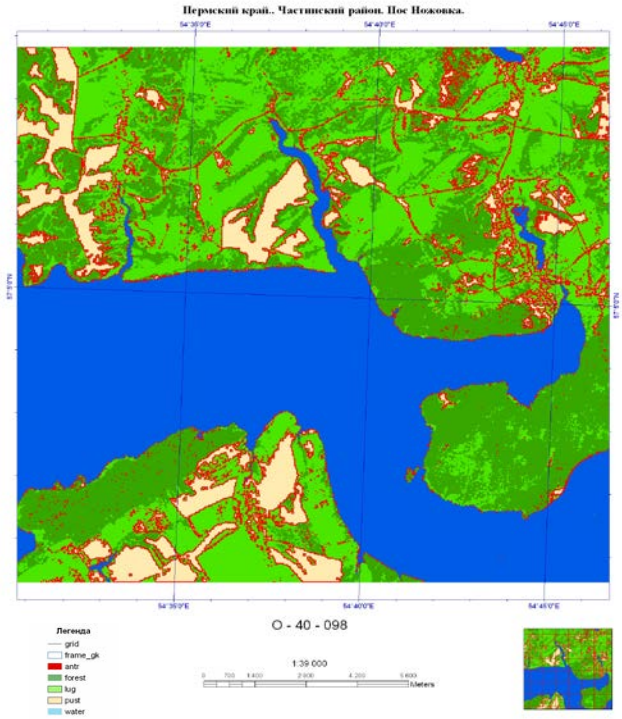


Рис.11. Пример оформления экспресс карты созданной на основе данных с КА Landsat – 7 (ETM+)

Для того чтобы добиться повышения достоверности выделения этих объектов необходимо несколько трансформировать процесс выделения объектов, разделив его на два этапа. На первом этапе проводится выделение объекта целиком, со всеми имеющимися вкрапления.

Далее, на втором этапе выполняется обработка только выделенного класса объектов, путем перехода к анализу многозональных КА с более высоким пространственным разрешением и повторению процедуры распознавания.

В заключении сформулированы выводы по результатам проделанной работы:

1 Разработана методика автоматизированного тематического дешифрирования космических изображений на основе систем n-мерных спектральных признаков.

2 Разработана и реализована технология автоматизированного тематического дешифрирования космических изображений на основе систем n-мерных спектральных признаков, с использованием стандартных средств программного комплекса ERDAS Imagine 9.2.

3 Предлагаемая методика автоматизированного тематического дешифрирования природных и антропогенных объектов на основе системы n-мерных спектральных признаков позволяет увеличить достоверность распознавания объектов: площадная гидрография - 90-95 %, «чистая растительности» - 75-80%, антропогенные и почвы – 60-63%.

4 Предлагаемый метод выделения объектов растительного покрова при малом процентном содержании этих объектов, относительно остальных содержащихся на изображении дает более высокие результаты по сравнению с алгоритмами, использующими вегетационный индекс.

5 Разработанная методика может быть использована для обработки данных с других КА, отличных от Landsat-7 (ETM+) при условии уточнения пороговых значений, алгоритма принятия решений.

6 В качестве практического применения разработанной технологии автоматизированного дешифрирования предлагается использовать ее для создания электронных экспресс карт на основе «свежих» космических снимков, для использования в навигационных целях и для принятия оперативных решений в критических ситуациях при полном или частичном отсутствии картографических материалов на территорию интереса.

СПИСОК РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ.

1. Феофилактова Т.В, Борисова М.В. Алгоритм выделения объектов гидрографии на основе изображений, полученных по нелинейным спектральным признакам. //Изв.вузов «Геодезия и аэрофотосъемка».- 2009. - №6 (перечень ВАК). – С. 91-96.

2. Феофилактова Т.В, Борисова М.В. Использование модуля Modeler программы ERDAS Imagine 9.2 для автоматизации процесса дешифрирования объектов на основе нелинейных спектральных признаков. // Изв.вузов «Геодезия и аэрофотосъемка».- 2010.- №6 (перечень ВАК). – С.

3. Феофилактова Т.В, Борисова М.В. Опыт тематической обработки многозональных изображений на основе нелинейных спектральных признаков.// Инновационные технологии в экологии: межвузовый сборник научных трудов студентов, аспирантов и молодых ученых московского региона. - 2008 – С. 21-27.