

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

АВИАЦИОННЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 528.83, 528.854, 528.856 На правах рукописи

РАХИМОВ ДАВРОН ДАМИНЖОНОВИЧ

**Современные программные продукты и методики обработки
цифровых снимков (на примере горных областей).**

5А310407 – Прикладные космические технологии

Диссертация

на соискание академической степени магистра наук

Научный

руководитель: директор

**ГП «ДЗЗ и ГИС-
технологий» канд. Г-м.**

наук. Нурходжаев А.К.

Ташкент-2014

Аннотация

Основные понятия и структуры ДЗЗ, характеристики предоставляемых данных, виды прикладных задач решаемых с применением материалов ДЗЗ, методы и алгоритмы обработки данных ДЗЗ, понятия по технологии обработки данных ДЗЗ, необходимые навыки для работы в системе ENVI 5.1 2014, ArcGIS 10.3, Geomatica 2013. Особенности ГИС технологий.

Annotation

Basic concepts and structure of remote sensing characteristics of the data provided, the types of applications solved with the use of remote sensing data, methods and algorithms for processing of remote sensing data, concepts for remote sensing data processing technology, the skills necessary to work in the system in 2014 ENVI 5.1, ArcGIS 10.3, Geomatica 2013. Features GIS technology.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. СТРУКТУРА И ВИД КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

1.1 Цифровой снимок и его структура

1.2 Методы дешифрирования цифровых космоснимков

1.3 Улучшения визуального восприятия космоснимков

ГЛАВА 2. ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ 30

2.1 Обзор основных программных продуктов для обработки данных ДДЗ и ГИС 30

2.2 Структуры и обзор функцией Envi..... 40

2.3 Свойства основных разделов ArcGis 50

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ В УСЛОВИЯХ ГОРНОГО ЛАНДШАФТА 57

3.1 Тематическая обработка существующими методами 57

3.2. Усовершенствованная методика обработки цифровых космоснимков 68

3.2.1. Анализ главных компонентов..... 68

3.2.2. Определения линеаментов 69

3.2.3. Вегетационный индекс 72

3.2.4. Измерение температура поверхности земли. 75

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 79

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 80

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

Данные космических съемок стали доступны широкому кругу пользователей и активно применяются не только в научных, но и производственных целях. ДЗЗ является одним из основных источников актуальных и оперативных данных для геоинформационных систем (ГИС).

С использованием современных технологий обработки цифровых космических снимков и применение современных ГИС-технологий в настоящее время является актуальным, так как современные технологии позволяют оперативно получать нужную информации и анализ результатов проводятся в цифровом виде. Актуальность работ обусловлена также Постановлением Президента Республики Узбекистан № ПП-1730 от 21 марта 2012 года «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий».

. Научно-технические достижения в области создания и развития космических систем, технологий получения, обработки и интерпретации данных многократно расширили круг задач, решаемых с помощью ДЗЗ. Основные области применения данных ДЗЗ из космоса - изучение состояния окружающей среды, землепользование, изучение растительных сообществ, оценка урожая сельскохозяйственных культур, оценка последствий стихийных бедствий, геологоразведочных работ и т. д. В этих условиях возникает проблема обеспечения рынка труда учебными пособиями а также высококвалифицированными специалистами, знакомыми со всеми этапами технологии обработки, интерпретации и применения данных ДЗЗ.

Цель работы.

Основная цель работы является апробация существующая методика обработки цифровых космоснимков и усовершенствования методики обработки в условиях горных областей с применением современных программных продуктов.

Задача исследования.

Апробация существующая методика обработки космоснимков, усовершенствования методики в условиях горных областей для автоматизированного дешифрирования космоснимков.

Методы исследования.

Исследования проводились с использованием существующих методов цифровой обработки космоснимков, а также усовершенствованный нами методов обработки, применяемых в горных территориях на основе современных программных продуктов.

Научная новизна

Усовершенствованная методика обработки космоснимков на базе современных программных продуктов является оптимальным в условиях горных областей для геологических, геоморфологических и др. исследований. Результаты, полученные по данной методике позволяют картировать различных геологических образований, линеаментов, растительности и др. природные объекты.

Практическая ценность.

Практическая ценность проведенных исследований заключается в следующем:

- Усовершенствованная методика обработки цифровых снимков позволяет усилить дешифровочные признаки на обработанном космоснимке,
- Использование новые космоснимки Landsat 8, полученные современными средствами зондирования для изучения горных территорий с использованием разработанными методики является оптимальным,
- Методическая часть диссертации можно использовать в виде методических пособий по обработке космоснимков в обучающем процессе.

Публикации.

По материалам исследований, проведенных в процессе работы над данной диссертацией, было осуществлена публикация научно

исследовательской статьи в журналах «O'zbekistondageologiyafanlari: muammolari, rivojlantirishivainnavatsiyonyo'nalishlari», «современные методы и технологии в решении гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических задач», «The soil resources of Uzbekistan: status, protection and the perspectives their irrational using»

Структура диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и список использованной литературы

Первая глава посвящена цифровым видам космических снимков, их структуры и формы представления. Приводятся методы дешифрирования цифровых космоснимков, пути усовершенствования интерпретации и улучшения визуального восприятия космоснимков.

Во второй главе приведены описание современных программных продуктов для обработки данных ДЗЗ. Раскрыты их преимущества при решении различных задач.

В третьей главе приведены результаты предварительной тематической обработке, а также усовершенствованная методика обработки цифровых космоснимков.

Выражаю огромную благодарность коллектив Государственного предприятия «Центр ДЗЗ и ГИС-технологий» за представленные космоснимки, за помощь и проведение опытных работ.

ГЛАВА 1. СТРУКТУРА И ВИД КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

1.1 Цифровой снимок и его структура

Традиционный фотоснимок — это представление объекта или сцены на пленке, которое получают с помощью фотокамер. При современном дистанционном зондировании используют сканирующие системы, которые работают в очень узком диапазоне электромагнитного спектра и регистрируют информацию об определенных свойствах объекта в цифровом виде.

Вместе с тем, следует отметить, что, несмотря на изначально цифровой характер данных ДЗ, они предоставляются пользователям как в цифровой, так и в аналоговой форме. В процессе сканирования сенсором генерируется электрический сигнал, интенсивность которого изменяется в зависимости от яркости участка земной поверхности.

При многозональной съемке различным спектральным диапазонам соответствуют отдельные независимые сигналы. Каждый такой сигнал непрерывно изменяется во времени, и для последующего анализа его необходимо преобразовать в набор числовых значений. Для преобразования непрерывного аналогового сигнала в цифровую форму его разделяют на части, соответствующие равным интервалам дискретизации (рис. 1.1). Сигнал в пределах каждого интервала описывается только средним значением его интенсивности, поэтому вся информация о вариациях сигнала на этом интервале теряется. Таким образом, величина интервала дискретизации является одним из параметров, от которого напрямую зависит разрешающая способность сенсора. Следует также отметить, что для цифровых данных обычно выбирают не абсолютную, а относительную шкалу яркостей, поэтому

эти данные не отражают истинных радиометрических значений, полученных для данной сцены.

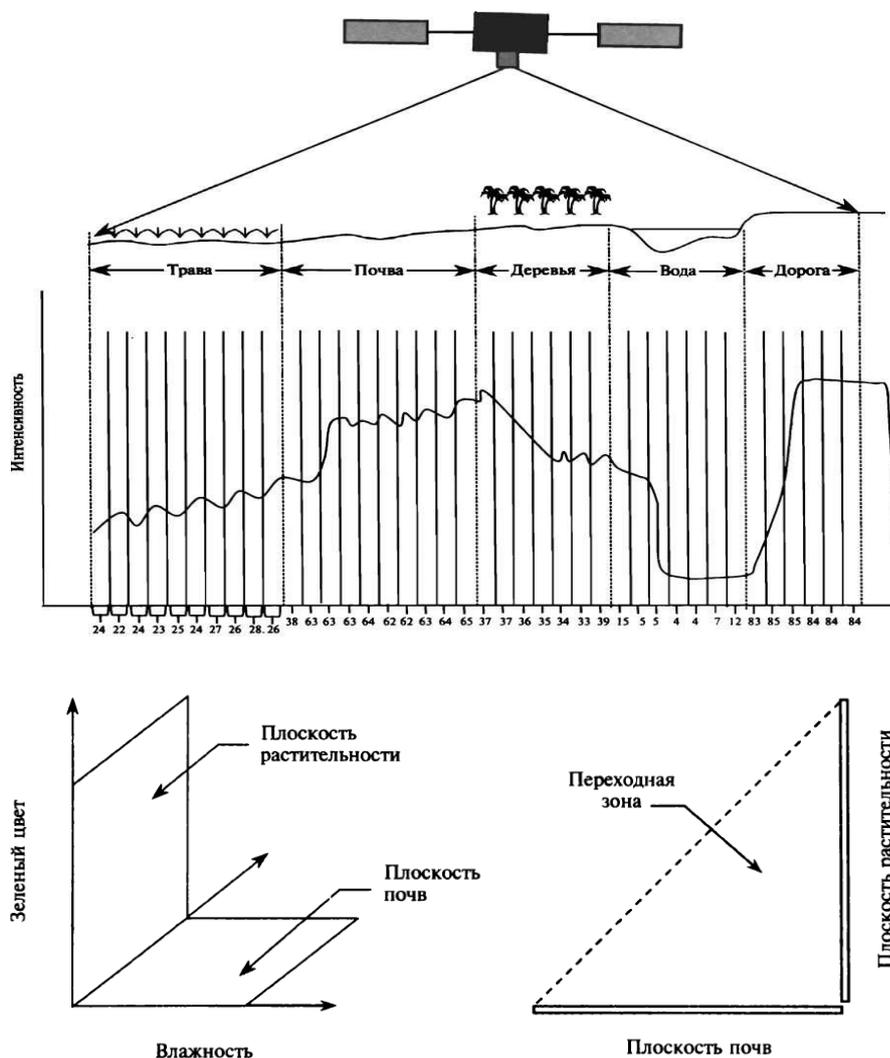


Рис 1.1 Схематическое представление преобразования исходных данных в значения пикселей

Еще одним параметром, от которого зависит разрешение снимка, является способ записи числовых значений. Для записи каждого числа используется ряд двоичных ячеек, которые называются битами. Рассмотрим в качестве примера семибитовую форму записи.

При преобразовании числа из двоичной системы в десятичную номер ячейки задает степень двойки, а двоичное число в каждой ячейке определяет, будет ли добавлена двойка в соответствующей степени к значению данного пикселя (1) или нет (0). Например, десятичную форму

записи числа 1111111 можно получить следующим образом: $2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 64 + 32 + 8 + 4 + 2 + 1 = 127$, а число 1001011 в десятичной системе запишется как $2^6 + 0^5 + 0^4 + 2^3 + 0^2 + 2^1 + 2^0 = 64 + 0 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1 = 75$.

Двоичная форма записи удобна для хранения данных на дисках и магнитных лентах, а также для последующего компьютерного анализа. Набор таких данных обычно называют значениями пикселей или *значениями яркости*. Следует отметить, что диапазон яркости на цифровом изображении зависит от количества бит, отведенного для записи чисел. Так, при шести битовой форме записи максимальное количество значений яркости равно 64, при семибитовой — 128, а при восьмибитовой — 256. При этом, яркость каждого пикселя в этих трех случаях может принимать значения от 0 до 63, от 0 до 127 и от 0 до 255 соответственно. Отсюда видно, что радиометрическое разрешение цифрового снимка определяется количеством бит, используемых для записи.

Формат записи данных должен быть удобен для их считывания и анализа. В дистанционном зондировании в основном применяют следующие три формата:

1. Формат BIP (Band Interleaved by Pixel).
2. Формат BIL (Band Interleaved by Line).
3. Формат BSQ (Band Sequential).

Формат BIP является одним из первых форматов хранения данных. Он основан на попиксельном способе записи информации, при котором пиксели с одинаковым номером, соответствующие разным каналам съемки, располагаются в записи подряд. Пример схемы записи в этом формате приведен на рис. (1.2), где L_n , P_n и B_n обозначают, соответственно, строку, пиксел и диапазон, а $n = 1, 2, 3$. В этом примере набор данных состоит из двух строк по два пикселя каждая для трех различных каналов

съемки. Последовательность записи данных в формате ВР показана на рис. (1.3).

Хотя в некоторых ситуациях этот формат оказывается полезным, для большинства практических задач, в которых объем данных, как правило, очень велик, формат ВР непригоден. Использование данного формата не позволяет быстро отсортировать данные, относящиеся к определенному спектральному диапазону, для которого формируется изображение.

В формате ВП за единицу хранения данных принята строка. Подряд в записи располагаются строки, соответствующие разным каналам съемки, но имеющие один и тот же номер. Типичный пример размещения данных в формате ВП показан на рис. (1.4).

Третьим форматом, который используется для записи данных дистанционного зондирования, является формат ВSQ. В этом формате сначала записываются все данные для первого канала, затем для второго, третьего

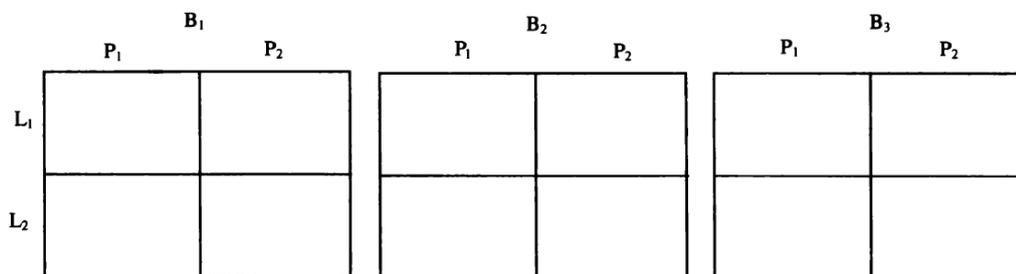


Рис. 1.2. Пример схемы записи данных

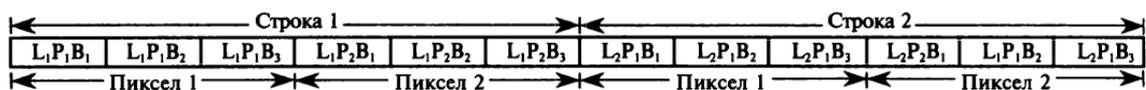


Рис. 1.3. Формат ВР (L — строка, P — пиксел, B — канал)

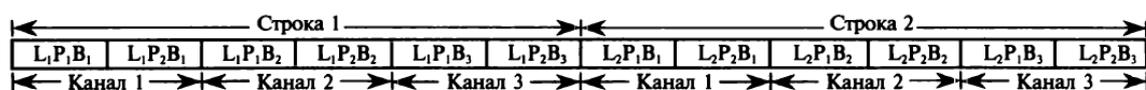


Рис. 1.4. Формат ВП (L — строка, P — пиксел, B — канал)

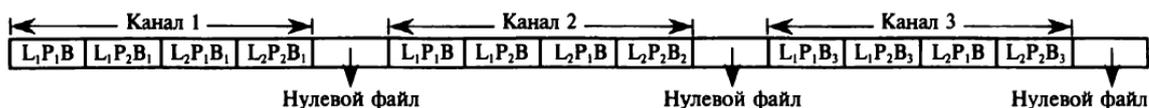


Рис. 1.5. Формат BSQ (L — строка, P — пиксел, B — канал)

и т. д. (рис. 1.5). Таким образом, за независимую единицу хранения данных в формате BSQ принят канал (спектральный диапазон). Этот формат широко применяется на практике, поскольку способ размещения данных ближе всего отвечает задачам их просмотра и анализа. Недостатки этого формата проявляются, если необходимо изучить не всю сцену, а лишь ее небольшую часть. В этой ситуации для выделения нужной области сначала потребуется считать весь набор данных.

Выбор оптимального формата зависит от условий и поставленных задач, а, зачастую, и от наличия определенного оборудования и программного обеспечения. Если изучается вся сцена во всех спектральных диапазонах съемки, удобнее использовать форматы BSQ и BIL. Если анализируется небольшой участок с известным местоположением, то в этой ситуации лучше использовать формат BIP, поскольку значения из всех спектральных диапазонов для этого участка будут находиться в одном месте записи. Безусловно, самая хорошая ситуация — когда есть возможность считать данные, записанные в любом исходном формате, и преобразовать их в тот формат, который наиболее удобен для работы.

1.2 Методы дешифрирования цифровых космоснимков

Космический снимок содержит подробную информацию о состоянии объектов земной поверхности в момент съемки. Для дешифрирования снимков используют специальные методы и дополнительные данные, полученные из различных источников — карт, отчетов о полевых исследованиях и ранее полученных результатов анализа снимков той же территории. Дешифрирование основывается на

определенных физических характеристиках объектов и явлений, а его результаты зависят от опыта оператора, типа распознаваемого объекта и качества снимка.

Процедура дешифрирования. Дешифрирование определяют, как процесс изучения снимков с целью идентификации объектов и оценки их значимости. Дешифрирование является сложной задачей, для решения которой необходимо выполнить ряд работ по классификации и подсчету количества объектов, измерению их параметров и определению границ. Первым этапом дешифрирования является классификация объектов, в ходе которой оператор относит различные объекты на снимке к определенным классам или кластерам. Процедура классификации также состоит из нескольких этапов, первым из которых является выделение пространственных объектов. Затем на этапе распознавания устанавливается тождество между отдельными объектами и соответствующими классами. Для выполнения этого шага необходимы дополнительные знания об изучаемой территории. Наконец, на заключительном этапе, который называется идентификацией, каждый объект на снимке приписывается с некоторой степенью вероятности к одному из определенных классов. Следующий этап дешифрирования — подсчет количества объектов на снимке — во многом зависит от того, насколько точно была проведена их классификация. Третий этап состоит в определении геометрических характеристик объекта: длины, площади, объема и высоты. К этому этапу относится и денситометрия — измерение яркостных характеристик объекта. Последний этап заключается в определении контуров однородных по своим свойствам объектов или пространственных областей, которые при этом закрашиваются определенным цветом или штриховкой. Эту задачу проще выполнять при наличии у объектов четких границ и гораздо сложнее там, где свойства объектов изменяются плавно, например, на границе водоема и песчаных почв. Для успешного дешифрирования очень важно понимать, от каких па-

раметров зависит представление объекта на снимке. Дешифровочные признакиДля систематической идентификации, распознавания и определения границ объектов используют определенные характеристики изображений, которые называются дешифровочными признаками. Примеры таких признаков приводятся ниже.

Размер объекта зависит от масштаба. Как правило, при дешифрировании анализируются относительные размеры объектов на одном и том же снимке. Например, размер частного дома должен быть меньше размера крупного торгового центра.

Форма объекта или его контуров является очень четким критерием дешифрирования. Как правило, объекты, созданные человеком (например, дороги, каналы, здания), имеют четкие границы и правильную форму, а форма природных объектов — лесных массивов, водоемов и пр. — является очень нерегулярной.

Тон объекта характеризует его относительную яркость или цвет. Это один из наиболее важных качественных критериев дешифрирования. Обычно тон объекта определяется как темный, средний или яркий.

Структура изображения определяется взаимным расположением объектов на снимке. Как правило, отчетливая и хорошо распознаваемая структура возникает в местах периодически повторяемых тонов и текстур. Так, например, разную структуру образуют упорядоченные дома в городе и деревья в саду.

Текстура, или частота изменений тона в определенной области снимка, является качественным параметром и обычно характеризуется как резкая или плавная. Например, сухие песчаники обладают плавной текстурой без выраженных вариаций тона. Наоборот, текстура смешанного леса является очень резкой из-за частых пространственных изменений тона, которые связаны с различием в форме и размерах верхушек деревьев разных пород и вариациями плотности лесного покрова.

Тень является одним из наиболее важных критериев дешифрирования, поскольку она дает представление об относительной высоте и профиле объекта. В горных районах тень хорошо подчеркивает топографические особенности рельефа и является полезным критерием при дешифрировании геологических структур.

Взаимосвязи — еще один важный критерий дешифрирования, определяющий закономерности взаимного расположения близлежащих объектов. Например, небольшие участки земли белого цвета, расположенные нерегулярно вдоль реки, свидетельствуют о наличии у нее сухого песчаного берега. Сетка линий и регулярно расположенные прямоугольные объекты между ними указывают на территорию городского типа. Дешифрирование — это специальная процедура, позволяющая связать географические структуры на земной поверхности с их изображением на снимке. Можно выделить пять различных методов дешифрирования.

Полевые исследования. Часто снимок оказывается слишком сложным для анализа, и специалист по дешифрированию, несмотря на свои знания и опыт, не в состоянии установить взаимосвязь между объектами на земной поверхности и снимком. В этом случае для точной идентификации объектов необходимо провести полевые исследования, которые, в действительности, являются важной составной частью любой задачи дешифрирования.

Дешифрирование по прямым признакам. Этот метод дешифрирования сводится к применению знаний, опыта и аналитических способностей специалиста к распознаванию различных структур на снимке и определению их принадлежности к тому или иному классу объектов. По существу, этот процесс заключается в качественном и субъективном анализе снимка на основе различных дешифровочных признаков. Поскольку этот метод дешифрирования зависит от

человеческой интуиции, анализ снимка должен проводиться методично и очень тщательно

Дешифрирование по косвенным признакам. В этом случае дешифрирование снимка выполняется на основе информации о наличии или отсутствии связанных с объектом косвенных признаков. Так, границы почв напрямую связаны с такими факторами почвообразования, как рельеф и растительность. Поэтому дешифрирование последних позволяет восстановить и распределение почвенного покрова. Для того чтобы успешно применять этот метод, необходимы глубокие знания взаимосвязей между используемыми косвенными признаками и самим объектом.

Дешифрирование, основанное на вероятностях. Свойства многих объектов и явлений тесно связаны с определенными характеристиками природной среды. В качестве примера можно привести сезонность вызревания зерновых культур. Эту дополнительную информацию очень часто удается сформулировать в виде вероятностного утверждения и использовать его для дешифрирования.

Дешифрирование с помощью измерений. Этот метод дешифрирования является наиболее строгим и точным, поскольку он основан на использовании количественных взаимосвязей между самим снимком и объектами на нем. В отличие от других способов дешифрирования в данном методе большая часть информации извлекается непосредственно из снимка. Примером этого способа может служить фотограмметрический анализ стереопар. Сначала проводится съемка исследуемой области с двух различных точек траектории полета летательного аппарата, после чего измеряется видимое на стереопаре смещение объекта. Поскольку геометрические параметры съемки известны, по этим измерениям можно восстановить топографическую модель рельефа. Таким образом, для получения точных данных о рельефе в данном методе используются только сами снимки и информация о

геометрических параметрах съемки. В зависимости от цели исследования можно использовать различные комбинации перечисленных методов. Например, при дешифрировании почв сначала может оказаться необходимым выделить с помощью прямых признаков различные типы растительного покрова, а затем использовать эти результаты в качестве косвенных признаков для определения границ различных видов почв.

Выделение зональностей. Еще одним методом дешифрирования сложных структур является выделение на снимке зональностей — участков однородного тона и текстуры изображения. При использовании этого метода оператор обращает внимание на общую структуру изображения, не стараясь распознать отдельные ландшафтные единицы.

Реестр результатов дешифрирования. Реестр результатов дешифрирования — это способ собрать воедино всю имеющуюся информацию. Такие реестры выполняют двойную функцию, являясь одновременно:

1. Средством обучения молодых специалистов методам дешифрирования сложных снимков или тематического дешифрирования в новой области.
2. Способом документирования информации и примеров дешифрирования, относящихся к определенной тематической области.

По существу, реестр результатов дешифрирования — это набор справочных материалов, с помощью которых можно быстро и точно идентифицировать объекты на снимках. Обычно реестр состоит из двух частей: набора снимков или стереопар с примечаниями и графического или словесного описания. Реестры систематизируются так, чтобы в любой момент можно было легко найти нужный снимок, относящийся, например, к определенной дате, территории или объекту.

Реестр результатов дешифрирования — это еще и способ систематизации сведений о важнейших характеристиках объекта или явления. В то же время, следует подчеркнуть, что для использования реестров необходимы знания в тематической области. Сведения,

содержащиеся в реестре, не могут заменить опыта специалиста, это всего лишь способ систематизации информации, который помогает ускорить процесс обучения дешифрированию.

Реестры результатов дешифрирования являются эффективным способом распространения опыта ведущих специалистов. Они помогают развивать практические навыки работы со снимками и позволяют получать четкое представление о самом процессе дешифрирования.

Оборудование, используемое для дешифрирования.

Оборудование, которое используется для дешифрирования снимков, является относительно простым и, за исключением отдельных компонентов, недорогостоящим. В лаборатории дешифрирования должно быть достаточно места для хранения снимков и работы с ними. Для дешифрирования требуется следующее оборудование. Светостол с прозрачной поверхностью и подсветкой снизу для удобного просмотра пленок. Если используются пленки в рулонах, стол должен быть оснащен специальными держателями и валиками, так чтобы пленку можно было свободно проматывать от одного края стола к другому. Специальные измерительные шкалы, миры, которые используют при дешифрировании, имеют очень точную градуировку. Точность обычных линеек, которые встречаются в быту, совершенно недостаточна для целей дешифрирования. Стереоскопы — приборы, предназначенные для стереоскопического просмотра аэрофотоснимков. Наиболее простым из этих устройств является карманный стереоскоп. Благодаря своим малым размерам и небольшой стоимости карманный стереоскоп стал одним из самых популярных приборов, применяемых для визуального дешифрирования.

Увеличители — устройства, предназначенные для более подробного изучения снимков. Коэффициенты увеличения при анализе изображений выбирают в зависимости от личных предпочтений и исследовательской задачи.

Денситометр — прибор, принцип действия которого основан на изменении яркости светового луча при его прохождении через пленку. С помощью денситометров измеряют плотность снимков — количественную характеристику тона изображения.

Параллаксометр — устройство, которое используется вместе со стереоскопом. С его помощью можно оценить топографическую высоту объектов, представленных на стереопаре. Параллаксометр снабжен двумя стеклянными пластинами, каждая из которых располагается под одной из линз стереоскопа. На каждой пластине нанесена небольшая черная точка. Одна пластина остается неподвижной, а вторую перемещают параллельно шкале параллаксометра до тех пор, пока две точки не совместятся. Измеренная величина перемещения в этом положении используется для расчета высоты точки рельефа.

Увеличивающий трансфероскоп— прибор, выпускаемый корпорацией «Бауш и Ломб» для визуального совмещения снимков. С его помощью можно точно совмещать карты и снимки разного масштаба. При этом оператор наблюдает оба изображения через бинокулярные линзы и может изменять увеличение и ориентацию одного из снимков. После совмещения снимков оператор может выделить необходимые детали на одном из них и перенести их на промежуточный слой, который затем отпечатывается на другом снимке.

Автоматизированные методы дешифрирования. Основные принципы дешифрирования были сначала разработаны для аэрофотоснимков, а затем адаптированы к задачам дистанционного зондирования с использованием космических снимков. В следующей главе описываются автоматизированные методы анализа цифровых данных, которые стали широко применяться с появлением мощных компьютеров.

1.3 Улучшения визуального восприятия космоснимков

Улучшающие преобразования, которые применяют к снимкам, облегчают их дешифрирование и анализ. Как правило, для улучшения снимков используют методы, которые увеличивают видимые различия между объектами. Например, для подчеркивания тоновых различий используют методы увеличения контрастности, а для подавления определенных пространственных структур — пространственную фильтрацию. Для контроля качества результирующих изображений, которые могут быть как монохромными, так и цветными, их просматривают на экране монитора либо печатают на пленке или бумаге. В отличие от операций улучшения снимков, для их преобразования используют данные не из одного, а из нескольких спектральных диапазонов. Новые изображения получают путем попиксельного сложения, вычитания, умножения или деления данных из разных диапазонов так, чтобы выделить или подчеркнуть определенные характеристики изображения. Еще одной задачей преобразования снимков является устранение избыточности данных, которая возникает при близком расположении спектральных диапазонов многозональных снимков. Эта задача решается методом главных компонент. Назначение улучшающих преобразований состоит в том, чтобы упростить дешифрирование и анализ изображений. Такая возможность предоставляется, прежде всего, благодаря цифровому формату снимков, который позволяет работать со значениями каждого пиксела. Несмотря на радиометрическую коррекцию по освещенности, атмосферным помехам и параметрам датчика, визуальное дешифрирование снимков может быть все еще затруднено. Например, такая ситуация возникает при больших вариациях спектральной яркости, обусловленных разнородностью объектов съемки (лесной покров, пустыня, снежный покров, водная поверхность и т. д.). В этом случае оптимальный диапазон яркости и контрастности для всех объектов

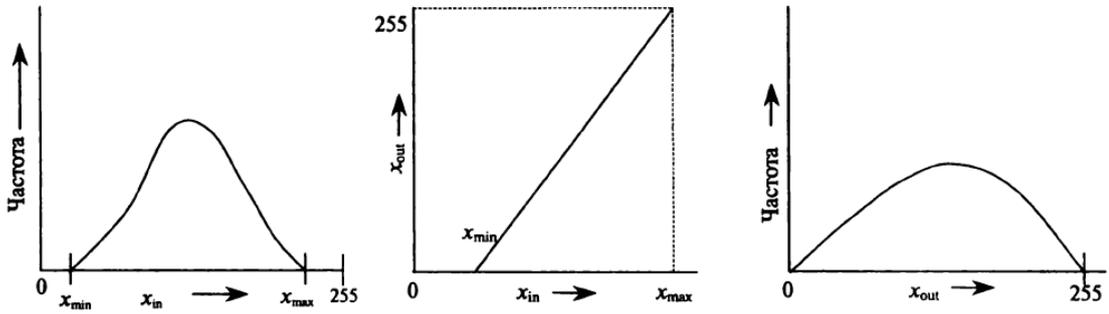
невозможно выбрать, используя только методы радиометрической коррекции.

Исходные данные занимают, как правило, только часть общего диапазона числовых значений, который обычно представлен 256 оттенками серого цвета (8 бит на пиксел). Увеличение контрастности объектов по отношению к фону достигается за счет использования всего диапазона яркости. При этом, одним из ключевых понятий является *гистограмма снимка* — график, по оси x которого отложены значения яркости (числа от 0 до 255), а по оси y — частота, с которой разные значения встречаются на снимке. Гистограмму используют для наглядного представления техизменений, к которым приводит, например, увеличение или уменьшение диапазона значений яркости на снимке. Все многочисленные методы повышения контрастности и детализации снимков можно разделить на две основные категории, а именно, на линейные и нелинейные методы.

Линейные методы увеличения контрастности. Основу любой процедуры увеличения контрастности составляет расширение диапазона яркости на снимке так, чтобы он соответствовал полной радиометрической шкале датчика. При использовании 8-битового формата записи данных весь диапазон значений яркости представлен 256 оттенками серого цвета в диапазоне от 0 до 255. При этом 0 соответствует черному цвету, а 255 — белому. Очевидно, что если гистограмма исходного снимка занимает только часть указанного диапазона, качество изображения будет не очень высоким.

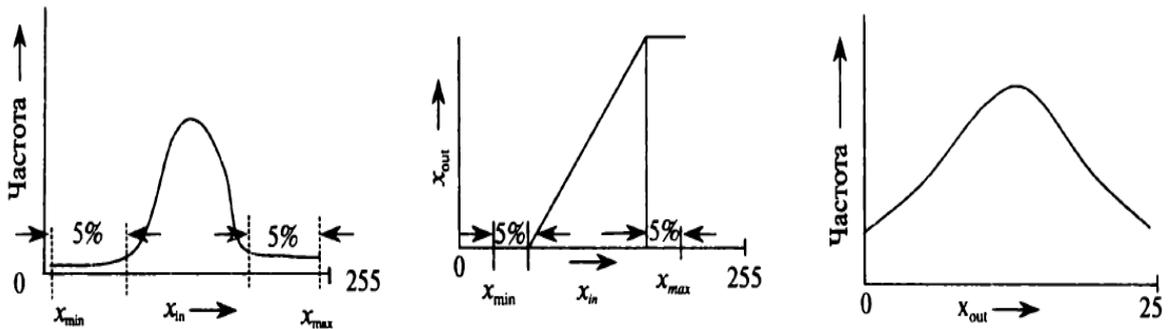
Одним из простейших методов повышения контрастности является минимаксное растяжение, которое заключается в том, что левый и правый край гистограммы сдвигают к соответствующим границам полного диапазона. Иными словами, левому краю гистограммы присваивается значение 0, а правому — 255 (рис. 1.6). При этом все промежуточные значения яркости пересчитывают в соответствии с линейной формулой:

$$x_{new} = \frac{x_{in} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} x_r,$$



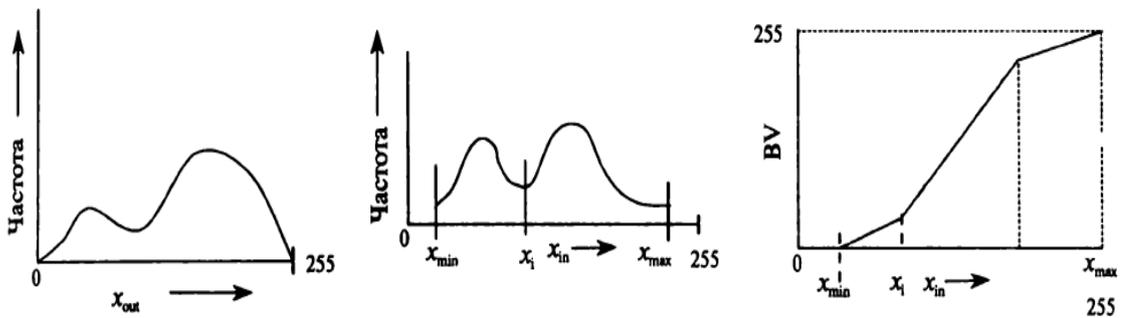
а) б) в)

Рис. 1.6. Минимаксное растяжение а) Исходная гистограмма б) Линейное преобразование в) Гистограмма после преобразования



а) б) в)

Рис. 1.7. Процентильное растяжение а) Исходная гистограмма б) преобразование в) Гистограмма после преобразования



а)

б)

в)

Рис. 1.8. Кусочно-линейное контрастное растяжение а) Исходная гистограмма б) преобразование в) Гистограмма после преобразования

где x_{new} — новое значение яркости, x_{min} — минимальное значение яркости в исходных данных, x_{max} — максимальное значение яркости в исходных данных, x_n — исходное значение яркости пиксела, x_2 — диапазон шкалы яркости (0—255 для 8-битового формата).

Иногда, после минимального растяжения гистограмма приобретает длинные «хвосты», которые свидетельствуют о том, что существенного улучшения качества снимка не произошло. В этой ситуации рекомендуется исключить 1, 2 или 5% данных, которые соответствуют хвостам гистограммы. Эта операция, которую называют *процентильным растяжением*, проиллюстрирована на рис. (1.7).

После исключения определенного процента данных оставшуюся часть гистограммы растягивают точно так же, как и при минимаксном растяжении. Это приводит к снижению наклона графика линейного преобразования и, следовательно, к подчеркиванию деталей изображения. Оба рассмотренных метода являются достаточно эффективными, если гистограмма похожа на распределение Гаусса, то есть имеет один максимум. При наличии нескольких максимумов к различным частям гистограммы следует применять отдельные процедуры линейного растяжения (рис. 1.8).

Нелинейные методы увеличения контрастности. В общем случае гистограмма яркости не является равномерной. В такой ситуации более подходящими могут оказаться нелинейные методы повышения контрастности изображения. Простейшим из них является *метод выравнивания гистограммы*, основная идея которого состоит в том, чтобы перераспределить значения яркости так, чтобы каждому из них соответствовало примерно равное количество пикселей. В дополнение к этому оператор также может изменить двоичный формат представления данных, например, с 8-битового на 7-битовый и наоборот. Применение этого метода увеличивает контрастность тех частей снимка, которые дают

основной частотный вклад в гистограмму, и уменьшает контрастность остальных частей.

Другим известным методом является *гауссово растяжение*, суть которого заключается в преобразовании исходной гистограммы к распределению Гаусса в области шириной ± 3 стандартных отклонения. Как правило, такое растяжение приводит к увеличению контрастности тех частей снимка, которые соответствуют хвостам гистограммы. Помимо модели гауссова распределения используют также логарифмические и экспоненциальные модели.

Пространственная фильтрация. Пространственные фильтры используют для выделения или, наоборот, подавления определенных структур на снимке в зависимости от их пространственной частоты. Пространственная частота тесно связана с такой характеристикой тоновых вариаций, как текстура. *Грубая текстура*, с резкой сменой тонов на малой площади, соответствует высокой пространственной частоте, *плавные* изменения тона — низкой.

Обычная процедура фильтрации состоит в следующем. По всем пикселям снимка перемещают пространственное окно со сторонами длиной в несколько пикселей (3 x 3, 5 x 5 и т. д.). При каждом положении окна рассчитывают новое значение яркости центрального пикселя, используя для этого значения всех остальных пикселей в окне. В зависимости от способов расчета яркости и учета вклада каждого пикселя такой фильтр может как усиливать, так и подавлять различные структуры на снимке.

Фильтр пропускания низких частот сглаживает изображение, подчеркивая большие, однородные по тону части снимка и подавляя мелкие детали. Примерами таких фильтров являются медианные фильтры и фильтры «скользящего среднего».

Фильтр пропускания высоких частот, наоборот, подчеркивает мелкие детали изображения. Для реализации такого фильтра можно,

например, сначала применить к снимку низкочастотную фильтрацию, а затем вычесть получившийся результат из исходных данных.

Направленные фильтры, или фильтры усиления границ, предназначены для подчеркивания линейных объектов, таких как дороги или границы полевых культур. Кроме того, эти фильтры используются для усиления объектов, которые ориентированы в определенном направлении. В частности, такие фильтры используются в геологии для определения линейных геологических структур.

Преобразование снимков. Для преобразования снимков используются данные из нескольких спектральных диапазонов, причем эти данные могут соответствовать даже различным датам проведения съемки (многовременные данные). В результате преобразования формируются новые снимки, на которых гораздо четче выделяются определенные объекты и области интереса.

К простейшим преобразованиям относятся операции попиксельного сложения, вычитания, умножения и деления. Например, операция вычитания состоит в том, что из значения яркости каждого пиксела одного снимка вычитается значение яркости соответствующего пиксела другого снимка, который совмещен с первым. Результирующий снимок называется разностным. Объекты, отражательная способность которых изменилась незначительно за время между двумя съемками, будут окрашены на разностном снимке в светло-серые тона, а темные и яркие области снимка будут соответствовать значительным изменениям отражательной способности. Этот тип преобразования полезен для картографирования городской инфраструктуры, наблюдения за лесозаготовками, оценки посевных площадей и других подобных задач. *Сложение изображений* является усредняющей операцией, позволяющей снизить уровень шума на снимке. Эту операцию широко используют при пространственной фильтрации для выделения объектов определенного масштаба. *Операция умножения снимков* при обработке данных ДЗ применяется крайне редко. В отличие

от нее, операция *деления*, на которой основано вычисление многих спектральных признаков, является одним из наиболее часто используемых преобразований. Эта операция позволяет подчеркивать малейшие изменения в спектральной отражательной способности различных земных покровов. Отношение величин из разных спектральных диапазонов дает важную информацию об объектах. В частности, зеленая растительность обладает большой отражательной способностью в ближней инфракрасной области спектра и хорошо поглощает излучение в красном диапазоне.

Преобразование «колпак с кисточкой». При вычислении любого из индексов PVI рассматриваются спектральные вариации в двух из четырех диапазонов снимков *LandsatMSS*, а расстояние до линии почв в двумерном пространстве признаков используется в качестве числовой характеристики биомассы. Несколько иной подход, в котором учитываются все четыре канала съемки *LandsatMSS*, был предложен в работе Кауфа и Томаса. В результате предложенного ими преобразования точки, соответствующие почве, расположены на линии, находящейся под углом к любой координатной плоскости четырехмерного пространства спектральных признаков *MSS*, а точки, характеризующие растительность на различных стадиях вегетации, заполняют область, по форме напоминающую колпак с кисточкой. Одноименное преобразование основано на методе последовательной ортогонализации Грамма—Шмита, в результате которого исходные данные *MSS* преобразуются к новой системе координат четырехмерного пространства спектральных признаков. Первые три оси этой координатной системы называются «яркость», «зеленый цвет» и «желтый цвет», а четвертая ось характеризует спектральные признаки, не относящиеся к первым трем. Ось *яркости* соответствует вариациям отражательной способности подстилающей почвы, ось *зеленого цвета* характеризует жизнеспособность зеленой растительности, а ось *желтого цвета* — стареющую растительность. Значения вдоль четвертой оси связаны, в основном, с атмосферными условиями.

Преобразование «колпак с кисточкой» в основном используется для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур на различных стадиях их созревания. При этом, основными данными служат значения «яркости» и интенсивности «зеленого цвета». Основным преимуществом этого преобразования является то, что выбор осей новой системы координат основан на физических принципах, не зависящих от вариаций растительного покрова от изображения к изображению.

Крист и Сайкон применили этот метод для анализа 6-канальных данных съемки сенсора ТМ (кроме теплового диапазона). Оказалось, что третья ось пространства преобразованных данных содержит значительную долю информации о влажности. Координатные плоскости этого пространства, образованные осями «яркости», интенсивности «зеленого цвета» и «влажности» показаны на рис. 1.9.

Значение «яркости» определяется как взвешенная сумма исходных данных по всем шести диапазонам и является количественной характеристикой общей отражательной способности. В частности, по значениям «яркости» можно разделить темные и светлые почвы. Интенсивность «зеленого цвета» определяется контрастностью между ближним инфракрасным и видимым диапазонами и является характеристикой плотности зеленой растительности, в то время зависит от контрастности отражательной способности в коротковолновом ИК-диапазоне и видимом и ближнем ИК-диапазоне и характеризует влажность почв, плотность растительного покрова и другие свойства объекта.

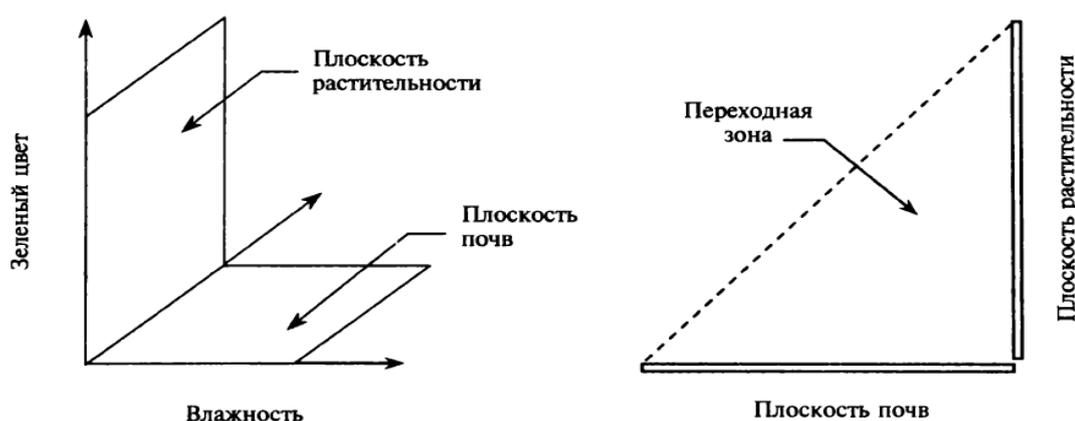


Рис. 1.9. Преобразование «колпак с кисточкой» данных ТМ: оси новой системы координат

Расположение некоторых важных спектральных признаков в пространстве, данных после преобразования «колпак с кисточкой», показаны на рис. 2.1.

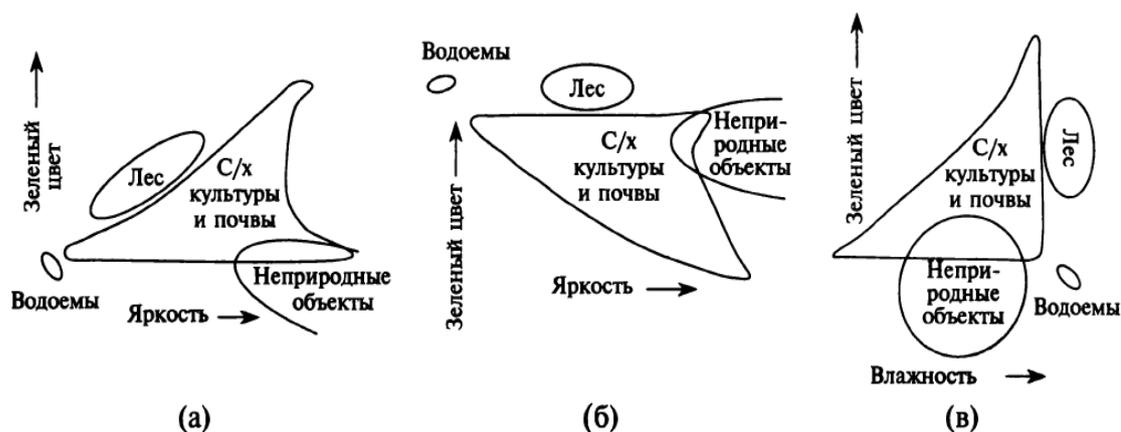


Рис. 2.1 Приблизительное местоположение наиболее важных классов в пространстве спектральных признаков, полученных в результате преобразования «колпак с кисточкой» данных ТМ

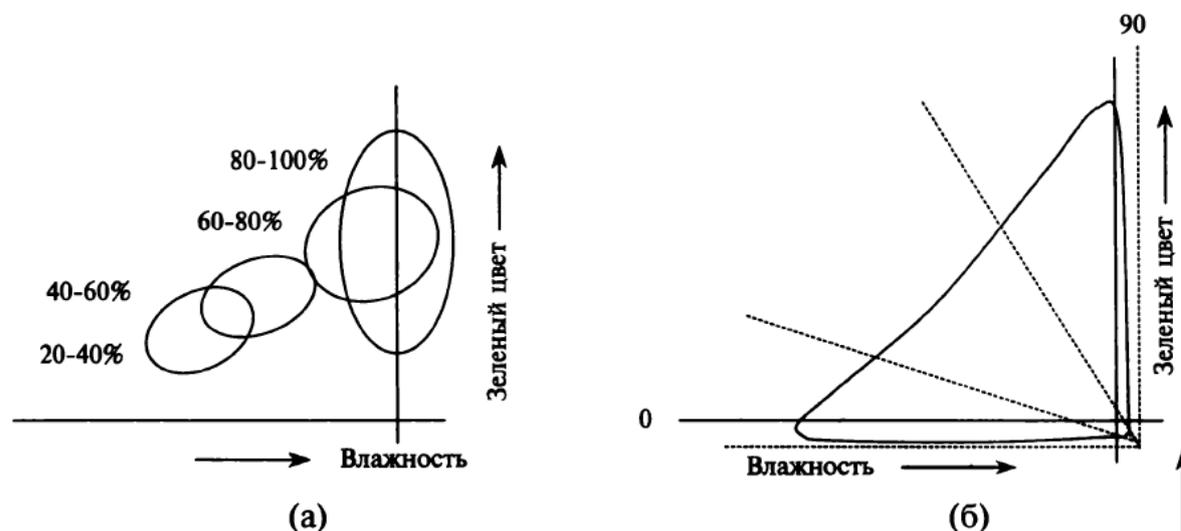


Рис. 2.2. Угловая мера процентной доли растительного покрова

Плоскость, образованную координатными осями «яркость» и «зеленый цвет», называют *плоскостью растительности*, а плоскость, образованную осями «яркость» и «влажность», — *плоскостью почв*.

Откладывая точки на плоскостях, образованных осями «яркость», «зеленый цвет» и «влажность», можно получать информацию разного типа. По положению точки на плоскости «зеленый цвет — влажность» можно оценить долю растительности на данной территории (рис. 2.2). Леса и другая природная растительность отличаются от сельскохозяйственных культур значением «влажности». Проекция на плоскость «зеленый цвет — яркость» позволяет еще лучше отделить сельскохозяйственные культуры от лесного покрова. Интересно, что точки, соответствующие лесному покрову, образуют в пространстве спектральных признаков своеобразную эмблему на колпаке (см. рис. 2.2, а). Коэффициенты линейного преобразования «колпак с кисточкой»

Классификация данных. Цель классификации состоит в замене визуального анализа снимка автоматизированной процедурой идентификации объектов, в процессе такой идентификации каждый пиксел цифрового снимка относят на основании некоторых статистических критериев к одному из классов пространственных объектов. Если классифицирующим признаком служит спектральная яркость, процесс классификации называют распознаванием спектральных образов. Если же статистический критерий основывается на геометрической форме, размерах и структуре объектов, говорят о распознавании пространственных образов. Результаты классификации можно использовать для создания тематических карт и статистических отчетов для территорий различного типа.

Среди множества методов классификации выделяют два основных: контролируемая классификация и неконтролируемая классификация.

ГЛАВА 2. ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

2.1 Обзор основных программных продуктов для обработки данных ДДЗ и ГИС

В настоящее время широкое развитие получили космические системы дистанционного зондирования Земли. 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 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.

На данный момент уже 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, 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 акомпьютерные программы представляют собой последовательность команд, выполняемых процессором, для реализации какой-либо цели, например, построения картографического изображения. Все программы принято разделять на системные, инструментальный программирования и прикладные. Функциональные особенности программных средств (ПС) географических информационных систем определяются их ориентацией на обработку и анализ атрибутивной информации. Эти программы сбора,

ввода в машинную среду, обработки (манипулирования, анализа, моделирования, визуализации) и представления пространственно-координированных данных в форме различных (табличных, графических, картографических) выходных документов.

Структурно ПС ГИС включают базовые программные средства, модули приложения и вспомогательные средства (утилиты), обеспечивающие решение всей совокупности перечисленных задач.

Наряду с этим имеются и облегченные программные продукты, предназначенные для просмотра информации в картографическом виде и решения простейших геоинформационных задач.

На мировом рынке функционируют много различных программных продуктов для обработки данных ДЗЗ и ГИС, которые можно отнести к разряду полнофункциональных. Erdas Imagine, ENVI, MapInfo Professional, WinGIS, ArcGIS ArcEditor, ArcGIS ArcInfo, ArcGIS ArcView, ArcView GIS, Autodesk Map, GeoMedia Professional, MicroStation/J, Geomatica, Manifold System Professional, GeoGraph, Global Mapper, ГрафИн, «Горизонт», «ИнГео», ER Mapper, ПАРК, GeoLink, GK32, Zulu, WinPlan.

ERDASIMAGINE, ведущая авторская система обработки геопространственных данных в мире, включает в себя геопространственную обработку и анализ изображений, дистанционное зондирование и ГИС. Всё это собрано в единый мощный, удобный пакет. Результаты могут быть представлены в виде 2D и 3D форматах, на картах и с помощью видеоматериалов. ERDAS IMAGINE может также работать в режиме инструментального средства (Toolbox), позволяющего производить многочисленные преобразования растровых картографических изображений и одновременно способного снабжать их географической информацией. Манипулируя значениями растровых данных и их географической позицией, можно обнаружить особенности местности, которые в нормальных условиях никогда не просматриваются, определять географические координаты этих объектов, которые при

других условиях представляли ли бы из себя исключительно объекты графики. Уровень яркости или уровень отраженного света от поверхности Земли на конкретном изображении является ценной информацией при анализе состава минералов или растительности этой поверхности. Другим примером анализа изображений является извлечение линейных объектов, разработка пространственной модели обработки данных (spatialmodeler), перевод данных из одного формата в другой (import/export), ортотрансформирование, составление мозаики из изображений, получение стерео изображений и автоматическое извлечение географических данных. Дата внедрения первой версии в эксплуатацию 1978 г. Данный продукт широко применяется в структурах охраны окружающей среды, военных приложений, геологии, геофизики, кадастра, лесного хозяйства, телекоммуникации, инженерных коммуникациях, океанографии и др.

Геопространственная информация всё чаще и чаще анализируется при принятии решения в различных организациях. Учёт большого объёма пространственной информации становится все более значимым для организаций. Существенная выгода достигается за счёт внедрения в существующие системы управления предприятий комплексов по управлению геопространственными данными, отвечающих за все этапы управления информацией: от ее создания до отправки конечному пользователю. Авторизированные системы управления пространственными данными позволяют пользователю обрабатывать «сырые» аэрокосмические материалы, полученные из различных источников, для создания наборов данных. Пользователь может подготовить файлы для использования в других приложениях, тем самым увеличивая универсальность информации и возможность для получения дополнительных сведений. Тщательный и полноценный процесс управления способствует доставке необходимых данных пользователям вовремя и удобным для них способом. ERDAS обладает ресурсами для создания пространственных бизнес систем, которые трансформируют

«сырые» данные об окружающем мире в информацию, необходимую отдельным лицам, организациям, публичным агентствам. Системы ERDAS помогают пользователям осуществлять быстрый доступ к информации, управление, обработку и доставку данных конечным потребителям. Используя систему защиты пространственной информации, ERDAS улучшает доступность информации для заказчиков и партнёров, позволяя им быстрее принимать решения и увеличивать производительность. ERDAS представляет комплексные решения по обработке и управлению данными для персонального и корпоративного использования. Расширяемые и гибкие системы ERDAS позволяют передавать информацию от источников конечным пользователям через Интернет.

Geomatica. Программное обеспечение наиболее полное современное решение по обработке пространственных данных. Система имеет встроенные возможности для обработки данных и увеличения продуктивности. В программном обеспечении нет традиционного разделения на дистанционное зондирование, ГИС, фотограмметрию, картографию, Интернет-публикации и инструменты разработки. Все это предлагается в единой интегрированной среде, что позволяет сократить время на обработку данных, снизить возможность ошибок и увеличить эффективность использования программного обеспечения. При полной растрово-векторной интеграции и поддержке более чем 100 форматов пространственных данных Geomatica предлагает решение для любого процесса обработки данных ДЗЗ, одновременно сохраняя работоспособность внешних программных пакетов. Доступ и обмен данными. Программное обеспечение PCI Geomatics использует технологию GenericDatabase (GDB) эксклюзивную разработку PCI Geomatics для быстрого прямого доступа к растровым, векторным и другим данным, представленным в более чем 100 различных форматах, а значит, позволяет читать, перемещать, обрабатывать и сохранять данные, используемые в современных ГИС-технологиях (в частности, ESRI, Inc.,

AutodeskCorp., BentleySystems все США). Список поддерживаемых форматов постоянно расширяется при появлении нового формата команда разработчиков PCI Geomatics добавляет его в GDB. Полностью поддерживаются форматы ArcInfo, ArcView, AutoCAD и MicroStation.

MapInfoProfessional. Программная разработана фирмой MapInfoCorp. (США). Пакет MapInfo специально спроектирован для обработки и анализа информации, имеющей адресную или пространственную привязку. Наличие большого числа утилит существенно расширяет функциональные возможности системы.

В MapInfoProfessional реализованы:

- Связь с удаленными базами данных Oracle8.0.x, DB2, Informix. Поддержка работы с базой данных Oracle8i, в которой пространственные данные могут храниться наравне с обычными данными.
- Совместимость с Windows95, 98, 2000.NT 4.0.XPWindows 7. Win 8
- Интеграция карт MapInfo в приложения Windows (Excel, Access, Word).
- Усовершенствованный интерфейс, включает в себя следующие параметры:
 - отображение расстояния при рисовании объектов;
 - отображение координат в градусах, минутах, секундах;
 - сохранение настроек печати, например ориентации бумажного листа, в рабочем наборе;
 - кнопку отмена выбора;
 - вычисления длин и площадей на плоскости и с учетом сферичности земли.
- Построение буферных зон вокруг любого объекта или группы объектов (точек, линий, полилиний, полигонов).
- 27 картографических проекций. В каждой версии добавляются новые проекции.

- Создание тематических карт: методами картограмм, картодиаграмм, значков, точечным методом, методами изолиний, отмывки рельефа и др. При создании карт методом картограмм могут быть выбраны различные способы шкалирования: равных интервалов, равного количества точек, естественных групп, минимума, по квантилям. Настройка шкал может быть выполнена вручную. При создании карт методом картодиаграмм и локализованных диаграмм могут быть использованы данные из нескольких таблиц.
- Трехмерная визуализация поверхностей и картографических объектов (точек, линий, полилиний и полигонов). Функции настройки вида поверхности: выбор угла наклона, масштаба, способа отрисовки (отмывка, «сеточная модель», рендеринг), настройка цвета и палитры, свойств отображения — коэффициентов рассеивания, отражения и прозрачности, определение точки фокуса, точки наблюдения и угла для отображения поверхности в перспективе. Сохранение поверхности в форматах: TAB (растр в формате TIFF и таблица привязки MapInfo), VRML 2.0, STL(TIN). Приложение «Поверхность» — для работы с трехмерными поверхностями, построения изолиний и триангуляции Делоне.
- Модуль деловой графики, который позволяет создавать графики следующих типов: Площадные, Столбчатые, Линейные, Точечные, Круговые диаграммы, ЗБ-графики, Пузырьковые, Колонки, Гистограммы и Поверхности. При построении графиков можно как использовать стандартные шаблоны, так и создавать свои собственные.
- Анимационный слой, обеспечивающий быструю перерисовку при частых изменениях на слое (полезна для систем слежения за движущимися объектами).
- Функции редактирования карт: изменение формы объектов, совмещение при редактировании, перемещение, выбор нескольких узлов для удаления, копирование объектов, создание полилинии из области,

создание области из полилинии, сглаживание, возвращение таблицы в исходное состояние, удаление только объектов карты.

Расширенный язык запросов SQL: запросы основываются на выражениях, осуществляют объединение, отображают доступные поля, позволяют делать подзапросы, объединения из нескольких таблиц и географические объединения. Операторы запросов как стандартные, так и географические: содержит в; содержит полностью; внутри; полностью внутри; пересечение/объединение. При создании запросов можно использовать функции: день, месяц, год, текущая дата и день недели. Нахождение синуса, косинуса, арккосинуса, суммы, среднего, минимума, максимума, абсолютного значения, экспоненты и округления. Вычисление площади, периметра, длины и определение координат центра. Строковые функции. Функции конвертации. Результат может быть сохранен как отдельная таблица и как отдельная база данных.

GlobalMapper. Это универсальная программа, позволяющая просматривать, конвертировать, преобразовывать, редактировать и распечатывать различные карты и векторные наборы данных. Ваши данные могут быть загружены в качестве слоев, или быть загружены как отсканированная топографическая карта для 3D изображения местности. Программа может работать в реальном времени, загружая данные с присоединённого к компьютеру GPS приёмника. GlobalMapper поддерживает огромное количество форматов, имеет много различных инструментов и опций. С ее помощью можно подсчитывать расстояния от одного объекта до другого, подводить контуры изображения, настраивать контрастность и многое другое. Возможности программы:

- Поддержка просмотра основных форматов данных
- Прямой доступ к DigitalGlobe, TerraServer-USA, WMS и другим источникам
- Поддержка просмотра 3D ландшафтов

- Обрезание, перепроектирование и слияние любых комбинаций растровых данных и данных возвышенностей
- Оцифровывание новых векторов с возможностью их перемещения
- Совместимость с GPS устройствами через компьютерный серийный порт или USB порт
- Поддержка конвертации между большим списком проектных систем и исходных данных
- Экспорт в векторные и растровые данные
- Графическое исправление любых JPG, TIFF или PNG изображений и сохранение результатов в новое изображение
- Создание контуров для любых комбинаций данных возвышенностей
- Загрузка и отображение JPG изображений со встроенными EXIF данными о позиции
- Поддержка NASA World, Google Maps, Virtual Earth
- И многие другие возможности

RockWorks. Программа разработана фирмой RockWare (США) и используется для обработки геологических и геофизических данных и просмотра результатов. RockWorks включает модули по точечному картографированию, построению изолиний, поверхностей (в том числе объемных), моделированию вертикальных разрезов скважин, построению стратиграфических шкал, графиков, диаграмм, статистическому и гидрохимическому анализу, преобразованию проекций, трехмерному представлению данных и другие специальные функции.

Zone. Программа разработана фирмой «ЛЕНЭКОСОФТ» в 1992 г. Zone — проблемно-ориентированная геоинформационная система для решения задач в области охраны окружающей среды:

- управление качеством окружающей среды городов и промышленных зон;
- информационно-аналитическая основа в аппаратных системах мониторинга атмосферы;

- экологическая экспертиза и выполнение отдельных разделов ОВОС (оценка воздействия на окружающую среду);
- медико-экологическая экспертиза с оценкой риска для здоровья населения за счет факторов окружающей среды (загрязнение воздуха, питьевой воды, воздействие шума);
- оценка последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды (с учетом пищевых цепочек).

Структура системы модульная: Z/DATA — геоинформационная система, обеспечивающая поддержку цифровых моделей естественного и антропогенного ландшафта, а также всех типов источников загрязнения атмосферы, включая автотранспорт и аварийные источники с произвольной временной структурой выброса; Z/CALC — расчетный модуль, реализующий численную трехмерную гидротермодинамическую модель атмосферы до высоты 2000 м для восстановления микромасштабной структуры поля ветра и характеристик турбулентности на основе либо данных мониторинга реального времени, либо климатических данных с последующим моделированием переноса и рассеяния примеси на основе метода Монте-Карло. В последних версиях обеспечивается расчет поля шума от автотранспорта; Z/ANALITIC — система просмотра, систематизации, анализа результатов расчетов и данных измерений с возможностью подготовки выходных графических документов; Z/ECOMED — система медико-экологической экспертизы с возможностью поддержки баз данных наблюдений за загрязнением атмосферы, воды и интенсивностью шума для последующего расчета потенциального риска для здоровья населения; Z/RADIOLOG — система для расчета переноса радиоактивных веществ в атмосфере и биологических доз воздействия радиации на человека с учетом всех путей воздействия.

Ибис-Лесхоз. Программа разработана компанией «ПОЛИТЕРМ» для расчета тепловых, водопроводных и газовых сетей и позволяет выполнять:

наладочные, поверочные и конструкторские расчеты систем теплоснабжения;

поверочные и конструкторские расчеты систем водо- и газоснабжения;

расчет режимов работы котельных;

построение пьезометрических графиков;

автоматизацию работы диспетчера тепловых и водопроводных сетей;

расчет с потребителями тепловой энергии.

Достоинства системы:

— высокое быстродействие при выполнении расчетов систем тепло-и водоснабжения;

— отсутствие ограничений на объем сетей (расчет сетей любой сложности);

— расчет тепловых сетей, работающих с произвольным количеством насосных станций дросселирующих устройств, от одного или нескольких источников;

— возможность расчета кольцевых сетей;

— расчет систем теплоснабжения с большим количеством регулирующих устройств (регуляторы расхода, давления, температуры), большим количеством схем присоединения абонентских вводов и центральных тепловых пунктов;

— выполнение теплогидравлических расчетов систем теплоснабжения;

— расчет с определением водного и теплового баланса между источником и потребителями. Определяются потребители и соответствующий им источник, от которого данные потребители получают воду и тепловую энергию.

2.2 Структуры и обзор функцией Envi

ИТТ VisualInformationSolutions (на рынке с 1977г.) предлагает интегрированные программные решения, которые помогут ученым, инженерам, исследователям и работникам медицины превратить массивы

данных в полезную информацию. 150 000 клиентов из более чем 80-ти стран мира используют IDL, ENVI и IAS для анализа данных и изображений, а также развёртывания приложений для работы с графической информацией.

Программные решения используются в различных областях, включая дистанционное зондирование, инженерное искусство, науки о земле, изучение воздушного пространства и космоса, медицину, разработку нефти и газа и биотехнологии. Благодаря комплексному подходу к обучению, проведению консультаций и технической поддержке, продукты ИТТ VisualInformationSolutions представляют собой комплексные решения визуализации и анализа данных.

Цель компании: стать лидером производства готовых и индивидуально настраиваемых программных решений, имеющих исключительно важное значение для клиентов в области медицины, науки и государственного управления.

В отличие от других пакетов по обработке снимков, в ENVI встроен удобный язык программирования IDL (InteractiveDataLanguage), так что возможно расширить функциональные возможности ENVI или создать собственные подпрограммы.

Открытая архитектура ENVI обеспечивает удобство обработки данных, полученных со спутников Landsat, SPOT, RADARSAT, NASA, NIMA, NOAA, EROS DataCenter, SpaceImaging, Terra, ESA, а также предусматривается включение в этот список EarthWatch и ORBIMAGE и других спутников. Рис 2.3.

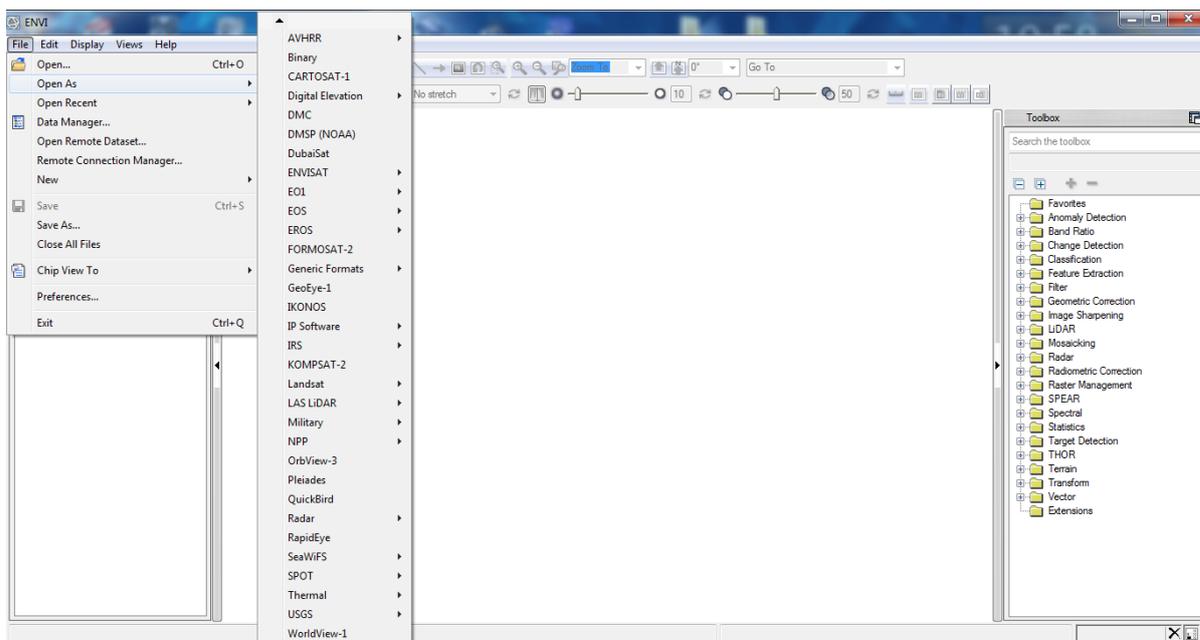


Рис.2.3 Общий вид программный продукт ENVI 5.1

Интуитивный, индивидуально настраиваемый графический пользовательский интерфейс позволит начать работу с данными незамедлительно, логичное выпадающее меню дает возможность легко находить необходимые функции. Вы можете легко изменить порядок, переименовать или добавить свои пункты меню. ENVI позволяет отображать графические данные удобно и в любом разрешении. Можно работать с миниатюрами (размер которой, также можно изменять), изображениями в максимальном разрешении, использовать увеличение/уменьшение или пользоваться всем этим одновременно. Широкие возможности индивидуальной настройки интерфейса. Более того, расположение окон, цветовые решения и мозаики могут быть сохранены в "DisplayGroup", что позволит быстро восстановить их другими пользователями или в другом сеансе работы. Рассмотрим основных функций для дальнейших работ.

Создание областей интереса (ROIs). Области интереса (ROIs) - части изображений, выбранные графическими инструментами или другими средствами (пороговая обработка). Области могут быть любой формы и обычно используются для извлечения статистики для классификации, создания масок и других операций. ENVI позволяет

выбирать любую комбинации полигонов, точек, полилиний, в качестве областей интереса. Области могут быть выделены и нарисованы в любом из окон. Области интереса могут быть выращены из смежных пикселей, которые находятся в пределах указанного порога ценности пиксела. Рис 2.4

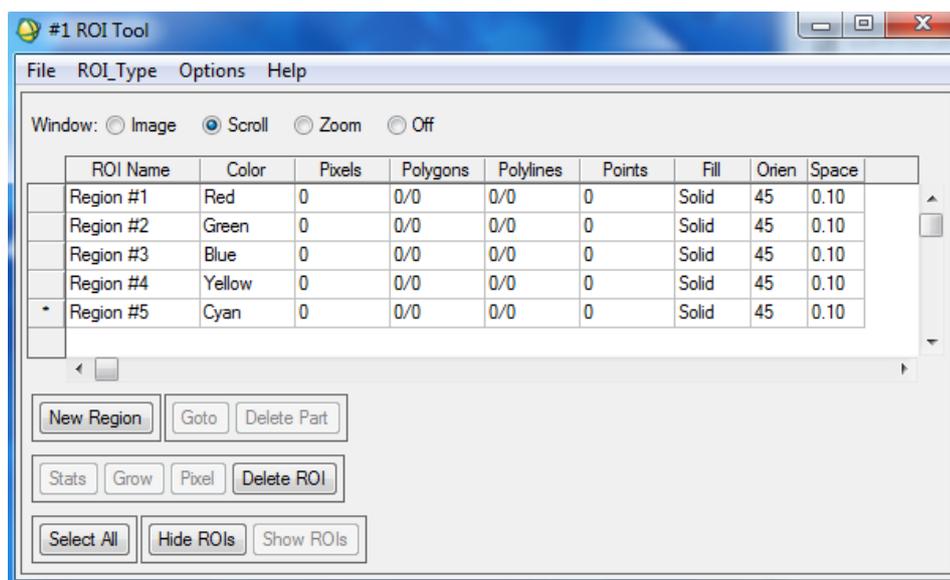


Рис 2.4. Окно инструментов ROI (ROITool).

Когда область интереса, в таблице появится ее описание, которое включает в себя имя, цвет области, число пикселей и другие свойства ROI. Рис 2.5

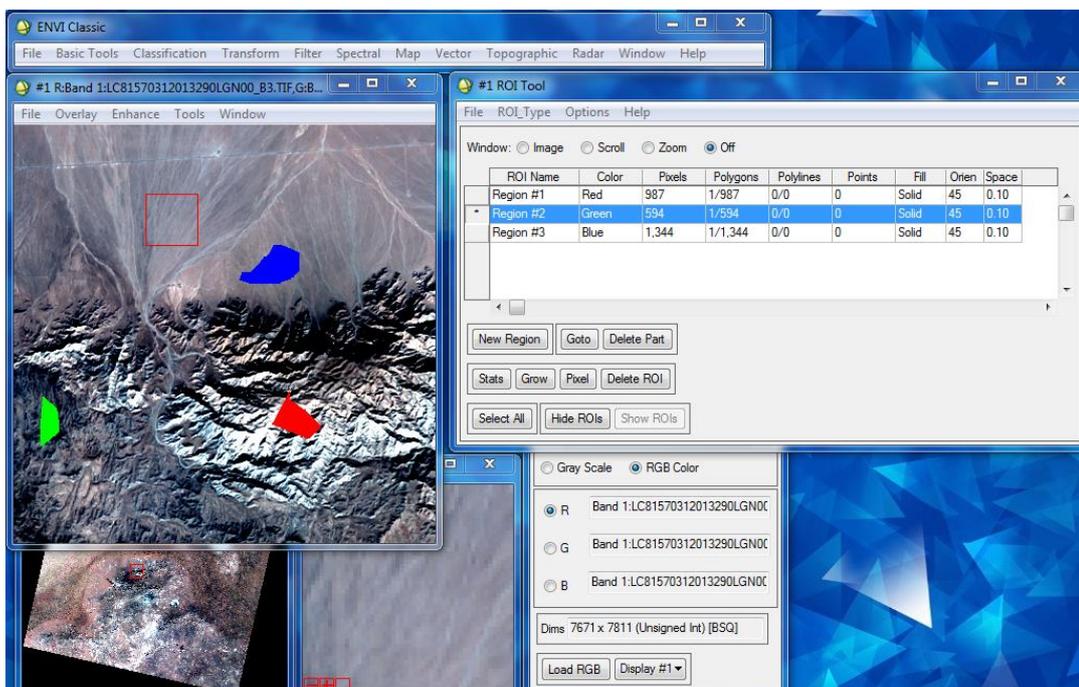


Рис. 2.5. Отображение ROI в стандартных окнах, свойства ROI.

Улучшающие преобразования. Для выполнения улучшающих преобразований, основанных на изменении яркости/контраста изображения необходимо визуализировать изображение. Рис. 2.6

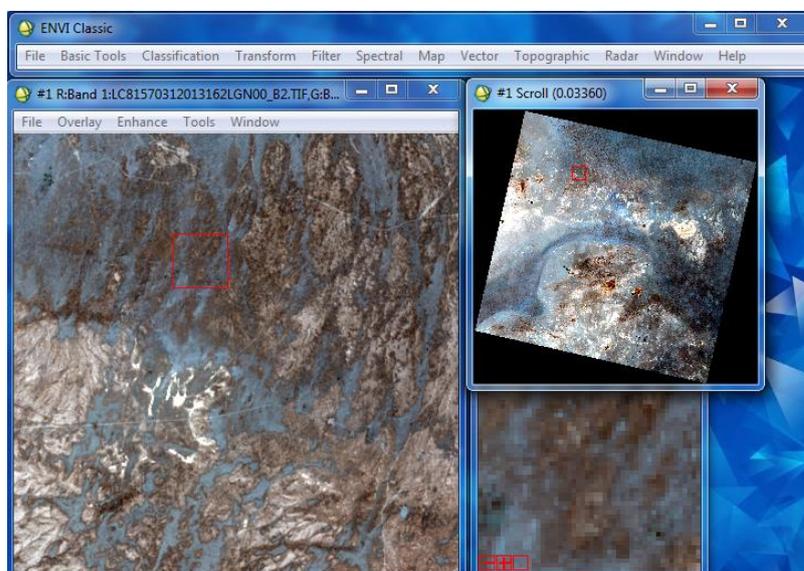
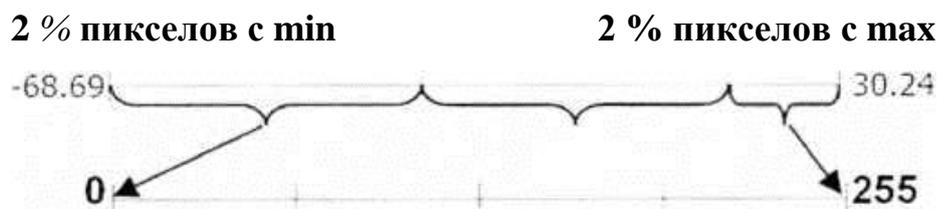


Рис 2.6. Отображение исходного изображения до выполнения улучшающих преобразований.

Как видно на рисунке снимок выглядит «засвеченным» из-за того, что по умолчанию (так прописано в настройках ENVI, которые можно изменить) все изображения, открываемые в ENVI открываются по

линейному 2% -ному закону распределения. При котором, отсекаются 2% пикселей с минимальными и максимальными значениями, а остальные пиксели растягиваются в диапазоне от 0 до 255. Рис 2.7

Диапазон отображаемых данных



Диапазон отображения данных на мониторе

Рис. 2.7. Пояснение линейного 2% закона распределения

Для выполнения улучшающих преобразований. Нужно зайти в меню **Enhance** окошка **Image** дисплейной группы. Далее нужно выбрать способ коррекции к изображению. При этом нужно учитывать, что при выборе того или иного закона распределения слева от него написано Image или Zoom или Scroll, что означает, что гистограмма изображения изменяется по фрагменту изображения, открытому в окошке Image или Zoom и по всему изображению, если выбирается Scroll. Рекомендуется использовать способы: {Image} Gaussian, {Image} Equalization или {Image} SquareRoot. Рис 2.8

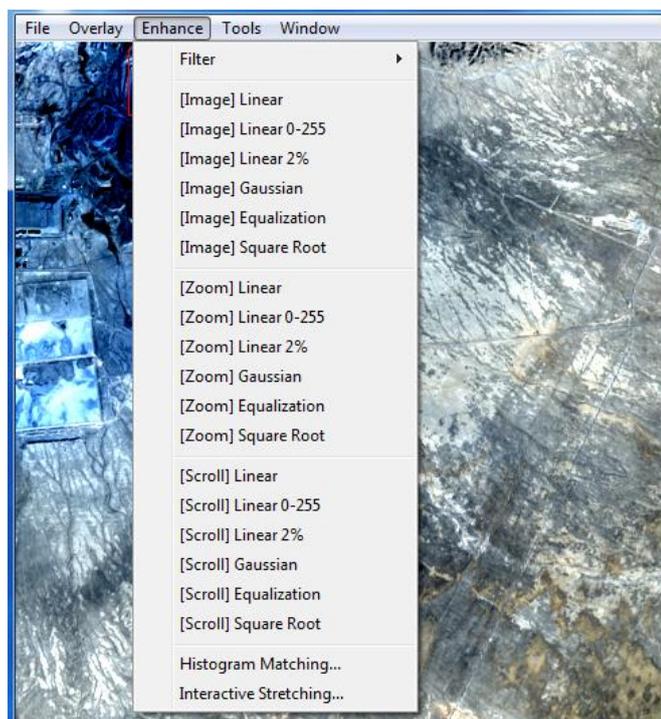


Рис.2.8 Меню Enhance

После того как результат, полученный на экране, Вас удовлетворит, нужно сохранить изображение

Связывание дисплеев (Link). Этот процесс предполагает, что данные загружены в два или несколько व्यюеров, что данные привязаны к одной системе координат или одинаково ориентированны. Начнем со связывания व्यюеров, в которые загружены взаимно ориентированные снимки. В ниспадающем меню Tools одного из व्यюеров открываем Link - LinkDisplays. После чего появится окно LinkDisplays. Рис 2.9

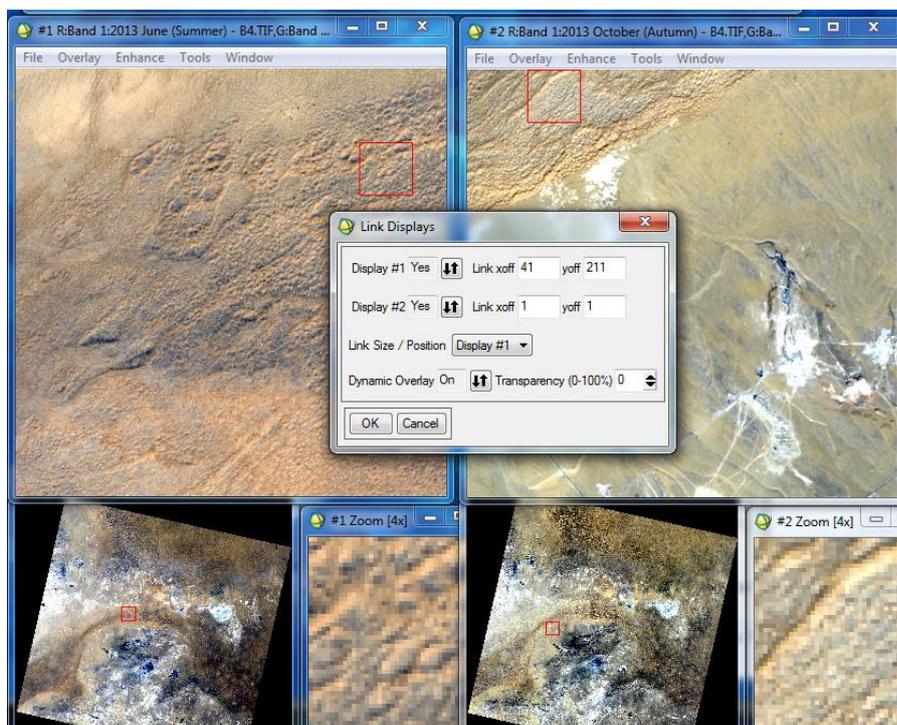


Рис. 2.9. LinkDisplays

Напротив связываемых вьюеров должно стоять обозначение Yes, а также значения Display#1 Linkxoffyoff и Display#2 Linkxoffyoff должны соответствовать строкам и колонкам того пикселя, по которому связываются два изображения. DynamicOverlay (Динамичное совмещение) - функция для более наглядного наблюдения изменений на снимках, позволяет посредством клика левой кнопки на одном из окон вьюера, быстро подгрузить изображение из другого вьюера, при этом можно регулировать прозрачность подгружаемого изображения.

Связывание дисплеев привязанных изображений выполняется по аналогии с предыдущим способом. В меню вьюера выбрать Tools - Link - GeographicLink. В окне GeographicLink напротив связываемых дисплеев должны стоять обозначения Yes.

Процедура выполнения алгоритма pan-sharpening (fusion). Процедура fusion или pan-sharpening это увеличение пространственного разрешения изображения с более низким пространственным разрешением (как правило, мультиспектрального) путём использования изображения с

более высоким пространственным разрешением (панхроматического изображения). В данном случае выполнение процедуры **fusion** показано на примере снимков, полученных со спутника Landsat 8. Рис 3.1

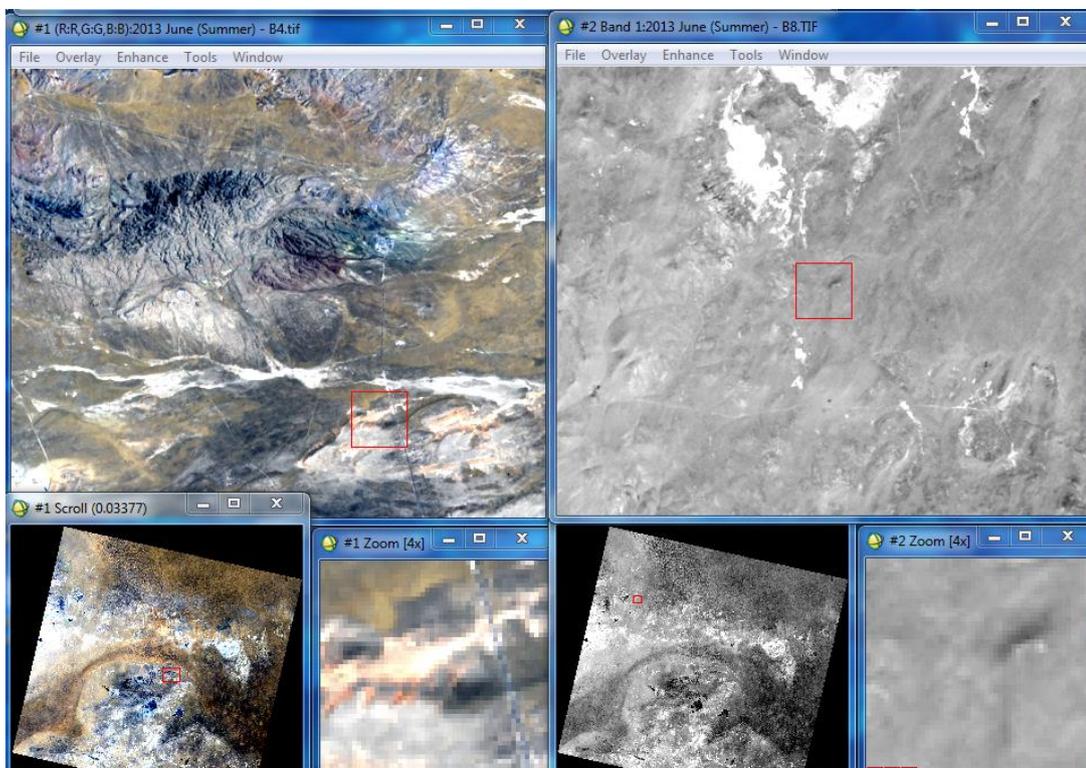


Рис.3.1. Левая часть 30м мультиспектральный снимок а правая часть панхроматический снимок 15м

Когда в окне SelectLowResolutionвыберем снимок с низким разрешением, в данном случае 30 метров, для highResolution 15м. При расчёте каждого пиксела нужно выбрать метод дискретизации изображения CubicConvolution. Рис 3.2

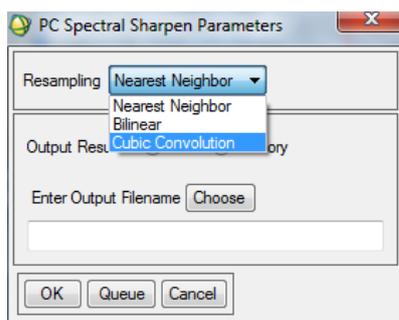
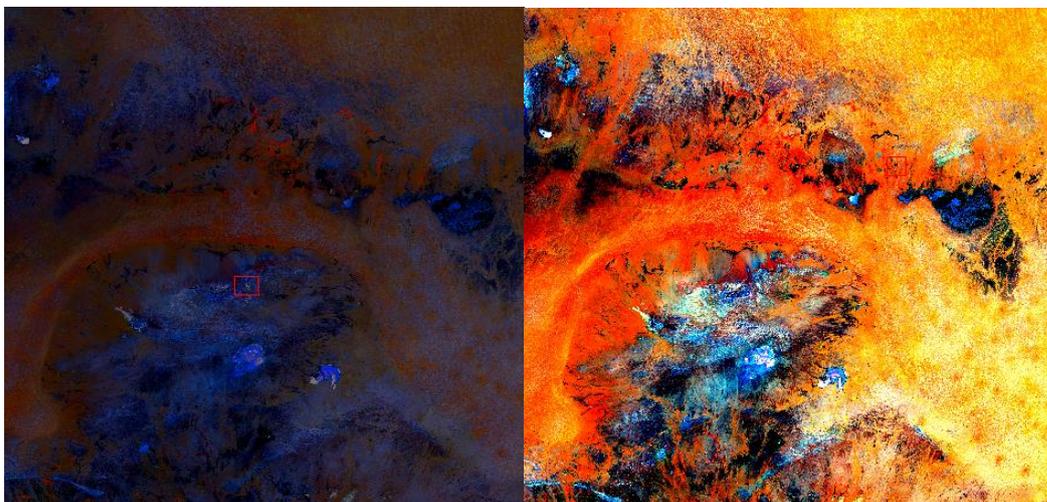


Рис.3.2 Выбор выходного файла и метода дискретизации изображения

CubicConvolution - кубической свёртки. В этом методе значение пикселя в новом изображении вычисляется как аппроксимация значений 16-ти ближайших пикселей, используя кубические полиномы. Рис 3.3



а) б)

Рис.3.3а) Результат алгоритм pan-sharpening. б) Алгоритм pan-sharpening с способом Linear 2%

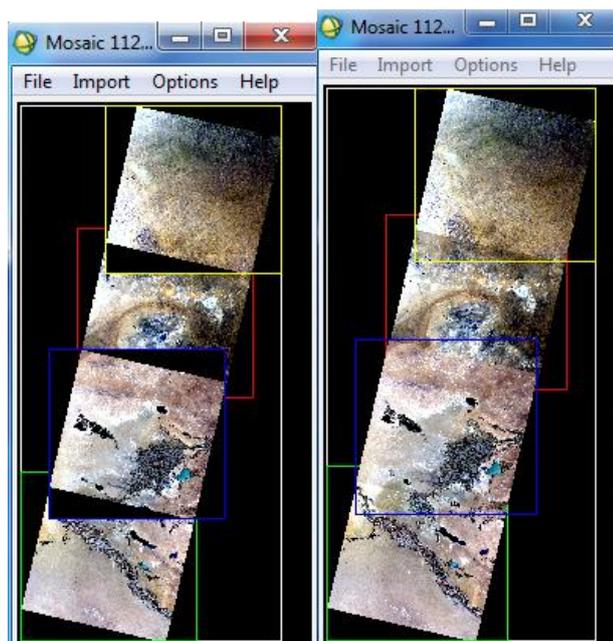
Создание мозаики. В программном комплексе ENVI есть инструмент для создания мозаики из двух или более изображений, имеющих перекрытие или из изображений, не перекрывающихся между собой (коллажи, например, для презентаций, иллюстраций и т.п.).

В основном меню нужно выбрать: Map>Mosaicking, далее для геопривязанных изображений, имеющих перекрытие необходимо выбрать Georeferenced, а для изображений, не имеющих геопривязки или не перекрывающихся между собой - PixelBased.

Так как, обрабатывая снимки, использующиеся в дальнейшем для точного позиционирования различных объектов, необходимо применять первый способ составления мозаики (т.е. Georeferenced).

ImportFiles или ImportFilesandEditPropertiesв первом случае,

изображения просто загружаются в окно диалога, согласно их геопривязке, а во втором случае, изображения загружаются с запросом параметров каждого изображения. В данном случае выбор способа импорта изображения не имеет значения. Можно сначала загрузить все изображения, используемые в составлении мозаики в окно диалога, расположить их по приоритету наложения, а затем ввести параметры каждого изображения. Рис 3.4



a)

b)

a) исходные снимки

b) мозаированные снимки

Рис.3.4. Меню мозаики

2.3 Свойства основных разделов ArcGis

Это онлайн географическая информационная система для повсеместного использования карт и географической информации — на персональных компьютерах, мобильных устройствах и в веб-браузерах. Различные типы клиентов могут подключаться через Интернет к ГИС-сервисам, предоставляя информацию от тысяч картографических и ГИС организаций по всему миру. Рис 3.5



Рис.3.5. ArcGIS общая связь с другими источниками

С системой можно работать из-под различных клиентов — настольных ГИС-приложений, веббраузеров и мобильных устройств, которые используются для подключения и работы с сервисами карт и географической информации. Поддерживаться эти сервисы могут по-разному:

- . На локальном компьютере (и как файлы на диске)
- . Публиковаться как веб-сервисы ГИС для использования в пределах предприятия
- . Публиковаться и находиться в общем доступе "в облаке"

Каждый ГИС-сервис может быть построен так, чтобы к нему могли получать доступ только участники определенной рабочей группы или организации; небольшого сообщества определенных пользователей или открыто через Интернет.

В ArcGIS есть интегрированная инфраструктура для обеспечения общего доступа к географической информации в виде файлов, многопользовательских баз геоданных и веб-сайтов.

ArcGISDesktop. Это программное обеспечение ArcGIS, с которым

работают ГИС-специалисты. Это мощное и всеобъемлющее программное обеспечение ГИС, работающее на компьютерах Windows и используемое в разнообразной повседневной работе с ГИС — для картографирования, компиляции и управления данными, пространственного анализа, а также создания карт и географической информации, которая будет обслуживаться и всеми использоваться. ArcGIS Desktop включает набор приложений - ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe, ArcScene, ArcToolbox и ModelBuilder. С их помощью можно выполнить любые ГИС-задачи, как простые, так и сложные. В ArcGIS Desktop эти приложения для создания и работы с различными типами географической информации. Например, документная карта в ArcMap, наносите их на глобус в ArcGlobe и строите модели геообработки с помощью ModelBuilder.

В ходе работы с ArcGIS Desktop можно работать с такими элементами геоинформации:

- Документы карты, документы глобуса и слои
- Базы геоданных
- Наборы инструментов геообработки
- Другие файлы данных, например, изображения

Компиляция и редактирование объектов. Слои карты можно использовать для получения новых ГИС-данных - редакторы используют карты для добавления и обновления объектов, которыми заполняют "пустые" слои карты. Новые данные добавляются в слои базы геоданных, связанные с картой.

Зачастую используются общие слои, на которых редактирование и сравнение выполняется несколькими пользователями. В таких случаях данные хранятся и управляются в многопользовательской базе геоданных. Рис 3.6

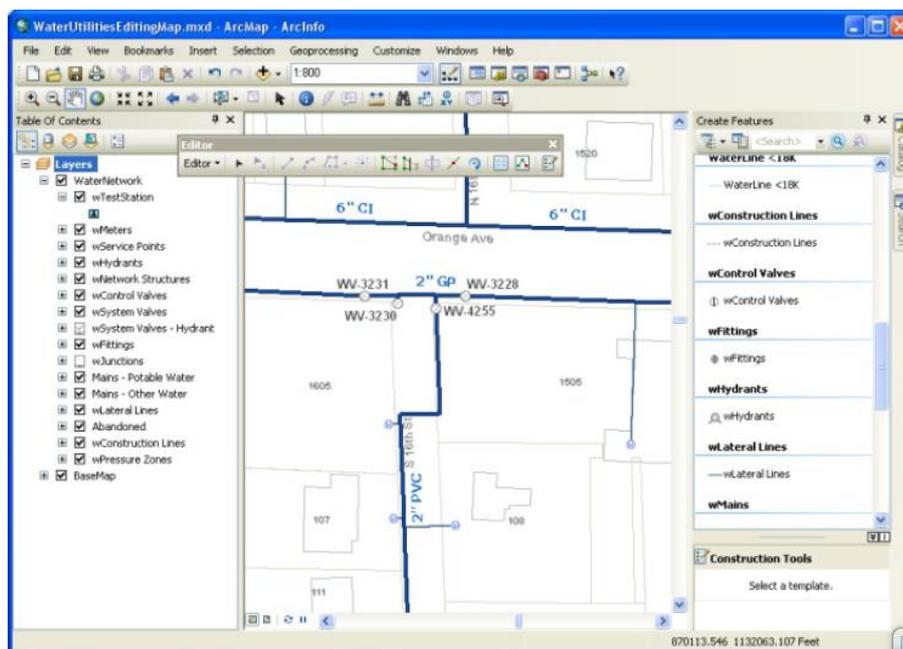


Рис.3.6. Создания и редактирования база данных

Некоторое количество специализированного ПО продаются как дополнительные модули к ArcGISDesktop. Каждый из них добавляет новые возможности работы, такие как геообработка растра, трехмерные ГИС, сетевой анализ

Ниже представлены короткие описания дополнительных модулей к ArcGISDesktop:

ArcGIS 3D Analyst

- ArcGlobe: Интерактивные3D сцены
- Виды глобуса в ArcCatalog
- Публикация глобусов в ArcGIS Publisher
- Инструменты моделирования 3D растров nTIN
- Публикация сервисов глобуса
- Наборы данных LIDAR и terrain

ArcGIS Business Analyst

- Поиск клиентов и складских помещений
- Анализ рынка

- Анализ времени в пути
- Демографические и бизнес-данные

ArcGIS Data Interoperability

- Непосредственное чтение, трансформация и экспорт любого формата данных
- Инструменты трансформации данных и прямого использования

ArcGIS Geostatistical Analyst

- Расширенные опции кригинга и моделирования поверхности
- Картографирование вероятностей, порога и ошибок
- Инструменты анализа пространственных данных

ArcGIS Network Analyst

- Анализ транспортных сетей
- Кратчайший путь, ближайший пункт обслуживания, размещение, маршруты
- Расширенное моделирование сетевых данных

ArcGIS Publisher

- Наборы разработчика (SDK) для настройки ArcReader
- Публикация картографических документов и документов глобуса для использования в бесплатном приложении ArcReader
- Упаковка и сжатие данных
- Дополнительное сжатие и блокировка данных

ArcScan для ArcGIS

- Редактирование растров, инструменты замыкания растров и трассировки
- Преобразование сканированных растровых данных в векторные

ArcGIS Schematics

- Множественные отображения схем
- Схематическое представление баз данных
- Отображение ГИС-сетей и таблиц в виде схем

ArcGIS Spatial Analyst

- Алгебра карт ArcGrid
- Дополнительные инструменты для работы с растровыми и векторными данными
- Пространственное моделирование

ArcGIS Tracking Analyst

- Работа с временными данными (объекты, геометрия или атрибуты которых изменяются во времени)
- Картографирование и визуализация с учетом времени
- Инструменты воспроизведения (воспроизведение, пауза, прямая и обратная перемотка)

Maplex для ArcGIS

- Усовершенствованное размещение надписей и механизм разрешения конфликтов для высоко-качественной картографической продукции
- Упрощается очень трудоемкий процесс размещения надписей
- Входит в ArcInfo.

Функциональные уровни. Существуют три уровня функциональных возможностей ArcGIS: Basic, Standard и Advanced.

Basic: На этом уровне предоставляется полноценный ГИС-сервер для управления пространственными данными. Он нацелен на организацию и управление географическими наборами данных с помощью технологии ArcSDE.

Standard: На этом уровне предоставляется полноценный ГИС-сервер для управления пространственными данными и картографирования. Он включает 2D картографию; 3D сервисы глобусов; и набор связанных объектов для веб-редактирования, геокодирования и маршрутизации. Все возможности уровня Basic входят и в Standard.

Advanced: Этот уровень предоставляет пользователям полноценный ГИС-сервер для управления пространственными данными, картографирования, 3D сервисы и редактирование, а также обширной геообработки, пространственного анализа и моделирования. Все

функциональные возможности уровней Basic и Standard входят и в Advanced

Возможности. ArcGIS Server может применяться на уровне рабочей группы (workgroup) или предприятия (enterprises) следующим образом:

- . **ArcGIS Server Workgroup:** Ограничен работой на одной машине и включает механизм поддержки баз геоданных
- . **ArcGIS Server Enterprise:** Работает на нескольких компьютерах и любых СУБД (SQL Server, IBM DB2, Informix, PostgreSQL или Oracle)
 - . Поддерживает неограниченное количество подключений к многопользовательским базам геоданных
 - . Содержит неограниченные возможности для хранения

Можно установить либо на одном сервере, либо распределить между несколькими серверами (для каждого из серверов нужна своя лицензия).

ArcGIS Online. У всех частей системы ArcGIS есть интегрированные функциональные возможности для работы в онлайн-режиме, а система включает онлайн-карты и географическую информацию. Можно искать, использовать и выкладывать в общий доступ информацию с помощью любого клиента ArcGIS. Возможность для каждой части системы ArcGIS использовать такую общую географическую информацию и содержимое. В общий доступ оно выкладывается благодаря облачной инфраструктуре ArcGIS

Мобильные ГИС. Среди основных веб-клиентов для любой информации, в том числе и для ГИС, стали мобильные телефоны и прочие используемые в полевых условиях устройства - Tablet PC и продвинутые GPS-приёмники для сбора данных. С ряда мобильных клиентов можно получить доступ и использовать ГИС в полевых условиях. Средства мобильных вычислений имеют важное значение, поскольку они позволяют вам перенести ГИС непосредственно в поле и напрямую взаимодействовать с окружающим миром. Мобильные ГИС возникли в

результате интеграции ряда технологий:

- ГИС

Мобильные устройства, такие как легковесные переносные компьютеры с усиленным корпусом

- GPS

- Беспроводные коммуникации с ГИС-доступом в Интернет

Раньше процесс сбора полевых данных и их редактирование занимали много времени и были чреваты ошибками. Географические данные приносились в поле в виде бумажных карт. Их редактирование проводилось путем вычерчивания упрощенных схем и внесения записей на картах или в блокнотах. По возвращению в офис эти правки расшифровывались и вручную вносились в базу данных ГИС. В результате, данные ГИС часто не являлись достаточно актуальными или точными, не всегда удовлетворяли предъявляемым к ним требованиям. А последующий ГИС-анализ и принятие решений затягивались или откладывались на некоторое время.

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ В УСЛОВИЯХ ГОРНОГО ЛАНДШАФТА

3.1 Тематическая обработка существующими методами

Космические снимки содержат подробную информацию о состоянии объектов на земной поверхности. Для дешифрирования снимков с целью получения новой информации используются специальные методы, которые можно назвать тематической обработкой. Тематическая обработка включает в себя различные процедуры, такие как анализ изображений, классификацию объектов и т. д. При визуальном дешифрировании снимков на них стараются выделить однородные группы пикселей, относящиеся к различным классам пространственных объектов. В отличие от этого, цифровая классификация заключается в том, чтобы на основе спектральной информации из различных диапазонов проанализировать каждый пиксел и отнести его к тому или иному классу. Этот тип классификации называют также распознаванием спектральных образов. В обоих случаях целью является распределение пикселей снимка по определенным классам объектов. Результирующее изображение является, по существу, тематической картой говоря о классификации, следует различать информационные и спектральные классы. Информационные классы — это те объекты, которые необходимо распознать на снимке: различные виды растительности, определенные геологические структуры, типы горных пород и т. д. В отличие от этого, спектральный класс — это группа пикселей, обладающих приблизительно одинаковой яркостью в некотором спектральном диапазоне. Одна из основных целей классификации состоит в том, чтобы совместить спектральные классы с информационными. Конечно, полное и взаимно однозначное соответствие между двумя типами классов наблюдается очень редко. Как правило, одному информационному классу соответствуют два или три спектральных, а некоторые выделенные спектральные классы вообще не соответствуют никаким объектам.

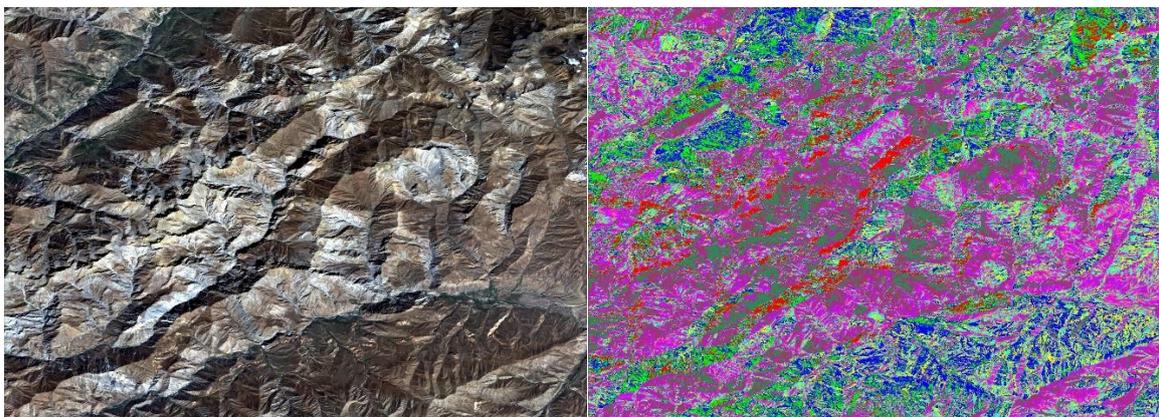
Выделяют два метода классификации — контролируемую и неконтролируемую. Для контролируемой классификации используют эталонные области, которые выбираются оператором в соответствии с их

принадлежностью к определенному информационному классу. При выборе этих областей оператор опирается на свое знание территории и расположенных на ней объектов. Таким образом, именно он контролирует разделение всех объектов на определенные классы. Значения пикселей эталонных областей в различных спектральных диапазонах используются в качестве обучающих выборок для настройки программы распознавания. В результате, для каждой области определяется эталон — совокупность спектральных признаков, задающих один класс пикселей на цифровом снимке. После этого каждый пиксель снимка относится к тому либо иному классу на основании последовательного сравнения со всеми созданными эталонами. Таким образом, при контролируемой классификации сначала определяются информационные классы, а затем соответствующие им спектральные.

При неконтролируемой классификации порядок действий — прямо противоположный: сначала, на основании только той информации, которая представлена в данных, выделяются спектральные классы, и лишь затем оператор пытается сопоставить их с реальными пространственными объектами. Группирование данных на первом этапе осуществляется с помощью программ кластерного анализа, при этом оператор обычно указывает, на какое количество групп (кластеров) можно, по его мнению, разделить весь набор исходных данных. Помимо этого оператор может указать критерии разделения различных кластеров и возможный разброс значений внутри каждого из них. Процедура разделения на кластеры является итерационной. На каждом этапе оператор может объединять или разделять определенные кластеры. Таким образом, несмотря на свое название, неконтролируемая классификация не является полностью автоматической. Вместе с тем, классы объектов в данном методе не определяются заранее, а выявляются в результате некоторой численной процедуры.

Если спектральные характеристики выделенных классов действительно различаются, результатом классификации становится тематическая карта. Рассмотрим в качестве предварительная обработка методами ISODATA и K-Means.

Алгоритм ISODATA использует минимальное спектральное расстояние, для определения соответствующего кластера (класса) для каждого пиксела. Процесс начинается с назначения случайного (приближенного) среднего значения кластера и повторяется до тех пор, пока это значение не достигнет величины среднего для каждого кластера исходных данных. (Рис 3.7). Начальные средние значения кластеров распределяются равномерно вдоль центрального вектора спектрального пространства. Отметим, что в программном комплексе ENVI для алгоритма ISODATA необходимо задать диапазон классов – минимальное и максимальное количество классов.



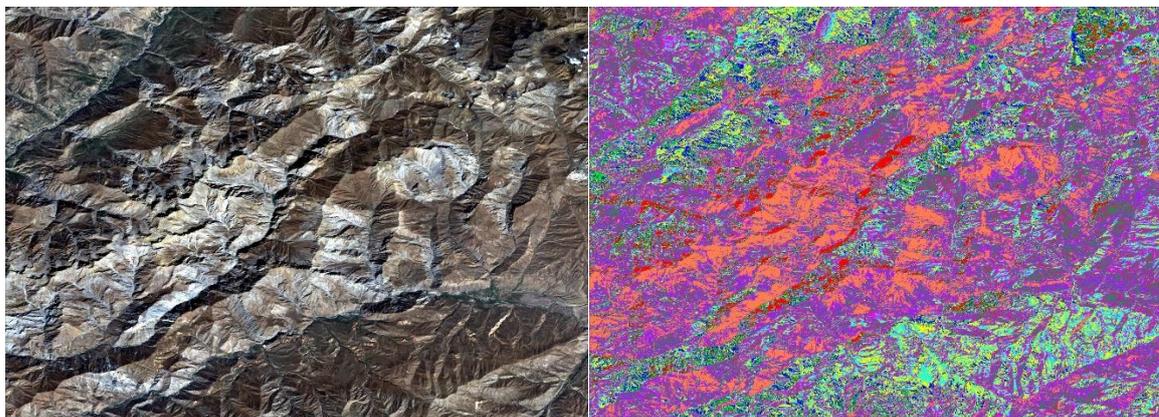
а) исходный снимок б) дешифрованный снимок

Рис. 3.7 Результат обработка методом ISODATA.

В течение первой итерации кластеризации пространство равномерно разбивается на области, центром каждой из которых являются средние значения кластеров. Пикселы анализируются с левого верхнего угла изображения к нижнему правому. Вычисляется спектральное расстояние между пикселом и средним значением кластера. Пикселы назначаются в тот кластер, где это расстояние минимально. После итерации рассчитывают реальные средние значения спектральных признаков по

полученным кластерам, т.к. их средние значения меняются в зависимости от преобладающих яркостей попавших в них пиксел. Затем выполняется вторая итерация, в процессе которой повторяют кластеризацию с новыми средними значениями и рассчитывают границы кластеров. После этого определяют новые средние значения и выполняют новую итерацию. В процессе второй итерации снова определяются минимальные спектральные расстояния между точками и новыми средними значениями кластеров, по окончании которой пикселы будут перераспределены

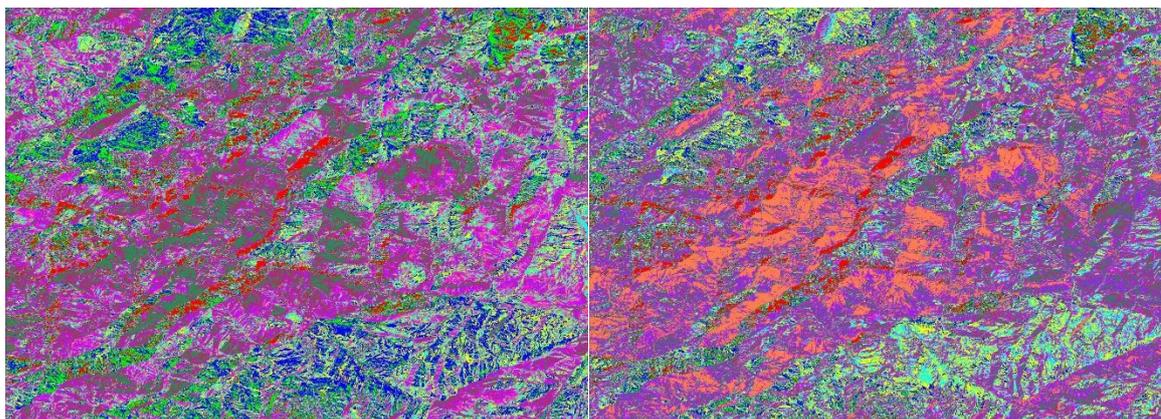
Классификации без обучения используют статистические методы, чтобы сгруппировать n - мерные данные в их естественные спектральные классы. K-Means - один из алгоритмов классификации без обучения (unsupervised classification), использует кластерный анализ, который требует, чтобы аналитик выбрал число групп (кластеров, clusters), которые будут выделены на данных, произвольно определяет местонахождение центров этих групп, затем многократно повторяет эту процедуру, до тех пор пока оптимальная спектральная отделимость (spectral separability) не будет достигнута. Рис. 3.8



а) исходный снимок

б) дешифрованный снимок

Рис.3.8. Результат обработки методом K-means



а) ISODATA б) K-means

Рис.3.9. Результаты обработки неконтролируемой классификации с различными алгоритмами

Главное отличие алгоритмов ISODATA и K-Means заключается в том, что на стадии инициализации алгоритма ISODATA происходит распределение пиксел, в то время как для алгоритма K-Means происходит распределение значений математических ожиданий.

Контролируемая классификация. Основана на использовании признаков объектов, принадлежность которых к определенному классу на местности известна (например, признаки объектов на эталонных участках).

При этом происходит сравнение значения яркости каждого пикселя с эталонами, в результате каждый пиксель относится к наиболее подходящему классу объектов. Контролируемая классификация
Важнейшими этапами контролируемой классификации данных дистанционного зондирования являются:

1. Выбор подходящего классификатора.
2. Выбор определенных областей в качестве эталонных.
3. Вычисление статистических показателей для обучающей выборки.
4. Проверка возможности разделения обучающей выборки для определения оптимальной комбинации спектральных каналов, которые будут использоваться для классификации.
5. Выбор подходящего алгоритма классификации.

6. Распределение пикселей по классам.

7. Оценка точности классификации.

Данная классификация является более точной по сравнению с неконтролируемой, и ее целесообразно проводить, когда заранее известно, какие объекты есть на снимке и что их количество незначительное (не более 30).

Среди алгоритмов данной классификации можно отметить следующие способы:

- параллелепипедов,
- минимального расстояния,
- дистанции Махаланабиса
- максимального правдоподобия.

Выбор алгоритма классификации определяется наличием априорной информации, качеством используемого снимка решаемой задачей.

Способ параллелепипедов применяют, когда области значения яркости объектов не пересекаются.

Это наиболее простой в использовании метод, заключающийся в отнесении пикселей изображения к эталонным классам, полученным в результате анализа гистограммы распределения яркости на изображении.

Поскольку область распределения значений спектральных признаков каждого из классов имеет четкие рамки, на снимке могут оказаться пиксели, не попадающие ни в одну из областей, так называемые неклассифицированные пиксели.

Способ минимального расстояния используют, когда спектральные признаки разных классов похожи и диапазоны значений их яркости перекрываются. Пиксель относится к тому эталонному классу, евклидово расстояние до центра которого в пространстве признаков минимально. При этом отсутствуют неклассифицируемые пиксели, так как в пространстве признаков каждый пиксель расположен ближе к средним

значениям признаков одного из классов. Метод также прост в вычислительном отношении.

Способ дистанции Махаланобиса отличается от способа минимального расстояния лишь тем, что в процессе классификации измеряется не эвклидово, а расстояние Махаланобиса, что позволяет учесть распределение (дисперсию) значений яркости пикселей в эталонных участках, однако требует больших временных затрат на вычисления по сравнению с первыми двумя способами.

Способ максимального правдоподобия рассчитывает вероятность, с которой данный пиксель принадлежит к какому-либо классу. Количество и параметры классов задаются пользователем путем указания обучающих выборок. Каждый пиксель относится к тому классу, к которому он может принадлежать с наибольшей вероятностью. При расчете вероятности учитывается яркость пикселя и яркость окружающих его пикселей. Данный способ имеет высокую точность, учитывает дисперсию значений признаков классов (как в решающем правиле расстояния Махаланобиса) и не оставляет неклассифицированные пиксели (как в методе минимального расстояния). Недостатком метода являются значительные вычислительные затраты.

При использовании **объектно-ориентированной классификации** не пытаются классифицировать отдельный пиксель, а сосредотачиваются на объектах изображения, которые получены путем предшествующей сегментации снимка.

Объекты оцениваются по их спектральным особенностям, форме и структуре. В дополнение к этому могут быть рассмотрены топологические связи отдельных объектов с их окружением.

При выполнении **строгой классификации** лишь одно значение класса присвоено пикселю. При **нестрогой классификации** пикселю может быть присвоено множество значений классов. При этом для каждого пикселя вычисляются функции членства, т.е. рассматривается

возможность принадлежности пикселя каждому классу.

Результат может быть преобразован в четкое изображение с помощью присвоения пикселю наиболее вероятного значения класса.

Субпиксельная классификация заключается в оценке состава смешанного пикселя с точки зрения пропорций классов земного покрова. Для снимков с низким разрешением этот метод не работает, так как гомогенный земной покров (например, как у воды) довольно нетипичен.

Оценка точности результатов нечеткой и субпиксельной классификации требует наличия нечетких или справочных данных подпикселя, которые очень трудно получить. На сегодняшний момент это открытая проблема в области геоинформатики.

В последнее время на передний план выдвигаются также исследования, направленные на автоматизацию деятельности высококвалифицированных специалистов по дешифрированию снимков путём создания экспертных систем, имитирующих работу экспертов.

Экспертная классификация может быть представлена в форме правила: если - «условие», тогда - «вывод».

Подобным образом могут быть построены сложные комбинации правил, называемые базой знаний. Данный метод может быть применен как на пиксельном, так и на объектном уровне классификации.

Качество классификации при этом увеличивается пропорционально количеству имеющейся экспертной информации.

Экспертная классификация больше похожа на ГИС-анализ, чем на традиционную классификацию данных ДЗЗ. Программное обеспечение использует подход, основанный на применении правил и переменных, определенных пользователем, и различные комплексные источники информации (растровые снимки, векторные слои, графические модели, внешние программы и т.д.).

Этот подход подобен логике и структуре графических моделей и

обеспечивает лучшую структуру анализа сложных правил и решений. Экспертный классификатор состоит из ветвей дерева решений: гипотезы, правил (одного или нескольких) и условий.

Метод искусственных нейронных сетей (ИНС) является «черным ящиком» для распознавания образов.

Этот метод возник в попытке смоделировать логику человеческого мышления. Название «нейронная» используется по аналогии с человеческим мозгом (сетью нейронов), важнейшей особенностью которого является способность к обучению.

Определение классов при использовании ИНС напоминает определение экспертных правил, однако ИНС строит эти правила неопределенным способом.

Прежде чем ИНС сможет выполнить задачу распознавания образов, она должна обучаться с использованием соответствующего набора данных. Преимуществами нейронных сетей являются их нелинейность, возможность работы с комплексными данными (оптическими, радарными, ГИС-слоями, цифровыми моделями рельефа), отсутствие необходимости определения правил. Недостатки - трудность обучения, невозможность управлять внутренним процессом («черный ящик»), а также делительные вычисления.

Постклассификационная обработка (PostClassificationProcessing). Любое классифицированное изображение нуждается в постобработке, в ходе которой оценивается точность классификации, объединяются близкие классы, производится генерализация изображения для получения растровой или векторной карты

- Class Statistics
- Change DetectionStatistics
- Confusion Matrix
- ROC Curves
- Generate Random Sample

- Majority/Minority Analysis
- Clump Classes
- Sieve Classes
- Combine Classes
- Overlay Classes
- Buffer Zone Image

3.2. Усовершенствованная методика обработки цифровых КОСМОСНИМКОВ

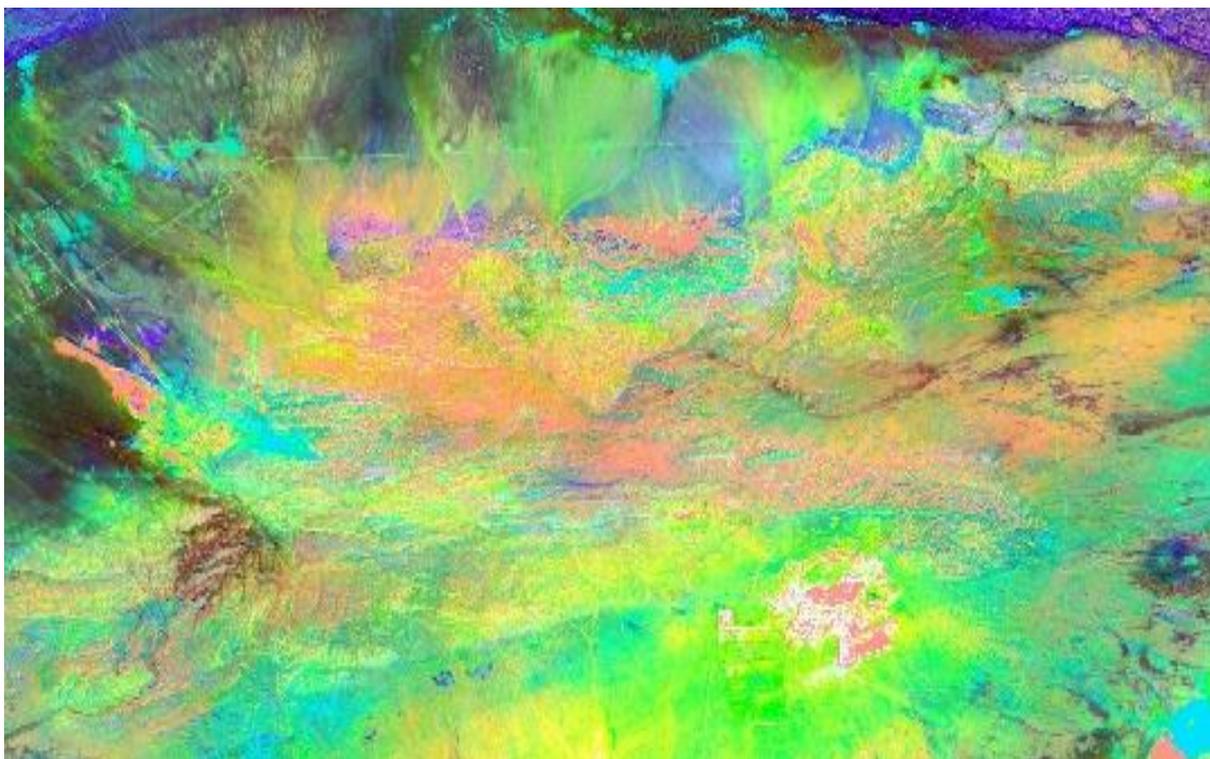
3.2.1. Анализ главных компонент.

Principal Components Analysis (PCA)

Данные в различных спектральных диапазонах часто коррелируют между собой, поскольку в них содержится во многом одна и та же информация. В этом процессе уменьшение размерности набора данных и переходе к меньшему количеству новых каналов.

Процедура преобразования состоит в том, чтобы распределить максимальное количество информации из исходных данных по минимальному числу новых компонент. Например, данные, полученные в семи спектральных диапазонах сенсора ТМ (*Thematic Mapper*) можно преобразовать так, что 90% всей исходной информации будет содержаться в трех первых главных компонентах. Такой набор данных существенно проще анализировать и интерпретировать. Метод главных компонент и другие методы преобразования данных используют для улучшения видимого качества снимков и для уменьшения числа каналов при анализе изображений с помощью численных методов классификации. Важным свойством преобразования к главным компонентам является то, что исходный набор коррелированных данных преобразуется в набор некоррелированных данных. В многопараметрическом пространстве исходный выбор координатных осей определяется каналами регистрации.

Результаты обработки методом PCA позволили выявить различные типы горных пород, включая современные образования и соленосные участки, а также ореолы распространения растительности. Рис. 4.1



	Габбро, габро-диабазы, отвалы карьерой и востохранилища
	Гранодиаритовой комплекс (алтынтауская свита)
	Растительность, урбанизация
	Четвертичные отложения
	Солончак
	Отложения палеогена

Рис.4.1. Результат обработка методом PCA. Горные регионы Навоинской области

3.2.2. Определения линеаментов

Развитие методов ДЗ существенно изменило содержание терминов "разрывное нарушение" и "разлом". В практике космогеологических работ разрывные нарушения и разломы являются элементами более широкого понятия "линейные объекты дешифрирования" (или "линеаменты"). Последние, кроме разрывов со смещением и разломов глубинного типа,

объединяют линейные деформационные структуры, включающие трещины, зоны трещиноватости и проницаемости, ландшафтно-выраженные погребенные линейные разделы различного типа и др. Значительную часть линейных объектов можно обнаружить только на обзорных дистанционных изображениях, где они генерализуются из множества малозначащих деталей геологического и геоморфологического строения. Коротко остановимся на дешифрировании на космических изображениях разрывов со смещением.

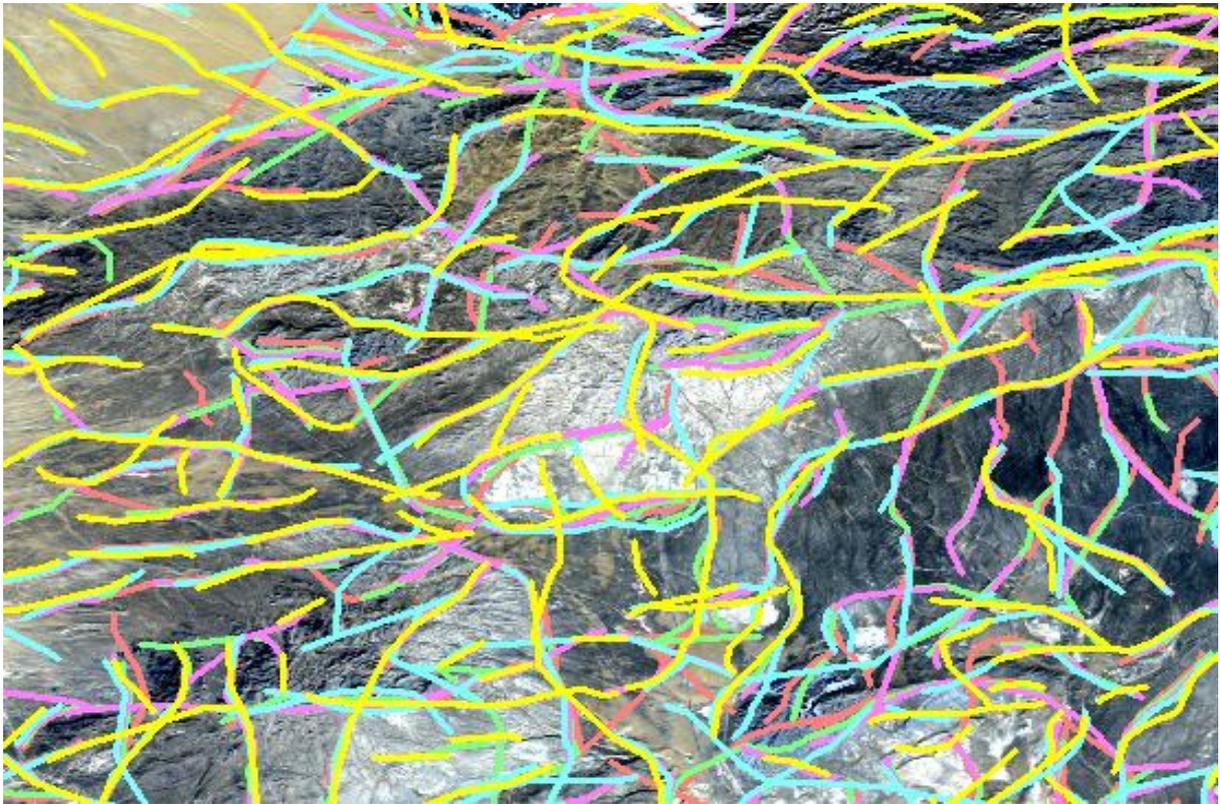
Выявление смещений геологических границ по разрыву зависит от кинематики разрывов и их ориентировки по отношению к генеральной тектонической зональности. Наименьшие смещения могут быть обнаружены по разрывам сдвиговой кинематики, поперечным или диагональным по отношению к складкам или моноклиналям. На снимках детального и локального уровня обнаруживаются сдвиги амплитудой в первые десятки метров. Достаточно четко обнаруживаются сдвиги в гранитных и других изверженных породах.

В программном продукте Geomatics существуют специальная функция которая определяют линеаментов. Алгоритм линеамент состоит из трех этапов. Первый, обнаружения краев и их получения градиентного изображения. Второй, определение порога градиентного изображения, чтобы создать двоичный края изображения. В конце линейные характеристики извлекаются из двоичного края изображения. Последний шаг содержит много подэтапы, истончение края, кривая обрезка, кривой рекурсивного сегментации, и связывания кривой близости.

Данный алгоритм было применено на космоснимке Landsat 8 исследуемой территории. Линеаментный анализ проведённый с использованием современных программных средств позволил автоматизированным образом выявить линеаменты для каждого канала мультиспектрального космоснимка. После многочисленных апробаций с изменением параметров алгоритма линеаментного анализа, линеаменты по

каждым каналам совмещены в единой схеме.

Результат линеаментного анализа приведен в рисунке 4.2



Цвет линий	Спектральный канал	Длины волн
	Канал 2 — Синий (Blue)	0.450 — 0.515 мкм
	Канал 3 — Зеленый (Green)	0.525 — 0.600 мкм
	Канал 4 — Красный (Red)	0.630 — 0.680 мкм
	Канал 5 — Ближний ИК (NIR)	0.845 — 0.885 мкм
	Канал 6 — Ближний ИК (SWIR)	2.1560 — 1.660 мкм

Рис. 4.2. Линеаменты, выявленные при анализе мультиспектральный космоснимок Landsat 8. Гор Тамдытай

Из рис42 видно, что выявлены многочисленные линеаменты разного порядка и направления, при этом в результате совмещение ориентации линеаментов совпадают друг другу. С такими совпадениями,

выявленные линейные элементы можно считать достоверными и большинство из них картированы в существующих картах.

Таким образом, применяемая методика и усовершенствованный алгоритм линейного анализа можно использовать при геологоструктурном картировании по космоснимкам.

3.2.3. Вегетационный индекс (ВИ)

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее спектрально отражательными способностями позволяют использовать аэрокосмические снимки для картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния.

Для работы со спектральной информацией часто прибегают к созданию так называемых «индексных» изображений. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов.

ВИ - показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данных дистанционного зондирования, и имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. Эффективность ВИ определяется особенностями отражения; эти индексы выведены, главным образом, эмпирически.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках

кривой спектральной отражательной способности растений (рис. 4.3).

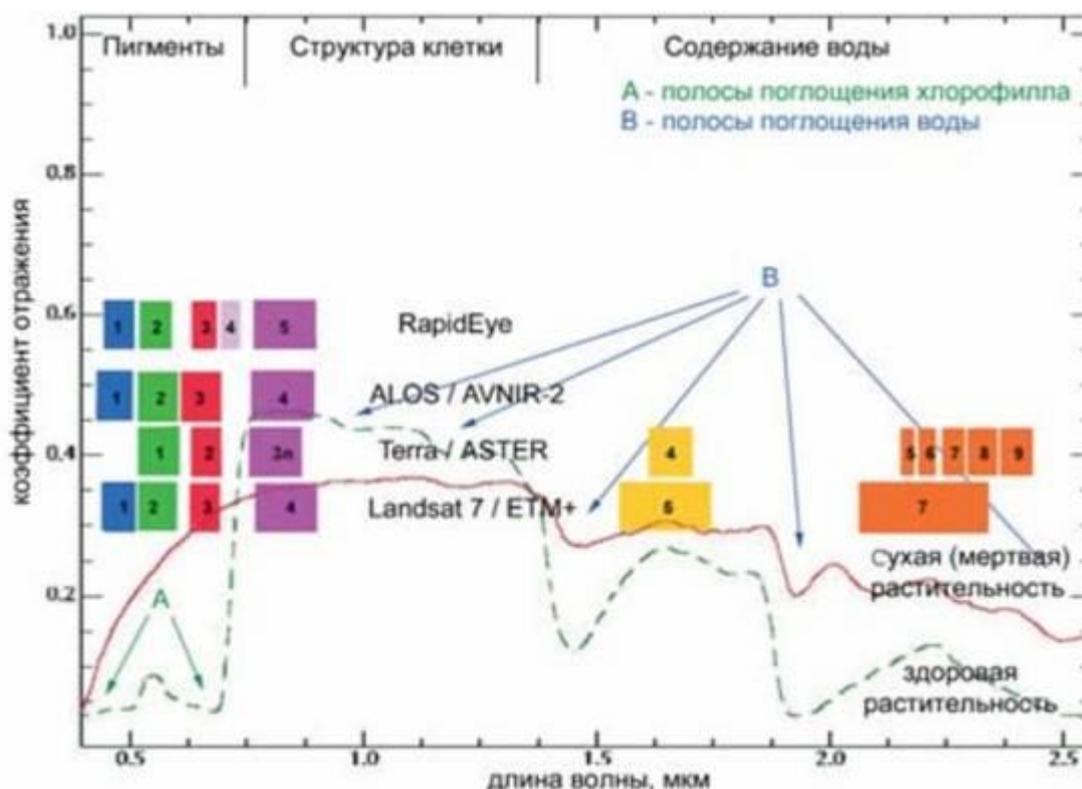


Рис 4.3. Индексы сгруппированы в категории по свойству растительности, которое они характеризуют:

На красную зону спектра (0,62 - 0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75 - 1,3 мкм) максимальное отражение энергии клеточной структурой листа т. е. высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фитомассой растительности) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Как это хорошо известно, отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов.

При обработке космических снимков в программном комплексе ENVI имеется специальный калькулятор вегетационных индексов ENVI (калькулятор ВИ ENVI), который позволяет рассчитать 27 вегетационных индексов, используемых для оценки состояния растительности,

содержания пигментов, азота, углерода, воды. По снимкам, где есть только красная и ближняя инфракрасная спектральные зоны, программа предложит рассчитать два индекса – NDVI и RVI. При работе с гиперспектральным снимком будет предложен расчет всех 27 индексов.

Наиболее популярный и часто используемый индекс - **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** – **нормализованный разностный индекс растительности**, впервые был описан Rouse B.J. в 1973 г. – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова.

Индекс вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

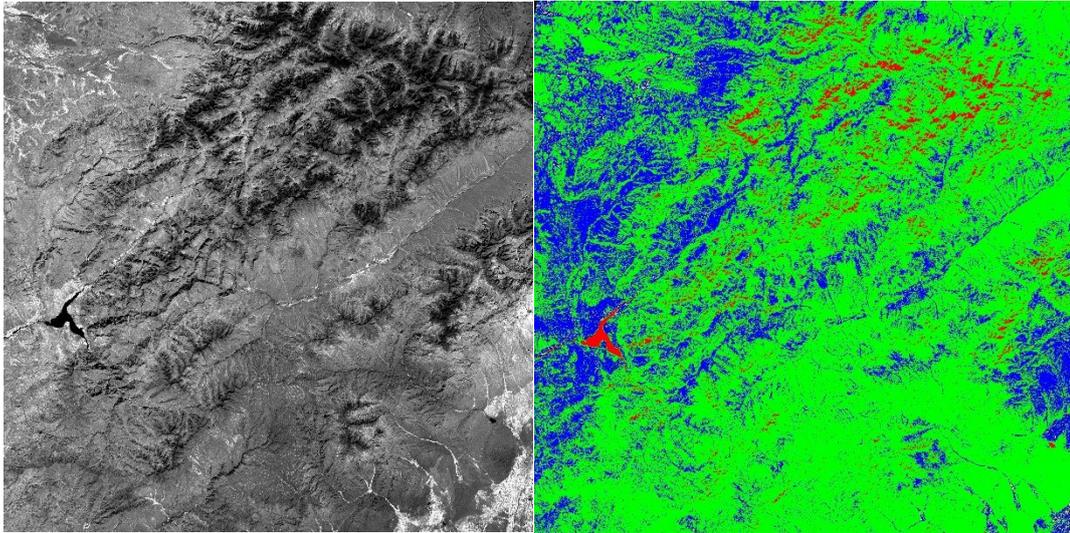
Где.

NIR- коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра;

RED - коэффициент отражения в красной области спектра.

В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов. Они подбираются экспериментально (эмпирическим путем), исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв.

Для количественные оценки растительного покрова горных участков Ташкентского региона произведена обработка NDVI по вышеописанному методике (рис. 4.4). В результате получена снимка с выделением уровень распространения растительности данного региона (синий цвет), поверхность непокрытый растениями (зеленый цвет), вода (красный цвет).



а) исходный снимок NDVI б) После обработки

Рис.4.4. Результаты обработки нормализованного разностного индекса растительности. Горные регионы Ташкентской области

3.2.4. Измерение температура поверхности земли.

Появление и совершенствование новых видов космической съемки: тепловой съемки в дальнем инфракрасном диапазоне спектра и пассивной радиолокационной съемки, привело к решению задач автоматизированного геотемпературного и влажностного картографирования земной поверхности. Развитию программных продуктов, искусственных спутников и их снимки привели упрощению обработки космоснимки.

Измерение температура поверхности земли с помощью программы ENVI 5.1 2014 и космоснимок Landsat 8 осуществляется определенную обработку, включающую радиометрическую коррекцию и масштабирование полученных значений на шкалу возможных значений яркости элемента изображения. Эти данные зависят от радиометрического разрешения матрицы (количества уровней яркости) и представляют собой, таким образом, значения пропорциональные количеству приходящей радиации (т.н. DN - digital numbers). DN - те значения, которые полученный снимок. Чем больше радиометрическое разрешение матрицы, тем больше диапазон значений, который может принимать преобразованный из

излучения сигнал, для камеры MSS этот диапазон - 0..63 (26, 64 возможных значения), для TM (ETM+) - 0.255 (28, 256 возможных значений), что говорит о ее более высоком радиометрическом разрешении.

Значения DN безразмерны и пропорциональны количеству восходящего излучения и излучения попадающего на сенсор, которое измеряется в следующих единицах:

$$\frac{W}{m^2 \cdot ster \cdot \mu m}$$

то есть: поток энергии (ватт) на квадратный метр земной поверхности на один стерадиан (трехмерный угол от точки на поверхности Земли к сенсору) на единицу измеряемой длины волны.

Перед тем как запустить прибор в космос на земле определяется соотношение между DN и измеряемым потоком энергии. Этот процесс носит название калибровки сенсора.

В большинстве операций по обработке данных дистанционного зондирования (например при классификации изображения) использовать истинные значения излучения не обязательно, вполне достаточно значений масштабированных значений DN. Однако, когда в операции используются одновременно данные из нескольких разных источников, например для анализа изменений (changedetection), следует понимать, что разные камеры калибруются по разному и свести эти данные полученные с них к единому знаменателю. Это достигается зачёт перевода данных из DN в реальные значения приходящего излучения с помощью специальных формул.

Основная формула, используемая для пересчета:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \cdot (Q_{cal} - Q_{cal\ min}) + L_{min\lambda}$$

где, L_λ — количество приходящего излучения L_{min} — количество приходящего излучения которое после масштабирования становится Q_{min} L_{max} — количество приходящего излучения которое после масштабирования становится Q_{max} Q_{calmin} — минимальное калиброванное значение DN (0 или 1) Q_{calmax} — максимальное калиброванное значение DN (255) Q_{cal} — калиброванное значение (DN) Параметры которые нужно подставить в уравнение обычно распространяются с самими данными Landsat.

Преобразование яркость температуры в At-Satellite. Для Landsat 8 Данные TIRS (Thermal Infrared Sensor) группы могут быть преобразованы из спектрального излучения для яркостной температуры с помощью тепловых констант, приведенные в файле метаданных (Рис 4.5):

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

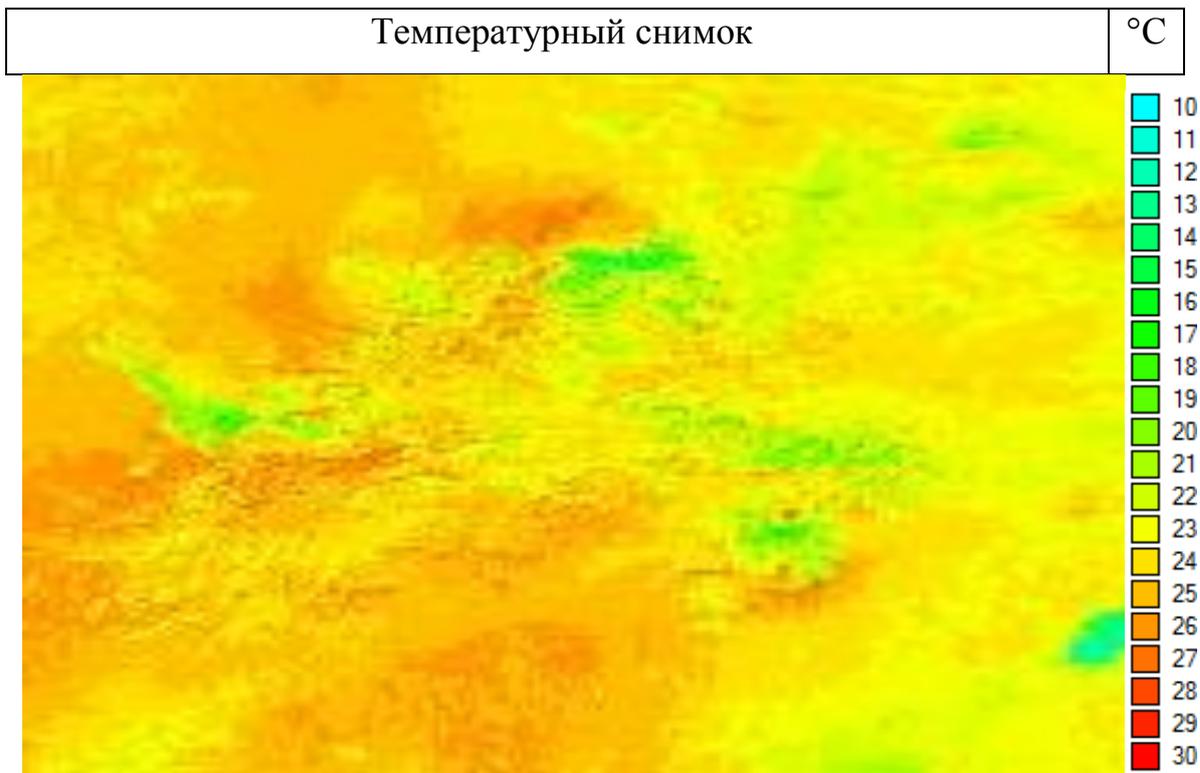
Где:

T = яркостная температура спутника

(K) L_λ = TopOfAtmosphere (TOA) спектральное сияние ($Вт / (м^2 * Srad * мкм)$)

K_1 = Постоянный удельный канал преобразования паспорта снимка ($K_1_CONSTANT_BAND$ номер канала, 10 или 11)

K_2 = Постоянный удельный канал преобразования паспорта снимка ($K_2_CONSTANT_BAND$ номер канала, 10 или 11)



*Рис.4.5. Результат обработка изменения температуры поверхности
Земли гор ТамдитауНавоинскойобласти*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний момент накоплен огромный массив данных, который постоянно пополняется новыми снимками различных космических систем и позволяет решать широкий круг задач при исследовании и мониторинге земной поверхности.

Диссертационная работа выполнена с использованием современных программных продуктов для обработки цифровых космических снимков с целью апробации и усовершенствовании методики обработки космоснимки горных областей. В результате проведенных исследований для горных областей выбраны наиболее оптимальные методы обработки космоснимков с определением подходящего параметра обработки.

По результатам проведенных работ можно сделать следующие основные выводы:

- результат обработки методом PCA даёт возможность картировать разнотипные горные породы, уровень покрытия растениями и др., которые окрашиваются в разные легко отличимые тона.

- вегетационный индекс - NDVI позволил изучить ореолы распространения растительного покрова. Результат индекса можно использовать для изучения и мониторинга растительности.

- применяемая методика и усовершенствованный алгоритм линеаментного анализа по разным каналам Landsat 8 можно использовать при геологоструктурном картировании по космоснимкам.

- рассчитанный температурный снимок поверхности Земли позволяет определить температурный разность в различных объектах, связанных с физико-химическими свойствами и могут быть использованы при поиске урановых месторождений и месторождения нефти и газа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нурхўжаев А.Қ. Космик маълумотлардан фойдаланиб табиий муҳитнинг экологиясини тадқиқ қилиш. Илм.мақ.тўпл. Тошкент.1993.138б
2. Нурхўжаев А.Қ. Янги ва ҳозирги замон тектоник ҳаракатларининг экологик шароитга таъсирини космик суратлар ёрдамида баҳолаш. Номзодликдисс.автореф. «Университет». 22 б
3. Книжников Ю.Ф. и др. Применение многозональной аэрокосмической съемки в исследованиях береговой зоны//Береговая зона моря. Сб. статей. АН СССР. Комиссия по проблемам Мирового океана. — М.: Наука, 1981.
4. Асадов А.Р. Анализ и специфическая обработка цифровой модели рельефа Центральных Кызылкумов. Вестник НГМК. №2, 2008.
5. Асадов А.Р. Обработка цифровых спутниковых изображений методом сегментации. Вестник ТашГТУ. № 2, 2008.
6. Асадов А.Р. Изучение геоморфологии вещественных комплексов дистанционными методами «SPOT» и «Landsat TM» // Материалы Международной научно-технической конференции «Узгеоинновация-2010». Ташкент. 2010.
7. Табиий офатлар ҳосил бўлиш таснифи аҳоли ва ҳудудларни муҳофаза қилиш қоидалари. Анварбек Нурхўжаев, Самандар Ҳикматуллоев
8. Замятин А.В., Марков Н.Г. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
9. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие. – М.: Логос, 2001.
10. Космическое землеведение. Под ред. Садовничего В.А. – М.: МГУ, 1992.
11. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов/ Пер. с англ. – М.: Мир, 1978.

12. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.
13. Эргашев Ш.Э, Асадов А.Р. Методические рекомендации по использованию дистанционных съемок. Ташкент. ИМР. 2001. с.224.
14. Эргашев Ш.Э., Асадов А.Р. Методическое пособие по использованию материалов дистанционных съёмок. Ташкент: ИМР. 2001. – 202 с.
15. Ввод и обработка данных дистанционного зондирования: Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Ввод и обработка данных дистанционного зондирования» для студентов V курса, обучающихся по специальности 230201 «Информационные системы и технологии», специализации «Геоинформационные системы» / сост. О.С. Токарева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011.
16. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005.
17. Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений / Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Научный мир, 2003.
18. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. – М.: Техносфера, 2006.
- Аковецкий В.И. Аэрокосмос и ноосфера. М.: Недра, 1989
19. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. Основы и методы дистанционных исследований в геологии. — М.: Мир, 1988
20. Гарелик И.С., Грин А.М., Цветков Д.Г. Аэрокосмические полигоны, задачи исследований и состав наземных наблюдений/Космические исследования земных ресурсов. Методы и средства измерений и обработки информации. — М.: Наука, 1976

21. БарретЭ., КуртисЛ. Введение в космическое землеведение. — М.: «Прогресс», 1979
22. РомашовА.А. Основные вопросы комплексирования материалов аэрокосмических съемок и геолого-геофизических исследований при нефтегазопроисковых работах. Дистанционные исследования при поиске полезных ископаемых. Новосибирск. — М.: Наука, 1986.
23. Сайт геологической службы США // <http://usgs.gov>
24. Архив космических снимков со спутников Landsat
<ftp://ftp.glcf.umiacs.umd.edu/glcf/Landsat/>
25. Журнал «Геоматика» // <http://www.geomatica.ru>
26. Сайт неформального некоммерческого сообщества специалистов в области ГИС и ДЗЗ // <http://gis-lab.info>
27. Сайт компании ООО "ДАТА+" // www.dataplus.ru
28. Сайт компании «Совзонд» // <http://sovzond.ru>
29. Сайт Инженерно-технологического центра «СканЭкс» // <http://scanex.ru>
30. Сайт Космоснимки // <http://www.kosmosnimki.ru>