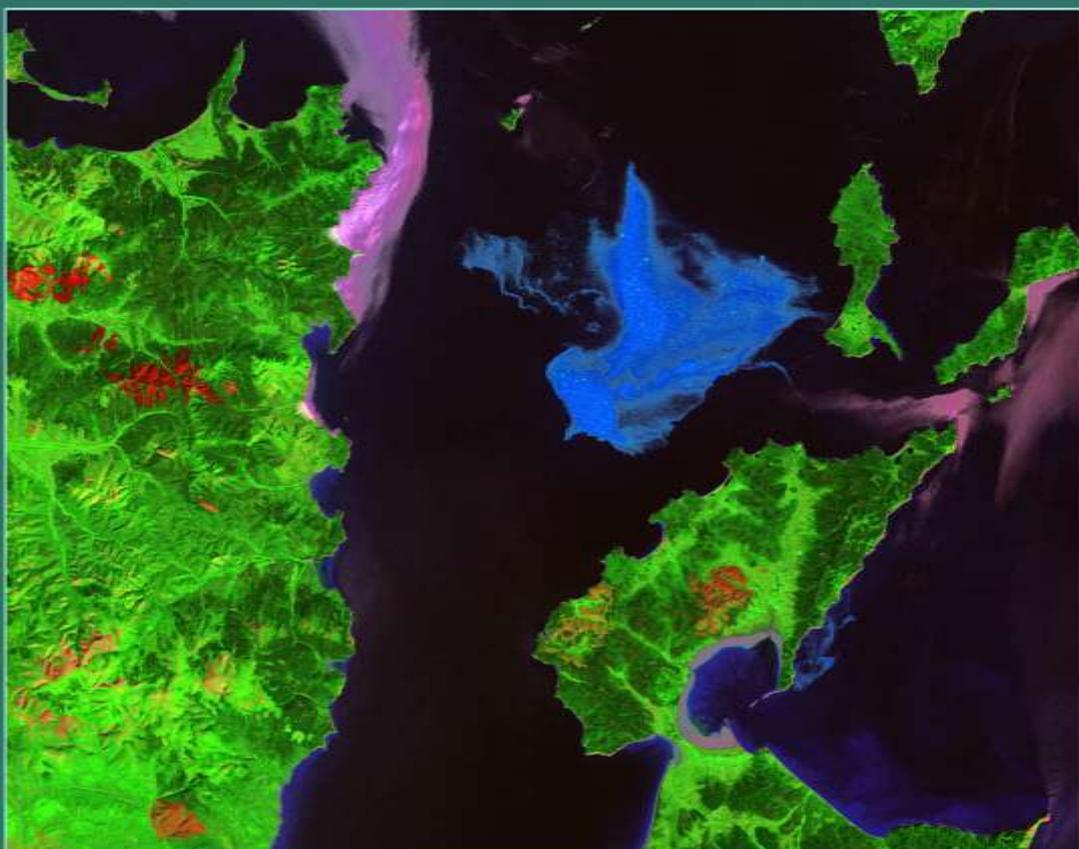


И. А. Лабутина, Е. А. Балдина

**ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ
«ДЕШИФРИРОВАНИЕ
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ»**



ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ
2013

УДК 528.7(075.8)

ББК 26.12я73

Л12

Рецензенты: д-р геогр. наук В. И. Кравцова
канд. геогр. наук О. В. Останин

*Печатается по постановлению
Ученого совета географического факультета
Московского государственного университета
имени М. В. Ломоносова*

Лабутина И. А., Балдина Е. А.

Л12 **Практикум по курсу “ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРО-
КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ”:** Учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2013. 168 с.

ISBN 978–5–89575–218–0

Учебное пособие содержит практические работы по географическому дешифрированию, предваряемые кратким изложением теоретических вопросов, необходимых для их выполнения. Изложены подходы к выбору съемочных материалов и охарактеризованы использованные в заданиях снимки как в видимом и ближнем инфракрасном, так и в тепловом инфракрасном и радиоволновом спектральных диапазонах. Включены задания по визуальному тематическому дешифрированию аэрофотографических и космических снимков с разным пространственным и спектральным разрешением, основным операциям компьютерной обработки космических снимков и методическим приемам изучения динамики географических объектов по разновременным снимкам. Дано также описание структуры и содержания основных этапов учебной полевой практики по дешифрированию аэрокосмических снимков.

Для студентов, обучающихся по направлению «Картография и геоинформатика». Для географов, экологов и других специалистов, использующих в работе аэро- и космические снимки, в первую очередь по специализации «Геоморфология» и по направлению «Экология и природопользование».

УДК 528.7(075.8)

ББК 26.12я73

ISBN 978–5–89575–218–0

© И. А. Лабутина, Е. А. Балдина, 2013

© Географический факультет МГУ, 2013

Содержание

Предисловие	5
Введение	7
1. МАТЕРИАЛЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	9
1.1. Выбор материалов аэрокосмических съемок.....	10
1.2. Космические снимки, использованные в заданиях практикума	13
2. ВИЗУАЛЬНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ	18
<i>Задание 1.</i> Топографическое дешифрирование населенного пункта по космическим снимкам сверхвысокого пространственного разрешения	22
<i>Задание 2.</i> Дешифрирование земельных угодий по разносезонным космическим снимкам.....	26
<i>Задание 3.</i> Дешифрирование овражно-балочной сети по космическим снимкам с разной детальностью изображения	30
<i>Задание 4.</i> Дешифрирование горно-таежных лесов по многозональным фотографическим снимкам разных масштабов	35
<i>Задание 5.</i> Функциональное зонирование городской территории по космическому снимку сверхвысокого пространственного разрешения	40
3. КОМПЬЮТЕРНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ	45
3.1. Программы обработки цифровых снимков.....	45
3.2. Яркостные преобразования	48
<i>Задание 6.</i> Определение спектральных свойств объектов на основе синтеза цветного изображения и графиков спектрального образа	51
<i>Задание 7.</i> Использование вегетационного индекса при дешифрировании ландшафтов высокогорья.....	56
3.3. Классификация изображений	62
<i>Задание 8.</i> Дешифрирование водной растительности на основе методов классификации с использованием данных наземных наблюдений	65
3.4. Дешифрирование снимков в инфракрасном тепловом и радиоволновом диапазонах	77
<i>Задание 9.</i> Выявление тепловых аномалий города по снимкам в инфракрасном тепловом диапазоне	81
<i>Задание 10.</i> Изучение особенностей изображения географических объектов на радиолокационных снимках	87
4. ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	94
4.1. Предварительная подготовка разновременных материалов.....	95
4.2. Методические приемы совместной обработки разновременных данных	97
4.3. Анализ результатов	98
<i>Задание 11.</i> Выявление многолетних изменений территории на основе цветового синтеза разновременных снимков	100
<i>Задание 12.</i> Использование признака сезонной изменчивости при дешифрировании естественной и культурной растительности	107

<i>Задание 13. Определение последствий лесного пожара по разновременным космическим снимкам</i>	112
5. ПОЛЕВАЯ ПРАКТИКА ПО ДЕШИФРИРОВАНИЮ	120
5.1. Подготовительный камеральный этап.....	120
5.2. Полевые работы.....	121
5.3. Камеральная обработка полевых материалов.....	129
Литература	136
ПРИЛОЖЕНИЯ	137

Предисловие

В подготовке специалистов-картографов на географическом факультете МГУ имени М. В. Ломоносова особое внимание уделяется современным методам и источникам картографирования, в числе которых особое место занимают материалы аэрокосмических съемок. Разнообразие космических снимков по детальности изображения, участку спектра излучения, фиксируемому на них, по технологии съемки и ее повторяемости, а также огромные архивы накопленных данных и доступность пользователям делают их одним из основных источников создания карт во всем масштабном ряду – от самого крупного до глобального. Неоценимым материалом являются космические данные при изучении динамики природных и антропогенных объектов, оценке современного состояния территории.

Практикум – часть курса «Дешифрирование аэрокосмических снимков» модуля «Аэрокосмическое зондирование», который читается в начале обучения по специальности «картография и геоинформатика» (четвертый и пятый семестры). Курс входит в число базовых при подготовке как бакалавров, так и магистров; его лекционная часть изложена в учебном пособии И. А. Лабутиной «Дешифрирование аэрокосмических снимков». При преподавании курса особое внимание уделяется выработке навыков практической работы с материалами космических съемок.

Основная цель практикума – обучить получению содержательной тематической информации по снимкам при географическом изучении и картографировании территории. Обучающиеся должны научиться выбирать съемочные материалы, подходящие для решения определенной задачи, овладеть методическими приемами визуального и компьютерного дешифрирования снимков, научиться распознавать на снимках географические объекты по их дешифровочным признакам, получить начальные знания по применению космических снимков для изучения динамики объектов и явлений.

В основу разработки заданий практикума положено несколько принципов. Порядок выполнения заданий подчинен основному принципу обучения – от простого к сложному. Сначала студенты осваивают визуальное дешифрирование одного из географических объектов, знакомого им и относительно легко распознаваемого на снимке, а на последних этапах решают задачи выявления изменений на местности, применяя разновременные данные и разнообразные геоинформационные технологии.

Многовариантность материалов и технологий – другой принцип. Задания практикума построены на использовании съемочных материалов разной детальности (аэрофотоснимки, космические снимки с разрешением 2,5, 15, 30, 60 м) и разных спектральных диапазонов (видимого, инфракрасного и радиодиапазона). При этом обеспечено сопоставление разных по детально-

сти или спектральным свойствам материалов в пределах одного задания. Разнообразие методических приемов реализовано применением, во-первых, визуального дешифрирования по прямым и косвенным признакам и, во-вторых, компьютерных способов распознавания объектов (построение кривых спектрального образа, синтез многозональных и многовременных изображений, вычисление вегетационного индекса NDVI, кластеризация и классификация объектов, оверлей). Принцип многовариантности лег в основу и при выборе объектов, на примере которых ведется обучение, поскольку в отличие от обучающихся по другим специальностям студенты-картографы должны иметь представление о характерных особенностях по возможности большего числа географических объектов.

Освоение студентами программных пакетов не является задачей базового курса по дешифрированию, поэтому при постановке практикума были использованы свободно распространяемые программные пакеты, специально разработанные для обучения обработке данных дистанционного зондирования. В качестве основного выбран программный пакет ILWIS (ИТС, Нидерланды), что обусловлено относительной простотой его интерфейса, наличием растрового блока со всеми базовыми операциями обработки изображений и векторного блока, позволяющего составлять карту со всеми ее атрибутами. Другой пакет MultiSpec (Университет Purdue, США) предназначен только для работы с растровыми данными, но имеет некоторые полезные функции, дополняющие возможности ILWIS.

В практикум входит 13 заданий, рассчитанных на два или четыре академических часа. Все задания за исключением первого нацелены на тематическое картографирование. Помимо заданий текст учебного пособия содержит краткое изложение теоретических вопросов, имеющих непосредственное отношение к темам заданий, а также географическую характеристику территории и объекта распознавания. Это обусловлено стремлением выработать у студентов осмысленный подход к выполнению работы, более глубокое понимание как дешифрируемых объектов, так и методов их распознавания.

В пособие включен раздел, посвященный полевой учебной практике по дешифрированию, которая является составной частью курса «Дешифрирование аэрокосмических снимков». Он подготовлен при участии доцента Н. А. Алексеенко.

Пособие разработано на основе многолетнего опыта авторов в научно-исследовательской работе в области аэрокосмических методов и преподавании курса «Дешифрирование аэрокосмических снимков».

Авторы глубоко признательны коллективу сотрудников лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики и ее руководителю Ю. Ф. Книжникову за помощь в организации компьютерной составляющей практикума и В. И. Кравцовой и О. В. Вахниной за ценные замечания по тексту пособия, способствовавшие его улучшению.

Введение

Окружающая нас действительность представлена множеством объектов, обладающих геометрическими, физическими, химическими и другими свойствами, и связанных с другими объектами, благодаря чему они и различаются. Некоторые характерные свойства объектов, такие как внешние признаки (размеры, форма), способность отражать солнечное и искусственно созданное излучение, способность излучать тепло, могут быть зафиксированы при съемке. Все они представляют собой не случайную, а закономерно связанную с природой самих объектов комбинацию. Связь эта вполне объективна и может служить основой для более или менее правильных умозаключений, откуда и вытекает возможность определять объекты по их отображению на снимках, т. е. на двумерных изображениях, полученных в результате съемки, выполненной специальной аппаратурой с воздуха или из космоса. Снимок, в отличие от точки и профиля – наиболее распространенный вид регистрации собственного и отраженного излучения объектов.

На снимках разной степени детальности изображение отчетливо различаемых объектов соответствует разным иерархическим уровням ландшафта.

Аналогично картам и другим геоизображениям снимки могут рассматриваться как образные модели действительности. Изображение на них генерализовано, а степень генерализации зависит от технических параметров съемки и природных особенностей территории.

Ряд особенностей аэрокосмических снимков делает распознавание объектов по их аэрокосмическим изображениям непростой задачей, требующей определенных навыков и знаний:

- на снимках находят отражение не все, а только некоторые свойства объектов, другие свойства оказываются утерянными или частично искаженными;
- объект представлен на снимке в обобщенном виде, отсутствуют многие детали,
- на снимке запечатлен только один момент состояния объекта, в то время как мы воспринимаем окружающий мир в развитии;
- изображение на снимке одного и того же объекта изменчиво в зависимости от многих факторов.

Дешифрирование – это процесс распознавания объектов, их свойств и взаимосвязей по изображениям на снимке. Благодаря изображению объектов в их взаимосвязях, в комплексе на снимках находят отражение процессы и явления, протекающие на изучаемой территории. Это позволяет рассматривать дешифрирование и как метод изучения и исследования объектов, явлений и процессов на земной поверхности. Свойства объектов, зафиксированные на снимках и используемые для распознавания объектов, называют дешифровочными признаками, которые принято делить на прямые и косвенные.

Дешифрирование всегда носит целенаправленный характер, поэтому говорят о топографическом, ландшафтном, геоморфологическом, сельскохозяйственном и других видах дешифрирования.

Методы извлечения информации со снимков при всем их многообразии сводятся к двум основным – *визуальному* при работе с изображением на экране монитора, с «твердыми» копиями или фотоматериалами и *компьютерному (автоматизированному)*, осуществляемому по программам обработки изображений.

Одно из основных преимуществ визуального метода дешифрирования перед автоматизированным заключается в скорости получения пространственной информации. Зрительная система человека позволяет практически с одного взгляда определить форму объектов, особенности их распределения, относительные размеры. Но главное и несомненное преимущество визуального метода – использование всей совокупности дешифровочных признаков, в особенности косвенных признаков. Недостижимы для компьютера логическое мышление и интуиция, которыми обладает человек, что позволяет ему извлекать из снимка информацию не только об объектах и их свойствах, но и о процессах и явлениях.

К преимуществам компьютерного метода дешифрирования можно отнести, прежде всего, возможность разнообразных операций со снимками, особенно многозональными, – преобразования яркостей для улучшения их восприятия, выполнения математических операций, классификации по заданным признакам. Несомненны преимущества этого метода при сопоставлении разновременных съемочных и картографических материалов с целью изучения изменений объектов.

Визуальный и автоматизированный методы дешифрирования имеют свои преимущества и ограничения. В каждом случае, в зависимости от поставленной задачи, географических особенностей и свойств объекта изучения, имеющихся материалов и технических средств отдается предпочтение одному из них, или оба используются параллельно.

Дешифрирование – важный этап процесса картографирования. При создании крупномасштабных топографических карт доля дешифрирования составляет более четверти всего объема работ. При тематическом картографировании с использованием космической информации она существенно больше, а иногда процесс дешифрирования является преобладающим.

1. МАТЕРИАЛЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В последние десятилетия аэросъемка уступила свои позиции съемке из космоса. Фонд материалов космических съемок в настоящее время обширен и включает материалы, полученные съемочными системами разного типа – сканерными (многозональными, панхроматическими), радиолокационными (на разных длинах волн, при разной поляризации сигнала) и фотографическими (черно-белыми, цветными, спектрзональными и многозональными). Съемка выполняется в разных участках электромагнитного спектра (табл. 1.1), с разным пространственным (от 0,4 м до нескольких километров) и радиометрическим (8, 11, 12, 16 бит/пиксел) разрешением.

Таблица 1.1

Участки спектра электромагнитных колебаний, в которых ведется съемка

Участок спектра	Интервал длин волн	Регистрируемое излучение
видимый	0,40–0,74 мкм	отраженное солнечное излучение
ближний инфракрасный	0,75–1,3 мкм	
средний инфракрасный	1,4–2,9 мкм	
тепловой инфракрасный	3,0–1000 мкм	тепловое излучение земной поверхности
радиоволновой	1мм–десятки метров	микроволновое излучение земной поверхности отраженное искусственное излучение (радиолокация)

В настоящее время съемку Земли из космоса ведут более 60 оптико-электронных и радарных космических аппаратов, принадлежащих трем десяткам стран, в том числе спутники новейшего поколения. По сравнению с архивными материалами существенно изменились параметры съемочных данных. На рынке широко распространены снимки с пространственным разрешением 0,4–2,5 м в панхроматическом варианте и 1,5–4 м – в многозональном. Изменилось спектральное разрешение: вместо 3–4 каналов современные многозональные и гиперспектральные системы ведут съемку в 8, 14, 36 каналах, а современные спектрометры – в 200 и более каналах. Произошло увеличение радиометрического разрешения снимков: весь интервал яркостей при съемке разбивается не на 256 ступеней (8 бит/пиксел), как было два десятилетия, а, например, на 2048 (11 бит/пиксел), что существенно повышает качество снимков, особенно панхроматических. Тенденция последних лет – обеспечение съемки в стереорежиме, которую реализуют разными способами: с разных витков, с одного витка двумя съемочными системами или изменением наклона одной, с двух спутников на параллельных орбитах, снимающих почти синхронно, и другими. Список действующих в настоящее время систем получения из космоса данных о земной поверхности, приведен на сайте http://www.scanex.ru/ru/data/Table_RS_data.pdf.

Геопорталы (Google Earth, Yandex, Космоснимки и другие) не так давно появившиеся, но получившие исключительно широкую известность, обеспечивают пользователей космической информацией с разрешением 0,6–30 м, обновляемой не реже, чем через 2–3 года.

Технологии геопорталов имеют особое значение при отображении оперативной информации, например, для мониторинга пожароопасности. Геопорталы используются и поставщиками данных дистанционного зондирования в качестве пространственной основы для поиска и заказа космической информации, например Космоснимки <http://kosmosnimki.ru/> (портал Сканэкс), <http://geoportalsomz.ru/> (портал Роскосмоса).

Оригинальные снимки (включающие все съемочные каналы) высокого (15–30 м – Landsat, ASTER и др.), а также низкого разрешения с пространственной привязкой по орбитальным данным стали доступны в архивах Геологической службы США (<http://earthexplorer.usgs.gov> или более новый портал обращения к той же базе <http://glovis.usgs.gov>).

1.1. Выбор материалов аэрокосмических съемок

Основными характеристиками материалов дистанционного зондирования являются масштаб или пространственное разрешение снимков, определяющие детальность изображения, их тип (черно-белые, цветные, многозональные, в видимом, инфракрасном или радиоволновом диапазонах спектра электромагнитных волн), сезон и время съемки. Выбор характеристик снимков зависит в решающей степени от цели исследований и особенностей территории, которую предстоит изучать.

Пространственное разрешение. Часто пользователи стремятся выбрать снимки с максимальной детальностью, хотя это не всегда оправдано. Важно иметь в виду, по крайней мере, три обстоятельства. Первое – минимальный размер объектов, которые предполагается дешифровать и/или отобразить на карте в соответствии с масштабом, в котором она будет составляться. Второе – выраженность, четкость границ дешифрируемых объектов: чем более четкие границы имеют объекты, тем более детальное изображение целесообразно использовать. В то же время нет смысла использовать очень детальные снимки для дешифрирования объектов с границами в виде переходной полосы, поскольку известно, что по мере уменьшения масштаба границы становятся более четкими. Третье – интервал повторных наблюдений, в общем случае для выявления сезонных изменений нужны снимки более высокого разрешения, чем для выявления долговременных изменений.

На снимках горной территории, независимо от технологии съемки, возникают существенные геометрические смещения, так называемые искажения за рельеф, поэтому необходимо выполнять ортотрансформирование. Ортотрансформирование материалов съемки выполняется с исполь-

зованием цифровой модели рельефа (ЦМР), размер пиксела и точность по высоте которой нужно учитывать при выборе пространственного разрешения снимка.

Участок спектра электромагнитных колебаний. Основной объем информации при географическом изучении и картографировании территории дают снимки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Материалы съемок в тепловом инфракрасном и радиоволновом диапазонах предназначены для решения других задач, но могут предоставить дополнительную информацию. Объекты земной поверхности за редким исключением лучше распознаются на многозональных снимках – цветном синтезированном или отдельных зональных. Принцип многозональной съемки, т. е. одновременной съемки в нескольких каналах, фиксирующих излучение в разных участках спектра, опирается на различия в спектральной яркости объектов. Знание спектральных свойств изучаемых объектов позволяет правильно выбрать снимки и достичь более высокой достоверности результатов дешифрирования.

Спектральные свойства объектов земной поверхности многообразны, но некоторые их типичные особенности связаны с классами объектов – горных пород и почв, растительности, водных объектов, снега и облаков.

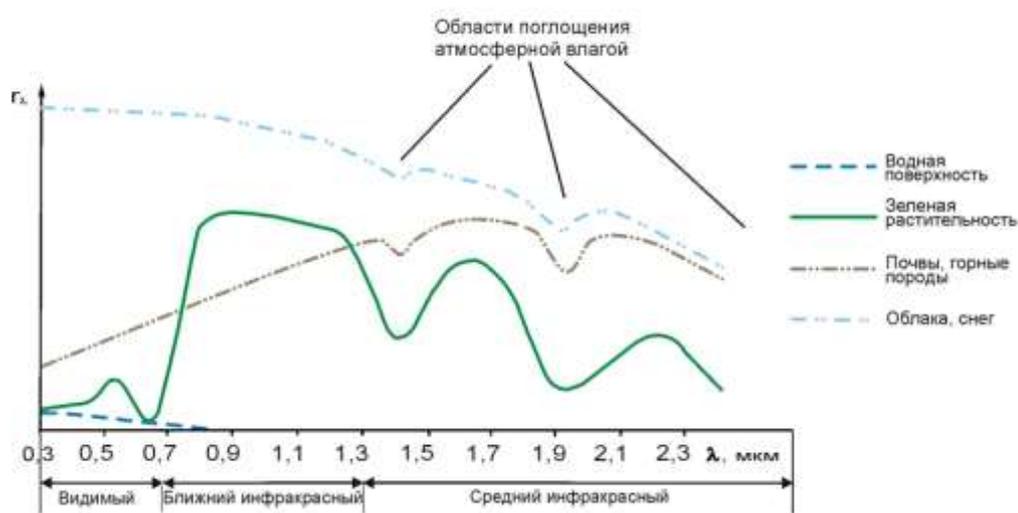


Рис. 1.1. Типичные кривые спектральной яркости природных объектов

Горные породы и почвы отличаются постепенным увеличением яркости с возрастанием длины волны солнечного излучения. Спектральная яркость *горных пород* зависит, прежде всего, от оптических свойств входящих в их состав минералов и химических элементов, а также от их дисперсности и влажности. Отличительная особенность *почв* – существенные различия в интегральной яркости. Наименьшей способностью отражать солнечное излучение обладают черноземы, наибольшей – сильнооподзоленные суглинистые почвы. На отражение солнечного света почвами влияют три основные группы веществ: светлоокрашенные соединения (карбиды, соединения кремния и алюминия) отражают излучение равномерно, но значительно; темные гумусовые вещества отражают свет слабо и равномерно, а соединения железа обуславливают не-

равномерное по спектру отражение почвами солнечного излучения. Очень существенно зависит яркость почв от влажности. В ближнем и среднем инфракрасном участках (0,7–2,5 мкм) яркость почвы в состоянии полной полевой влагоемкости втрое меньше, чем при воздушно-сухом состоянии. Оптические характеристики почв зависят и от гранулометрического состава поверхности: с уменьшением размера частиц коэффициент яркости возрастает экспоненциально.

Растительность обладает наибольшей по сравнению с другими объектами земной поверхности спектральной селективностью. Отражательные свойства растительного покрова определяются четырьмя основными факторами: оптическими свойствами зеленых листьев, геометрией растений, особенно площадью листовой поверхности, и угловым распределением листьев, а также, если растения не образуют сплошного покрова, то отражательной способностью поверхности почвы и структурой растительного покрова, т. е. характером пространственного распределения растений.

При всем многообразии кривые спектральной яркости зеленых растений имеют одну общую закономерность: в оптическом диапазоне спектра они имеют два минимума – в синем (0,45–0,47 мкм) и красном (0,68–0,69 мкм) участках спектра, и два максимума – в зеленом (0,54–0,58 мкм) и ближнем инфракрасном (0,7–1,3 мкм) участках. Соотношение четырех отражательных компонентов в растительном покрове – освещенных растений и почвы, затененных растений и почвы – меняются в зависимости от угла освещения и угла наблюдения. Вследствие этого варьирует коэффициент отражения покрова в целом, даже если оптические свойства составляющих его растений, морфология и характеристики почвы остаются постоянными.

Водные объекты также обладают специфическими свойствами – их спектральная яркость падает с возрастанием длины волны солнечного излучения, что объясняется высокой поглощающей способностью воды. Лучи ближнего инфракрасного участка спектра практически полностью поглощаются тонкой пленкой воды, поэтому на снимках в этой съемочной зоне можно дешифровать только границы и поверхность водных объектов. Информация о водной толще, об объектах, находящихся внутри ее или на дне, может быть получена со снимков в видимом участке спектра.

Солнечное излучение не только отражается поверхностью воды, но и проникает на глубину, где частично поглощается молекулами воды и растворенными органическими веществами. Проникновение света на глубину спектрально селективно: сине-зеленого света значительно больше, чем красного. При наличии в воде минеральных взвешенных частиц возрастает яркость водной толщи в желто-зеленом участке спектра. Содержащийся в воде фитопланктон вызывает понижение яркости в синей (около 0,4 мкм) и красной (0,64–0,69 мкм) частях спектра, т. е. в полосах поглощения хлорофилла.

Серия зональных снимков представляет спектральный образ объектов и может быть использована для выявления их сущности. Дешифрирование одного из зональных снимков возможно, если он в наибольшей степени удовлетворяет поставленной задаче. Часто для распознавания объектов используют соотношение двух съемочных зон, в которых различия в яркости объектов максимальны, например для растительности – соотношение яркости на зональных снимках в красном и ближнем инфракрасном участках спектра.

Дата съемки. Изменчивость геосистем во времени, смена состояний природно-территориальных комплексов – одна из особенностей территории, которые необходимо иметь в виду при выборе аэрокосмических снимков. Масштабы изменений объектов земной поверхности различны: суточные, сезонные, многолетние, вековые. Со временем меняются физиономические свойства объектов, их внешний облик, а значит, в момент съемки каждый из географических объектов фиксируется в некотором определенном состоянии. От того, насколько хорошо выражены в этом состоянии важные для исследования характеристики, зависят результаты дешифрирования.

Сезонные изменения могут служить дополнительным дешифровочным признаком, например растительности, поскольку смена фаз вегетативного развития у растений разных видов наступает в разное время. Если предполагается изучать по снимкам многолетнюю динамику природных объектов, выявление различий в сезонных состояниях становится обязательным, так как в противном случае можно получить искаженные данные. Суточная динамика большинства объектов земной поверхности связана с высотой Солнца и метеорологическими условиями, и, как правило, в большей мере сказывается на результатах дешифрирования снимков высокого пространственного разрешения.

Знание закономерностей изменений в географических ландшафтах существенно повышает качество результатов дешифрирования, а при выявлении по снимкам динамики объектов и явлений является необходимым.

1.2. Космические снимки, использованные в заданиях практикума

TM/Landsat-5. Американские спутники для исследования Земли серии Landsat запускаются с 1972 г. и за это время обеспечили многократное покрытие снимками всей поверхности планеты.

Спутник Landsat-5 выведен в марте 1984 г. на солнечно-синхронную орбиту с номинальной высотой 705 км и наклоном $98,2^\circ$. Сканирующая система ТМ (Thematic Mapper) выполняла съемку в семи каналах видимого, ближнего инфракрасного и теплового инфракрасного диапазонов спектра электромагнитных колебаний (табл. 1.2) с радиометрическим разрешением 8 бит/пиксел. Ширина полосы охвата 185 км. Съемки прекратились в конце 2011 г.

Таблица 1.2

Спектральное и пространственное разрешение съемочной системы TM/Landsat-5

№ канала	Спектральный диапазон, мкм	Пространственное разрешение, м
1	0,45–0,515	30
2	0,525–0,605	30
3	0,63 – 0,690	30
4	0,75 – 0,90	30
5	1,55 – 1,75	30
6	10,40 – 12,5	120
7	2,09 – 2,35	30

ETM+/Landsat-7. Спутник выведен в апреле 1999 г. на солнечно-синхронную орбиту с номинальной высотой 705 км и наклоном 98,2°. Съемочная система ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) является усовершенствованным вариантом сканера TM/Landsat-5: добавлен панхроматический канал с разрешением 15 м, улучшено разрешение теплового канала – 60 м вместо 120 (табл. 1.3). Ширина полосы охвата 185 км.

Таблица 1.3

Спектральное и пространственное разрешение съемочной системы ETM+/Landsat-7

№ канала	Спектральный диапазон, мкм	Пространственное разрешение, м
1	0,45–0,515	30
2	0,525–0,605	30
3	0,63 – 0,690	30
4	0,75 – 0,90	30
5	1,55 – 1,75	30
6	10,40 – 12,5	60
7	2,09 – 2,35	30
8 (панхром.)	0,52 – 0,90	15

Данные ETM+/Landsat-7 поступали на Землю без сбоев до 31 мая 2003 г., когда на сканере ETM+ вышел из строя корректор («выпрямитель») линий сканирования. В настоящее время спутник передает изображения Земли с полосами сбоев.

ASTER/Terra. Съемочная система, разработанная в Японии, наряду с другими приборами установлена на спутнике Terra (США), выведенном в декабре 1999 г. на солнечно-синхронную орбиту высотой 705 км и наклоном 98,3°. Комплекс ASTER состоит из трех подсистем (табл. 1.4). Обеспечивается возможность стереосъемки в ближнем инфракрасном участке спектра. Ширина полосы охвата 60 км.

Таблица 1.4

Спектральное и пространственное разрешение съемочной системы ASTER/Terra

Съемочные подсистемы	VNIR	SWIR	TIR
№ канала и спектральный диапазон, мкм	1. 0,52–0,60 2. 0,63–0,69 3. 0,76–0,86	4. 1,600–1,700 5. 2,145–2,185 6. 2,185–2,254 7. 2,235–2,285 8. 2,295–2,365 9. 2,360–2,430	10.8,125–8,475 11.8,475–8,825 12.8,925–9,275 13.10,25–10,95 14.10,95–11,65
Пространственное разрешение (при съемке в надир), м	15	30	90

HRG/SPOT-5. Спутник SPOT-5 (Spotimage, Франция) выведен в мае 2002 г. на солнечно-синхронную орбиту высотой 822 км и наклоном 98,7°. На спутнике установлены две съемочные системы высокого пространственного разрешения: HRG позволяет вести съемку в панхроматическом и мультиспектральном режимах (табл. 1.5), а HRS предназначена для получения стереоскопического изображения поверхности Земли с одного витка. Ширина полосы охвата 60 км.

Таблица 1.5

Спектральное и пространственное разрешение съемочной системы HRG/SPOT-5

№ канала	1	2	3	4	Панхроматический
Спектральный диапазон, мкм	0,50–0,59	0,61–0,68	0,78–0,89	1,58–1,75	0,48–0,71
Пространственное разрешение, м	10			20	5 или 2,5

RapidEye. Группировка из пяти миниспутников (RapidEye AG, Германия) запущена в августе 2008 г. Спутники равномерно распределены на солнечно-синхронной орбите высотой 630 км и наклоном 97,8°. Съемка выполняется в пяти спектральных каналах (табл. 1.6) с пространственным разрешением 6,5 м (после обработки – 5 м). Уникальным для съемочной системы спутников является канал 4 Red Edge (крайний красный), который позволяет получать дополнительную информацию о состоянии растительного покрова. Ширина полосы охвата 78 км.

Таблица 1.6

Спектральное разрешение съемочной системы RapidEye

№ канала	1	2	3	4	5
Длина волны, мкм	0,44–0,51	0,52–0,59	0,63–0,685	0,69–0,73	0,76–0,85

QuickBird. Спутник QuickBird (DigitalGlobe, США) выведен в октябре 2001 г. на солнечно-синхронную орбиту высотой 450 км и наклоном 98°. Съемочная система выполняет съемку

в видимом и ближнем инфракрасном участках спектра (табл. 1.7). Ширина полосы охвата 16,5 км при съемке в надир, возможное отклонение от надира на 30°.

Таблица 1.7

Спектральное и пространственное разрешение съемочной системы QuickBird

№ канала	1	2	3	4	Панхроматический
Спектральный диапазон, мкм	0,45–0,52	0,52–0,60	0,63–0,69	0,76–0,90	0,445–0,90
Разрешение (при съемке в надир), м	2,44				0,61

GeoEye. Спутник (ORBIMAGE, США) выведен в сентябре 2008 г. на околоземную солнечно-синхронную орбиту высотой 684 км и наклоном 98°. Съемочная система выполняет съемку в видимом и ближнем инфракрасном участках спектра (табл. 1.8). Ширина полосы охвата 15,2 км при съемке в надир, возможное отклонение от надира до 60°.

Таблица 1.8

Спектральное и пространственное разрешение съемочной системы GeoEye

№ канала	1	2	3	4	Панхроматический
Длина волны, мкм	0,450–0,520	0,520–0,600	0,625–0,695	0,760–0,900	0,445–0,90
Разрешение (при съемке в надир), м	1,65				0,41

МКФ-6. Пилотируемый космический корабль «Союз-22» выведен в сентябре 1976 г. на околоземную орбиту высотой 260 км и наклоном 65°. Многозональная фотографическая камера, разработанная специалистами СССР и ГДР, вела съемку в 6 участках видимой и ближней инфракрасной областей спектра (табл. 1.9). Масштаб съемки 1:2 000 000, размер кадра 55x81 мм.

Таблица 1.9

Спектральное и пространственное разрешение многозональной фотографической камеры МКФ-6

№ канала	1	2	3	4	5	6
Спектральная чувствительность, мкм	0,48	0,54	0,60	0,66	0,72	0,84
Разрешение, м	22	18	16	16	48	40

SIR-C/X-SAR/Shuttle. Космический корабль Шаттл 59 экспедиции (STS-59) выведен в апреле 1994 г. на орбиту высотой около 220 км и наклоном 57°. Радиолокационная съемочная система с синтезированной апертурой (Spaceborne Imaging Radar C/X band Synthetic Aperture Radar) выполняла экспериментальные съемки земной поверхности в трех диапазонах длин волн: L (23,5 см), С (5,5 см) и X (3,1 см) при разных вариантах поляризации испускаемого и принимае-

мого отраженного сигнала. Пространственное разрешение полученных изображений составляло после обработки 12,5–25 м.

TerraSAR-X. Спутник выведен в июне 2007 г. на околоземную орбиту высотой 514 км и наклоном 97° . Радар с синтезированной апертурой выполняет съемку земной поверхности в X диапазоне (длина волны 3,1 см) в трех режимах (прожекторном, стандартном и обзорном) с пространственным разрешением от 1 до 16 м, при съемочных углах от 20 до 55° .

В 2010 г. на параллельную орбиту запущен спутник TanDEM-X, характеристики радиолокационной системы которого полностью совпадают с характеристиками TerraSAR-X. Данные одновременной съемки с обоих спутников в результате интерферометрической обработки используются для создания высокоточной цифровой модели рельефа Земли.

2. ВИЗУАЛЬНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Развитие методов компьютерной обработки аэрокосмических снимков не привело к полной замене ими визуального дешифрирования. Более того, в результате все более широкого распространения космических снимков, способных по детальности заменить аэрофотоснимки при создании топографических карт, значение визуального дешифрирования даже возросло.

Главная причина этого – высочайший уровень развития человеческого интеллекта, а также тот факт, что зрение играет первостепенную роль в познании мира человеком. Визуальные методы просты и доступны каждому, но для достижения хороших результатов требуют высокой профессиональной подготовки и хорошего знания объектов дешифрирования.

Процесс визуального анализа изображения принято делить на три стадии: обнаружение, опознавание, интерпретация. Две первые стадии связаны с особенностями зрительного восприятия, а последняя – с логическим восприятием, так как предполагает выявление существа объекта.

Зрительное восприятие изображения можно условно разделить на восприятие яркости, цвета, размера и объемной формы. На восприятие яркости и ее различий влияют несколько факторов. Один из наиболее существенных факторов – наличие четкой границы перехода от одной яркости к другой. Ареалы, имеющие четкий контур и контрастирующие с окружающим фоном, различаются лучше, чем имеющие нечеткие, размытые границы. Оттенки светлых тонов различаются лучше, чем темных.

Цвет – это ощущение человека, возникающее при восприятии света с разными длинами волн. Зрительная система человека воспринимает различия в длинах волн света в диапазоне 0,39-0,70 мкм. Согласно теории цветового зрения все многообразие цветов воспринимается смешением трех основных цветов – синего, зеленого и красного.

Восприятие малых объектов зависит от контраста между объектом и фоном, от резкости его границ: чем больше контраст и резче границы, тем меньше размер воспринимаемого объекта. На экране монитора детальность изображения, а следовательно, и восприятие деталей ограничиваются пространственным разрешением, т. е. размером пиксела монитора.

Зрение человека обладает свойством воспринимать не детали, а целостный зрительный образ. Чтобы определить объект, строится логическая цепочка – его отдельные признаки группируются в образ, который сопоставляется с образами, хранящимися в памяти. Аналогично поступает и дешифровщик, анализируя изображение объекта на снимке и сопоставляя его со знаниями, хранящимися в памяти. Он применяет абстрактные признаки к конкретным временным и пространственным условиям, использует при этом относительные оценки, путем логических построений определяет не изобразившиеся на снимке свойства объектов или даже объекты. В

этом причина того, что результаты визуального дешифрирования довольно часто оказываются достовернее и полнее, чем компьютерного.

Свойства объектов окружающей действительности, нашедшие отражение на снимке и используемые для распознавания, называют **дешифровочными признаками**. Их принято делить на прямые и косвенные.

Прямые дешифровочные признаки. Свойства объектов, которые непосредственно отображаются на снимках, можно объединить в три группы дешифровочных признаков: геометрические (форма, тень, размер), яркостные (уровень яркости, цвет, спектральный образ, фототон) и структурные (структура, рисунок).

Геометрические дешифровочные признаки связаны с размерами и формой объектов на местности. *Форма* – самый надежный, т. е. не зависящий от условий съемки, признак. С изменением масштаба снимков форма объекта может несколько изменяться, упрощаться за счет исчезновения деталей. Форма в плане часто используется при распознавании объектов, связанных с деятельностью человека, так как они, как правило, имеют форму, близкую к правильной геометрической. Исключительно большое значение, особенно при дешифрировании рельефа местности, имеет пространственная, объемная форма объектов. Самый надежный способ ее определения – стереоскопическое наблюдение пары перекрывающихся снимков.

Размер, как признак, чаще используется не в абсолютной, а в относительной мере.

Тень – дешифровочный признак, связанный с геометрией объектов, так как позволяет определить пространственную форму объектов на одиночном снимке. Различают собственную тень, т. е. часть объекта, не освещенную прямым солнечным светом, и падающую – тень от объекта на земной поверхности или поверхности других объектов. Собственная тень позволяет судить о поверхности объектов: резкая граница тени характерна для угловатых объектов, например крыш домов, а размытая свидетельствует о плавной поверхности, например крон деревьев. Падающая тень характеризует вертикальную протяженность и силуэт объекта, по ней распознают строения разной высоты и архитектуры, столбы и опоры линий электропередачи, отдельно стоящие деревья и т. д. Длина падающей тени позволяет сравнивать объекты по высоте, однако нужно иметь в виду, что тень искажается, если падает на наклонную поверхность. Существенную роль играет тень как дешифровочный признак рельефа.

Яркостные дешифровочные признаки связаны с важным свойством объектов местности – спектральной отражательной способностью.

Спектральные свойства объектов фиксируются на снимках в зависимости от вида съемки и типа материала, используемого при дешифрировании. На панхроматических и зональных цифровых снимках в видимом и ближнем инфракрасном участках спектра *уровнями яркости* (чаще говорят «яркостью») шкалы из определенного числа ступеней (например 256 или 2048) закоди-

рована спектральная яркость объектов земной поверхности в определенном участке спектра. На многозональном снимке различия в спектральной яркости объектов отображаются набором уровней яркости в каждой из съемочных зон, называемым *спектральным образом*, а на цветных синтезированных снимках – *цветом*. *Фототоном*, или тоном изображения принято называть степень почернения на черно-белых фотоотпечатках при визуальном анализе. Этот признак использовался при дешифрировании фотографических материалов, особенно аэрофотоснимков.

На снимках в инфракрасном тепловом диапазоне яркостью закодирована интенсивность теплового излучения – природная или созданная деятельностью человека. Яркость изображения на радиолокационных снимках характеризует отражательные свойства поверхностей – способность отражать искусственно созданный радиосигнал.

Отражательные свойства объектов не постоянны во времени, зависят от высоты Солнца, прозрачности атмосферы, фазы вегетативного развития и других факторов.

Структурные дешифровочные признаки являются отражением реально существующих ландшафтных рисунков, горизонтальной ландшафтной дифференциации. На снимке они представляют сочетание изображений объектов и их частей определенной формы, размера и тона (цвета), которое дополняется новым свойством – пространственным распределением элементов изображения, их размещением, повторяемостью. Благодаря этому свойству структурные признаки мало зависят от условий освещения, сезона и технических параметров съемки, несмотря на изменчивость отдельных составляющих, вследствие чего их принято считать надежными признаками.

Относительно мелкие элементы на снимке, у которых распознаются форма и размер, образуют *структуру изображения*. Типичным примером служат изображения лесных насаждений на аэрофотоснимках и космических снимках сверхвысокого разрешения. Несколько разных структур часто формируют довольно устойчивые сочетания, типичные для определенных объектов земной поверхности – *рисунки изображения*. В рисунке находят отражение как природные особенности территории – структура почвенного и растительного покрова, распределение геоморфологических элементов, литологические особенности слагающих пород, тектонические условия, так и пространственные взаимоотношения объектов антропогенного происхождения. Очень часто рисунок изображения территории определяется ее рельефом и растительностью.

Структурные признаки тесно связаны с пространственным разрешением или масштабом снимка, поскольку они соответствуют природно-территориальным комплексам разного ранга.

Косвенные дешифровочные признаки. Объекты-индикаторы, по которым распознают не изобразившиеся на снимке объекты или свойства и состояние изобразившихся объектов, называют косвенными признаками. Методологической основой дешифрирования по косвенным признакам служит наличие взаимосвязей и взаимообусловленности всех природных и антропо-

генных свойств территории. Интерпретировать изобразившийся на снимке объект можно по его географической приуроченности, местоположению.

Косвенные признаки условно можно разделить на три группы: индикаторы объектов, индикаторы свойств объектов и индикаторы движения или изменений. Так, индикатором административных и государственных границ, непосредственно не изображающихся на снимке, могут служить различия в нарезке сельскохозяйственных полей, структуре организации территории, которые распознаются по прямым признакам. По косвенным признакам определяют скрытые свойства отчетливо читающихся на снимке объектов. Например, по характеру и размещению зданий распознаются жилые кварталы и промышленные предприятия в городе.

Объекты-индикаторы динамики позволяют выявить наличие движения или изменений во времени на одиночном снимке. В некоторых случаях оказывается возможным не только установить факт наличия движения, но и выявить его особенности.

Индикационное дешифрирование – распространенный прием географического дешифрирования, который заключается в определении одних компонентов ландшафта по другим, физиономичным, легко опознаваемым на снимке.

В качестве индикаторов, в зависимости от географических условий, могут выступать отдельные компоненты природной среды, называемые *частными индикаторами*. Обычно в такой роли выступают растительность и рельеф. Например, в лесной зоне почвы распознаются по типу растительности, надежным индикатором характера равнинного рельефа служит нарезка сельскохозяйственных полей. Если дешифрирование выполняется не по частным, а по *комплексным индикаторам*, т. е. по всей совокупности признаков природно-территориальных комплексов, говорят о ландшафтной индикации, или ландшафтном методе дешифрирования. Ярким примером применения ландшафтного метода дешифрирования служит изучение и картографирование подземных вод. Индикатором ландшафта может быть его рисунок, обусловленный процессами формирования природно-территориальных комплексов.

Индикационные связи действуют лишь в пределах определенного, данного ландшафта, экстраполяция выявленных индикаторов на соседние районы может привести к существенным ошибкам, так как они могут индцировать различные географические условия.

Результаты индикационного дешифрирования в решающей степени зависят от знания особенностей территории, формирующих ее факторов, взаимосвязей между компонентами природной среды, антропогенного воздействия на нее.

Задание 1. Топографическое дешифрирование населенного пункта по космическим снимкам сверхвысокого пространственного разрешения

Введение. Топографическое дешифрирование – один из этапов создания топографических карт в масштабах 1:25 000 и крупнее, который заключается в распознавании на аэроснимках или на космических снимках сверхвысокого пространственного разрешения объектов местности, установлении их качественных и количественных характеристик и обозначении их условными знаками, принятыми для карт соответствующего масштаба. Принятая в России технология включает полевое и камеральное дешифрирование.

Все населенные пункты подразделяются на города, поселки городского типа, поселки дачного типа и поселки сельского типа. Детальность дешифрирования населенных пунктов зависит от масштаба карты. При создании карты масштаба 1:10 000 дешифрируются каждый дом, хозяйственная постройка, все улицы, переулки, проезды, а также зеленые насаждения. К результатам предъявляется требование правильно отобразить структуру и планировку населенного пункта: расположение и очертания отдельных строений и их групп, кварталов, участков зеленых насаждений и пустырей. Кроме того, важно точно передать преобладающую ориентировку зданий, выделить кварталы, занятые промышленными предприятиями и объектами социального назначения (торговые центры, спортивные сооружения и т. п.).

В зависимости от характера планировки населенного пункта при топографическом дешифрировании выделяют квартальную застройку городского типа, квартальную застройку дачного (коттеджного) типа, квартальную и рядовую застройку сельского типа. Малый город или некоторые периферийные части крупного города могут иметь структуру, характерную для населенных пунктов сельского типа.

Железные дороги в пределах населенного пункта показываются своими знаками. Разделяют одно-, двух- и трехпутные дороги и подъездные пути (ветки). Особым знаком обозначаются все станционные пути в пределах станции или разъезда. Условный знак автомобильных дорог в пределах населенных пунктов не используется.

Характеристика территории. Задание выполняется на примере части территории города Апрелевки, который располагается в Наро-Фоминском районе Московской области, на берегу р. Десны, в 25 км к юго-западу от столицы. Поселок строителей железной дороги Москва-Калуга возник в 1899 г. В 1910 г. построен первый в России завод грампластинок, долгие годы остававшийся самым крупным в нашей стране. Предприятие играло градообразующую роль и с 1961 г. рабочий поселок стал городом. Апрелевка относится к типу малых городов, многоэтажные здания центральной части города соседствуют с кварталами типичной застройки сельского типа.

Дешифровочные признаки. Жилые дома распознаются на снимке по прямоугольной форме в плане, их этажность можно определить при просмотре стереоизображения или по падающей

тени на одиночном снимке. Здания застройки городского типа имеют разные, но типовые размеры, дома же застройки сельского типа, как правило, несущественно различаются по размерам.

Строения промышленных предприятий отличаются от жилой застройки нестандартными, чаще более крупными размерами и бессистемным, хаотичным расположением по территории. Косвенным признаком могут служить железнодорожные ветки, подходящие к его территории. Нестандартной формой выделяются общественные здания, их косвенным признаком служат примыкающие к ним просторные парковочные площадки. Футбольное поле или другие спортивные площадки рядом с таким зданием свидетельствуют о его спортивном назначении.

Железная дорога отчетливо дешифрируется по линейной форме с плавными поворотами, а железнодорожная станция – по разветвлениям станционных путей, изображению пассажирских платформ и стоящих составов. Характерная особенность малых городов и сельских населенных пунктов – значительное количество зеленых насаждений внутри кварталов, изображение высоких деревьев и теней от них маскируют на снимке некоторые постройки. Отсутствие крыш, необустроенная территория с подсобными строениями служат признаками строящихся зданий.

Цель задания – ознакомиться с приемами камерального топографического дешифрирования космического снимка сверхвысокого пространственного разрешения на примере участка населенного пункта.

Материалы

1. Фрагменты цветного синтезированного космического снимка GeoEye (копии в масштабе 1:5000 из Google Earth, <http://earth.google.com>).
2. Примеры изображения городской территории (Альбом образцов топографического дешифрирования аэроснимков. М. 1966 г.)
3. Условные знаки для топографических карт масштаба 1:10000, 1977 г. <http://base1.gostedu.ru/47/47985/#>

Порядок выполнения задания

1. Рассмотреть изображение города на отпечатке снимка в масштабе 1:5000 и найти изображения железной дороги, станции, промышленного предприятия; жилых кварталов, строящихся зданий, общественного здания, кварталов с сельским типом застройки (рис. П1).
2. Ознакомиться с примерами изображения населенных пунктов в Альбоме образцов топографического дешифрирования аэроснимков, уделив особое внимание изображению малых городов.
3. Выполнить дешифрирование фрагмента космического снимка. Оформить результаты в соответствии с Условными знаками для топографических карт масштаба 1:10 000 (рис. 2.1).

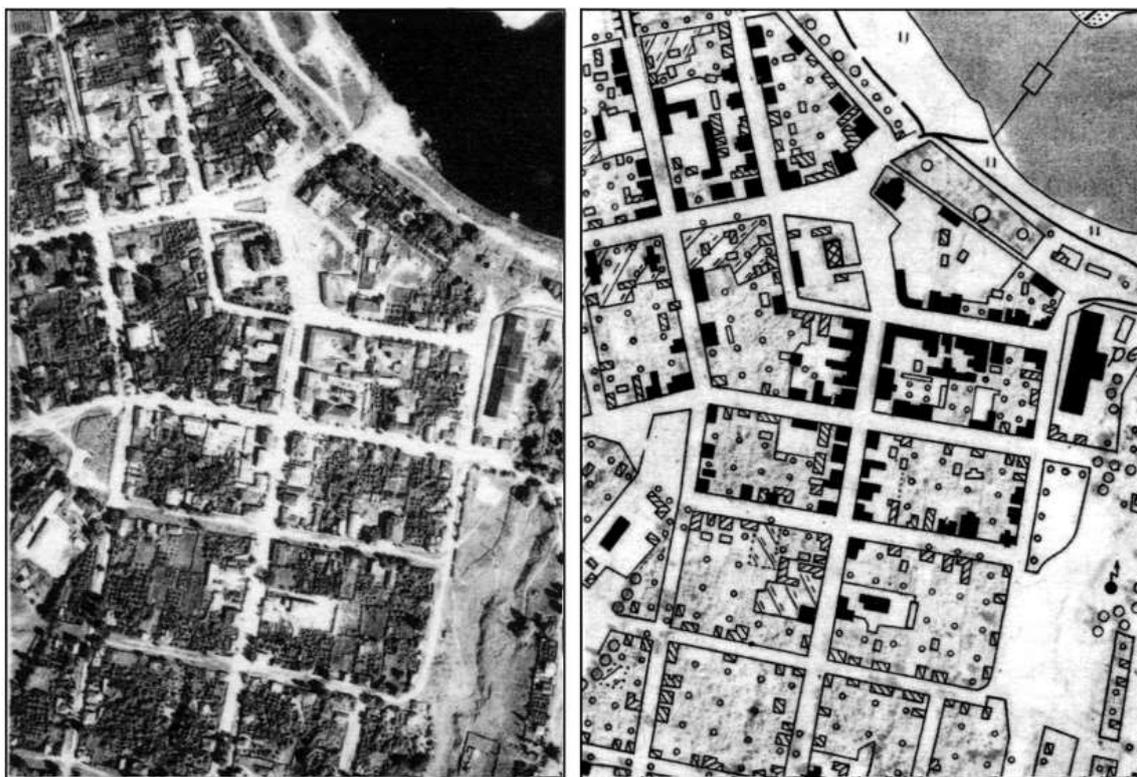


Рис. 2.1. Образец дешифрирования территории малого города

Вопросы

1. Какие дешифровочные признаки преобладают при топографическом дешифрировании городской территории – прямые или косвенные?
2. В каких случаях используются косвенные признаки?
3. Какие характеристики объектов, предусмотренные Условными знаками, нельзя определить в результате камерального дешифрирования?

Результат выполнения задания

Схема топографического дешифрирования части малого города.

Ответы на вопросы в письменном виде.



Рис. П1. Изображение части территории г. Апрельевки на космическом снимке QuickBird

Задание 2. Дешифрирование земельных угодий по разносезонным космическим снимкам

Введение. Земельные угодья – это земли, систематически используемые или пригодные к использованию для хозяйственных целей. Составление карт земельных угодий является одним из направлений картографирования земельных ресурсов и имеет конечной целью создание оптимальной системы территориально-хозяйственного землепользования. На картах земельных угодий показывают только тип и границы угодий без оценки их состояния, рыночной стоимости, характеристики землевладения. Различают два вида угодий – сельскохозяйственные и несельскохозяйственные.

К *сельскохозяйственным угодьям* относят пашни, многолетние насаждения, пастбища и сенокосы, а также участки садово-огородных товариществ. К категории пахотных земель, или пашни, относят не только обработанные поля, но и залежи, т. е. неиспользуемые в течение нескольких лет земли. Сады, виноградники, ягодники и т. п. относят к многолетним насаждениям. Пастбища и сенокосы – это земли с луговой, степной или пустынной растительностью, естественной или частично преобразованной, которые используют под выпас скота или заготовку кормов. *Лесные угодья* – это земли под лесной растительностью: леса, редколесья, кустарники, поросль леса, сюда же относят вырубки. В лесной зоне их часто используют под выпас скота.

К несельскохозяйственным угодьям относят *земли под застройкой*, так называемые селитебные земли, и *транспортные земли* под дорогами, линиями электропередачи, нефте- и газопроводами и т. п. Чем выше класс такого рода объектов, тем шире полоса отвода земель под них.

Характеристика территории. Участки, на примере которых выполняется задание, расположены на северо-западе Калужской области. Современный рельеф представляет холмисто-увалистую, густо расчлененную долинами рек, балками и лощинами, моренную равнину.

Климат умеренно-континентальный. Весна начинается с конца марта по начало апреля. Начало вегетационного периода (переход температуры через 5°) – с середины апреля до середины мая. Осень наступает в конце августа – начале сентября, активная вегетация растительности заканчивается во второй половине сентября.

Речная сеть относится к бассейну Волги, самые крупные реки – Ока и Протва с притоком р. Лужей.

Территория располагается в подзоне смешанных лесов, характерные коренные породы – ель и дуб, а также береза и осина. Наиболее залесенными являются бассейны рек Протвы и Угры, однако коренные леса в этом районе почти не сохранились в результате рубки, на их месте сформировались мелколиственные леса. Преобладающими почвами являются дерново-слабоподзолистые разного гранулометрического состава. В поймах рек на наилке, отлагающем-

ся во время половодья, под богатой травянистой растительностью формируются луговые почвы с мощным гумусовым горизонтом (до 60 см).

Сельскохозяйственные угодья занимают почти половину территории, из них под пашней более 70%, под кормовыми угодьями – около 25%. Сельское хозяйство ориентировано на молочно-мясное скотоводство, картофелеводство, возделываются кормовые культуры и зерно (пшеница, ячмень, рожь, овес, гречиха), картофель, другие овощные культуры.

Широко распространены низинные луга, представляющие собой кормовые угодья, значительная часть которых заросла кустарником и мелколесьем, за исключением заливных лугов в поймах Оки и нижнего течения Протвы. Почти все сельскохозяйственные угодья требуют мелиорации для повышения эффективности их использования.

Дешифровочные признаки. Пашни в целом отличает прямолинейность и угловатость границ. На космических снимках с высоким пространственным разрешением изображение пашни может иметь слабовыраженную полосчатую структуру. Это относится, прежде всего, к полям с посевами пропашных культур (картофель, свекла и т. д.). На достоверность дешифрирования пахотных земель влияют размеры полей и форма их нарезки: в лесной зоне и при расчлененности рельефа, как на картографируемой территории, поля имеют неправильную форму и небольшие размеры.

Особенность изображения пашни на используемых в задании снимках – разнообразие цвета, обусловленное различиями в составе и состоянии посевов сельскохозяйственных культур. *Весной*, в начале мая, поздние яровые и пропашные культуры еще не посеяны, а ранние яровые культуры находятся на стадии всходов и имеют очень низкое проективное покрытие. В то же время озимые уже начали активную вегетацию, проективное покрытие на полях может быть достаточно высоким, и, следовательно, цвет изображения более насыщенным. *Осенью*, в середине октября, на большей части полей урожай убран, на части из них осталась стерня с сорняками, другая часть распахана под посев будущего года. На полях под озимыми культурами уже появились всходы. Урожай пропашных культур (картофеля, свеклы) еще не полностью убран, и цвет изображения полей определяется растительностью, а не почвой.

Сенокосы и пастбища в лесной зоне на космических снимках разделить невозможно, потому что, как правило, для сенокосения и выпаса скота используются одни и те же участки территории – прежде всего пойменные луга, а также поляны в лесу. В отличие от пашни, угодья этого типа не имеют четких границ, их изображение обычно однотонное и бесструктурное. Поскольку в луговой растительности преобладают многолетние травы, аспект которых мало меняется в течение периода вегетации, изображение этих угодий на разносезонных снимках выглядит одинаковым. Важным косвенным признаком кормовых угодий является их приуроченность к днищам речных долин или расположение внутри лесных массивов.

Участки садово-огородных товариществ и дачные поселки на космических снимках высокого разрешения дешифрируются по прямолинейным внешним границам и мелкоструктурному

изображению. В отличие от сельских населенных пунктов здесь, как правило, нет широких улиц, а строения небольшого размера расположены бессистемно.

Лесные угодья дешифрируются на снимках относительно достоверно. На космических снимках высокого разрешения основным признаком изображения лесов служит цвет (или оттенки серого на черно-белых снимках). Хвойные насаждения обычно изображаются более темными, чем лиственные. Особенно четко различаются насаждения лесных пород в осеннее время, в период пожелтения листвы. Внутри изображения крупных лесных массивов можно видеть чередование участков с прямолинейными границами и разной насыщенностью цвета. Так изображаются зарастающие лесной растительностью старые вырубки.

Застроенные (селитебные) территории распознаются по характерной структуре изображения, в большей или меньшей степени регулярному чередованию элементов. У городских земель более четко выражен рисунок улиц, а зеленые насаждения образуют относительно крупные массивы компактной формы – парки, скверы. Улицы сельских населенных пунктов, не очень крупных на рассматриваемой территории, читаются не вполне уверенно, за исключением главной улицы, а изображение приусадебных участков не всегда отличается от изображения пахотных земель, что затрудняет распознавание границы населенного пункта.

Транспортные земли дешифрируются по их линейной форме. Железные дороги и магистральные автодороги отличаются от других объектов поворотами с большим радиусом кривизны. Часто они различаются между собой по цвету: первые изображаются очень темными в сочетании с цветом изображения растительности в случае широких лесополос вдоль них, а вторые – более светлыми из-за асфальтового покрытия и примыкающих к нему полос щебня. Изображение грунтовых дорог различается в зависимости от цвета почвенного покрова, но чаще они выделяются более светлым цветом на окружающем фоне.

Цель задания – освоить приемы визуального дешифрирования с использованием разносезонных космических снимков на примере картографирования земельных угодий.

Материалы

Фрагменты разносезонных многозональных космических снимков со спутника Landsat-7 в масштабе 1:100 000. Съёмка 4 мая 2001 г. и 16 октября 1999 г.

Для выполнения задания используются цветные синтезированные изображения в варианте синтеза RGB–432, т. е. снимку в канале 4 (ближний инфракрасный участок спектра) присвоен красный цвет, каналу 3 (красный участок) – зеленый, а каналу 2 (зеленый участок) – синий.

Порядок выполнения задания

1. Выполнить дешифрирование земельных угодий, сопоставляя разносезонные изображения (рис. П2). Оформить результаты в условных обозначениях, приведенных ниже. Легенда общая для всех фрагментов снимка, в ней даны обозначения видов угодий, встречающихся хотя бы на одном из фрагментов снимка.

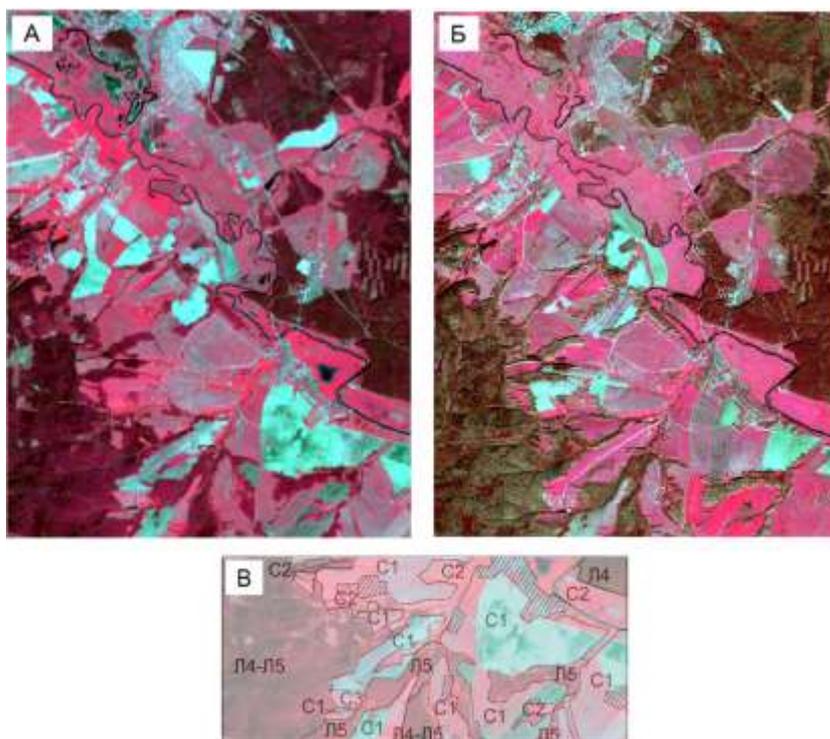


Рис. П2. Дешифрирование земельных угодий по многозональным разносезонным снимкам со спутника Landsat-7, вариант синтеза RGB – 4,3,2 каналы: А, В – съемка 4 мая 2001 г.; С, Д – съемка 16 октября 1999 г.; Д – образец дешифрирования, обозначения в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Условные обозначения к схеме дешифрирования земельных угодий

Сельскохозяйственные земли:	
С1	Пашня
С2	Сенокосы и пастбища
С3	Садово-огородные участки
Лесные земли:	
Л4	Хвойные леса
Л5	Лиственные леса и кустарники
Селитебные земли:	
	Поселки городского типа и сельские населенные пункты
Транспортные земли:	
	Железные дороги
	Автомагистрали
	Линии электропередачи

Вопросы

1. Какие дешифровочные признаки преобладают при распознавании земельных угодий?
2. Какой класс объектов более уверенно дешифрируется по разносезонным снимкам?
3. Какие объекты распознаются наиболее уверенно, а какие наименее?

Результат выполнения задания

Схема дешифрирования земельных угодий. Ответы на вопросы в письменном виде.

Задание 3. Дешифрирование овражно-балочной сети по космическим снимкам с разной детальностью изображения

Введение. В степных и лесостепных районах нашей страны массовая распашка плодородных земель в конце XIX в. привела к активизации эрозионных процессов, образованию многочисленных оврагов. Целый ряд мер направлен на предотвращение дальнейшего развития эрозии. Небольшие массивы леса в верховьях оврагов охраняются от вырубок, склоны и днища балок не распахиваются, в качестве противозэрозионного мероприятия применяется создание прудов на малых реках и в балках.

Эрозионные процессы, в частности развитие овражной сети, увеличивают площади неудобных земель или сильно снижают качество обрабатываемых, что служит необходимостью их изучения и картографирования. Среди морфометрических геоморфологических карт особое место занимают карты горизонтальной расчлененности рельефа. Аэрокосмические снимки служат ценным источником для создания такого рода карт.

Космические снимки разной детальности отображают местность на разном иерархическом уровне, в частности обеспечивают картографирование эрозионного рельефа от отдельных эрозионных форм до эрозионных систем и границ водосборных бассейнов.

Характеристика территории. Задание выполняется на примере территории, расположенной на границе Курской и Орловской областей.

Климат территории умеренно континентальный, с умеренно холодной зимой и теплым летом. Характерна неравномерность в распределении атмосферных осадков: из 550 мм в год на тёплый период (апрель-октябрь) приходится 65–70%, выпадают они в виде сильных дождей и ливней.

Большинство рек территории относится к очень малым, их долины по форме напоминают крупные балки. Характерной особенностью гидрографической сети является большое количество искусственных водоемов – прудов и малых водохранилищ (до 30 водоемов на 1000 км²).

Территория расположена на юго-западных склонах Среднерусской возвышенности. Поверхностными образованиями служат лёссовидные суглинки и лёсс, мощность которых по склонам речных долин и балок достигает 10–12 м, следствием чего является высокая эродированность чернозёмных почв.

Рельеф пологоволнистый, долинно-овражно-балочный. В междуречьях преобладают высоты 200–250 м, речные долины врезаются до глубины 80–100 м. Наибольшие высоты приурочены к Тимско-Щигровской гряде, служащей водоразделом между бассейнами Днепра и Дона.

Степные участки почти полностью распаханы. Лесная растительность представлена широколиственными лесами по верховьям и склонам балок, так называемыми байрачными лесами, имеющими важное противозэрозионное значение.

Среднерусская возвышенность представляет собой классический район развития овражно-балочного рельефа (густота долинно-балочной сети составляет 1,1–1,5 км/км²). Здесь есть все необходимые условия для этого: тенденция к тектоническому поднятию, мягкий состав поверхностных пород, интенсивность таяния снежного покрова, ливневой характер летних дождей, вырубка лесов и неправильная распашка в относительно недавнем прошлом. Именно комплекс факторов, а не отдельные условия объясняет широкое распространение оврагов.

Дешифровочные признаки. Овражно-балочный тип рельефа представлен на территории тремя основными формами, последовательно развивающимися во времени – овраги, балки и речные долины.

Овраг – линейно вытянутая отрицательная форма рельефа, образованная эрозионной работой временных водотоков. Он начинается или отвесным уступом, к которому со всех сторон ведет пологий наклон поверхности, или циркообразным расширением с радиально сходящимися разветвлениями. На снимке растущий овраг распознается по резкой тени, но часто его верховья маскирует изображение лесной растительности.

По мере развития боковые склоны оврага выполяживаются, а дно расширяется за счет денудационных процессов, овраг постепенно переходит в балку. Этот переход совершается не сразу на всем протяжении эрозионной формы. Когда в нижней и средней частях уже выработалась балочная форма, в верховье и боковых отвершках может продолжаться глубинная эрозия и рост оврага в длину. На снимках балки обычно распознаются вполне уверенно. Их днище всегда больше увлажнено, чем склоны и водораздельные поверхности, и с ранней весны покрыто густой травянистой растительностью, а потому имеет высокую яркость в ближнем инфракрасном участке спектра и очень низкую – в красном. На склонах балок почвенный покров увлажнен существенно меньше и луговая растительность имеет меньший объем зеленой массы, а следовательно, и более низкую яркость в ближней инфракрасной части спектра. Из-за крутизны склоны балок не распаиваются, что служит косвенным дешифровочным признаком.

Овражно-балочные системы могут достигать значительной длины. Отличительный признак такой системы на космических снимках – древовидный рисунок изображения. На водораздельном плато верховья оврагов и балок часто сильно ветвятся, благодаря чему водораздельная линия приобретает сложный, извилистый или зигзагообразный характер.

Цель задания – освоить приемы визуального дешифрирования космических снимков с разным пространственным разрешением на примере эрозионного рельефа.

Материалы

1. Фрагмент космического снимка GeoEye, цветное синтезированное изображение в натуральной цветопередаче (копия Google Earth, <http://earth.google.com>). Пространственное разрешение около 2 м. Съемка 27 июля 2010 г. (рис. ПЗ, А)

2. Фрагмент космического снимка SPOT-5. Для выполнения задания используется в варианте синтеза RGB–3,2,1, т. е. снимку в канале 3 (ближний инфракрасный участок спектра, 0,78–0,89 мкм) присвоен красный цвет, каналу 2 (красный участок спектра, 0,61–0,68 мкм) – зеленый, а каналу 1 (зеленый участок спектра, 0,50–0,59 мкм) – синий. Пространственное разрешение 10 м. Съемка 3 июня 2010 г. (рис. ПЗ, В)

3. Фрагмент космического снимка TM/Landsat-5. Используется в варианте синтеза RGB–4,3,2, т. е. снимку в канале 4 (ближний инфракрасный участок спектра, 0,75–0,90 мкм) присвоен красный цвет, каналу 3 (красный участок спектра, 0,63–0,690 мкм) – зеленый, а каналу 2 (зеленый участок спектра, 0,525–0,605 мкм) – синий. Пространственное разрешение 30 м. Съемка 29 мая 2007 г. Более светлое изображение в нижней части снимка объясняется наличием тонкой пелены облаков верхнего яруса в момент съемки.

4. Карта гидрографической сети масштаба 1:2 000 000.

Программное обеспечение – графический редактор CorelDraw, возможно использование ILWIS, Adobe Illustrator и других программ, позволяющих создавать векторные слои по растровой подложке.



Рис. ПЗ. Дешифрирование эрозионного рельефа по космическим снимкам с разным пространственным разрешением: А – GeoEye, 27 июля 2010 г.; Б – образец дешифрирования фрагмента

Порядок выполнения задания

1. Составить схему дешифрирования участка крупной балки в масштабе 1:10 000 по снимку GeoEye, показать на ней следующие элементы:

- днище балки
- склоны балки
- эрозионные рывтины на склонах
- плакорные поверхности.

Действия в программе. Импортировать снимок (File–Import), создать новый слой (New Layer) Инструментом Rectangle Tool (прямоугольник) нарисовать рамку. Распознать площадные объекты, провести границы дешифрованных выделов, пользуясь инструментом Bezier Tool (сплайн Безье, замкнутая линия). Обозначить полигоны заливкой Fill Tool–Fill Tool Dialog–выбрать цвет. Создать еще один слой и показать линейные элементы – ручей на дне балки и эрозионные рытвины – пользуясь инструментом Freehand Tool (незамкнутая линия); в панели инструментов выбрать Outline Tool–Outline Pen Dialog, присвоить цвет (Color), толщину линии (Width) и ее рисунок (Style).

Добавить легенду, для чего построить первую шашку (Rectangle Tool), дублировать нужное количество шашек (Ctrl+D). Скопировать в легенду цвет выделов: выделить шашку, в главном меню Edit–Copy Properties From, в открывшемся окне отметить Fill, Outline Pen, Outline Color–ОК, появившейся стрелкой щелкнуть в нужном контуре. Нарисовать и оформить знаки линейных элементов, повторив действия. Подписать обозначения.

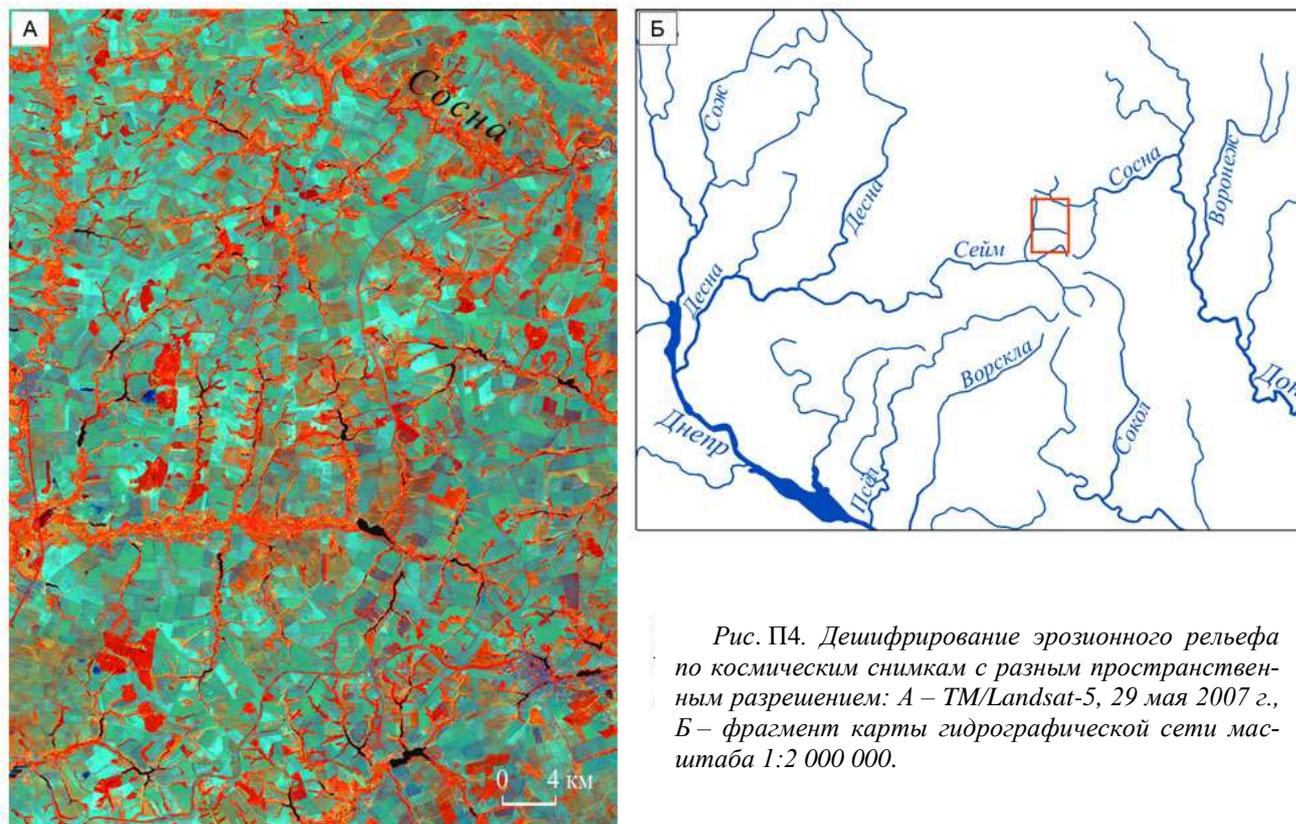
2. На фрагменте космического снимка SPOT-5 изучить структуру овражно-балочной сети в пределах верхней части бассейна р. Рать, притока Сейма. Составить схему дешифрирования эрозионной сети в масштабе 1:100 000 (рис.ПЗ, В,Г).



Рис. ПЗ. Дешифрирование эрозионного рельефа по космическим снимкам с разным пространственным разрешением: В – SPOT-5, 3 июня 2010 г.; Г – образец дешифрирования

Действия в программе. Импортировать снимок, в новом слое линейным знаком нарисовать рамку и тальвеги распознанных эрозионных форм рельефа. Оформить схему, добавить условный знак тальвегов.

3. По снимку TM/Landsat-5 составить схему дешифрирования речных бассейнов: определить границы бассейнов малых рек, выделить водораздел самого высокого порядка между бассейнами Дона и Днепра, пользуясь картой гидрографической сети (рис. П4).



Действия в программе. Импортировать снимок, в новом слое линейным знаком нарисовать водоразделы бассейнов малых рек, выделить водораздел самого высокого порядка. Оформить схему, добавить рамку и условные знаки водоразделов.

4. Сравнить изображения эрозионных форм рельефа на снимках с разным пространственным разрешением и выявить их различия.

Вопросы

1. В каких случаях верховья оврагов определяются уверенно, а в каких нет?
2. Насколько уверенно распознаются днище и склоны балок на снимках с пространственным разрешением 10 м – уверенно, не вполне уверенно, неуверенно?
3. Какие элементы эрозионной сети распознаются на снимках с разным пространственным разрешением (1 м, 10 м, 30 м)?

Результат выполнения задания

1. Схемы дешифрирования а) отдельной балки (масштаб ~1:10 000), б) эрозионной сети в верховьях реки (масштаб ~1:100 000), в) речных бассейнов (масштаб ~1:200 000).
2. Ответы на вопросы в письменном виде.

Задание 4. Дешифрирование горно-таежных лесов по многозональным фотографическим снимкам разных масштабов

Введение. Основными факторами, определяющими дешифрируемость растительности на аэрокосмических снимках, являются спектральные отражательные свойства и их сезонная изменчивость.

Спектральная яркость зеленых растений сильно варьирует, но имеет одну общую закономерность: два минимума и два максимума в оптическом диапазоне спектра. Минимумы объясняются поглощением солнечных лучей синего и красного участков спектра пигментами листьев растений, прежде всего хлорофиллом. Максимум в зеленом участке спектра обусловлен отражением излучения поверхностью листьев, а в ближней инфракрасной области спектра – внутренней структурой листа. Спектральные свойства лесной растительности существенно зависят от геометрии растений, яркость лиственных пород деревьев, как правило, выше, чем хвойных. Дешифрируемость сообществ растительности различна в течение года, так как спектральные свойства растений изменяются в зависимости от стадии вегетативного развития. Породный состав лесной растительности в наилучшей степени распознается на снимках, сделанных осенью, в период пожелтения листвы.

Характеристика территории. Задание выполняется на примере трех участков на юго-западном побережье Охотского моря. Территория располагается на широте юга Тульской обл., но относится к зоне тайги, более того, здесь широко распространена многолетняя мерзлота. Этому способствуют соседство холодного Охотского моря, влажное прохладное лето и суровая зима. Среднегодовая сумма осадков 650 мм, особенно много их в июле и августе.

Рельеф представлен сочетанием разнообразных форм, но большую часть площади занимают низкие горы, максимальные отметки высот которых не превышают 1000 м над уровнем моря. Равнинные пространства – это древние морские террасы, они приурочены к узкой полосе вдоль побережья, а также к долинам рек Тугура и Уды. Здесь повсеместно развита многолетняя мерзлота, которая является причиной формирования марей – специфического вида кочковатых осоково-сфагновых болот с кустарничками и угнетенным лиственничным редколесьем.

На горных склонах хорошо выражена высотная поясность. Нижние и средние склоны заняты хвойными лесами. Главная порода – лиственница даурская, в древостоях присутствует также ель аянская. Выше границы тайги расположен пояс кедрового стланика, вечнозеленого сильно ветвистого стелющегося кустарника семейства сосновых.

Дешифровочные признаки. Лиственничные насаждения всегда характеризуются редким и светлым древостоем, поэтому на снимках, полученных при низком солнце, между кронами деревьев просматриваются тени. Чистые лиственничники встречаются относительно редко, преимущественно на старых гарях. Лиственница отличается большой приспособляемостью к усло-

виям местообитания, и произрастает также на переувлажненных равнинных участках, низких склонах и вблизи верхней границы распространения леса. На снимках растительность зафиксирована в осеннем аспекте (в Приохотье растения приобретают его к середине сентября), хвоя лиственницы уже пожелтела, и изображения лиственничных насаждений имеют на снимках в видимой части спектра почти белый цвет.

Ель аянская теневынослива и образует настолько густые, сомкнутые древостои, что ветви с хвоей сохраняются лишь в привершинной части деревьев, вследствие чего на всех снимках она имеет самый темный тон изображения. Ель очень требовательна к условиям произрастания и занимает средние по высоте участки склонов.

Заросли кедрового стланика приурочены к гребням хребтов и прибрежным склонам, обращенным к морю, где они спускаются до самых подножий. Благодаря способности полегать под снег растение может переносить сильные морозы и ледяные ветры с Охотского моря. На нижней границе распространения стланика, как правило, в насаждениях участвует лиственница.

Болотная растительность имеет осенью красновато-бурый аспект, который создают листья карликовых берез и кустарничков багульника и голубики.

Спектральный образ растительных сообществ, представленный в виде графика значений яркости на зональных снимках, может служить дешифровочным признаком. На рис. 2.2 показаны типичные кривые яркости основных видов растительности, полученные в результате фотометрических измерений на многозональных аэрофотоснимках, используемых в задании.

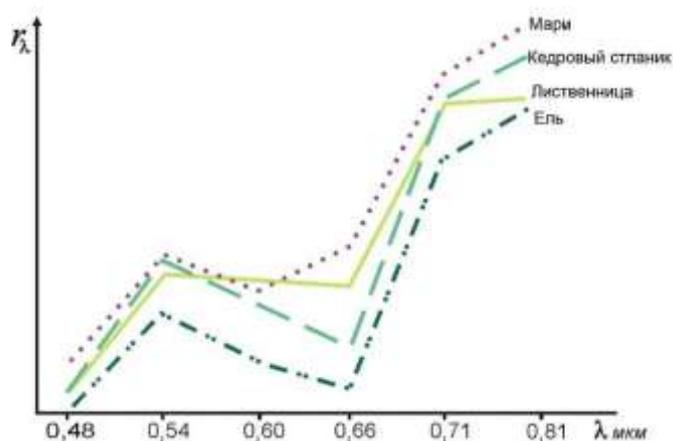


Рис. 2.2. Типичные кривые спектральной яркости основных видов растительности

В красном участке спектра (0,66 мкм) низкую яркость имеет стланик из-за поглощения лучей этого участка спектра хлорофиллом и очень низкую яркость – еловые леса. Отсутствие хлорофилла обуславливает высокую яркость лиственничных насаждений и болотной растительности марей за счет листопадных видов и сфагнома в ее составе.

В ближнем инфракрасном участке спектра (0,81 мкм) наибольшей яркостью обладает стланик с обильной хвоей и тонкими стволами и болотная растительность марей благодаря наличию в ее составе вечнозеленых видов (брусники, клюквы), не потерявших хлорофилл трав (осоки), а также сфагнома, имеющего высокую яркость по всему диапазону спектра. Насаждения лиственницы с пожелтевшей хвоей и густые ельники имеют значительно меньшую яркость и плохо

различаются между собой. В целом разброс значений яркости растительных сообществ в красном участке спектра заметно больше, чем в ближнем инфракрасном.

Цель задания – освоить приемы визуального дешифрирования лесной растительности по прямым спектральным и косвенным дешифровочным признакам на многозональных снимках.

Материалы

1. Зональные аэрофотоснимки в масштабе 1:25 000 в красной (0,66 мкм) и ближней инфракрасной (0,81 мкм) съемочных зонах. Аэрофотосъемка выполнена 2 октября 1978 г. многозональной фотографической камерой МКФ-6.

2. Анаглифическая стереопара черно-белых (изопанхроматических) аэрофотоснимков в масштабе 1:100 000. Аэрофотосъемка выполнена одновременно с многозональной съемкой 2 октября 1978 г. топографическим аэрофотоаппаратом ТЭС-5 с фокусным расстоянием $f=50$ мм.

3. Зональные космические снимки, увеличенные до масштаба 1:250 000, в красной (0,66 мкм) и ближней инфракрасной (0,81 мкм) съемочных зонах. Съемка выполнена с космического корабля «Союз-22» 18 сентября 1976 г. многозональной фотографической системой МКФ-6, аналогичной камере, выполнявшей аэрофотосъемку.

Порядок выполнения задания

1. Проанализировать график кривых спектральной яркости (см. рис. 2.2) и на многозональных аэрофотоснимках масштаба 1:25 000 выявить дешифровочные признаки основных видов растительности – тон изображения в красной и ближней инфракрасной съемочных зонах. Сопоставляя зональные изображения, выполнить дешифрирование породного состава лесов и обозначить порядковыми номерами еловые (1), лиственничные (2), смешанные елово-лиственничные (3) леса; заросли кедрового стланика монодоминантные (4) и в сочетании с лиственницей (5), мари (6) (рис. П5).

В качестве косвенных признаков использовать связь растительного покрова с рельефом, для чего воспользоваться анаглифическим стереоизображением из аэрофотоснимков масштаба 1:100 000.

2. На стереопаре аэрофотоснимков масштаба 1:100 000 опознать участок, изображенный на крупномасштабном снимке. Использовать результаты дешифрирования, выполненного на первом этапе, в качестве эталона, определить дешифровочные признаки растительных объектов на мелкомасштабном черно-белом аэрофотоснимке и выполнить дешифрирование породного состава лесной растительности в пределах участка.

3. На фрагментах космического снимка в красной и ближней инфракрасной съемочных зонах (масштаб 1:250 000) опознать участок, отдешифрированный на предыдущем этапе работы, и выполнить дешифрирование породного состава лесов в его пределах.

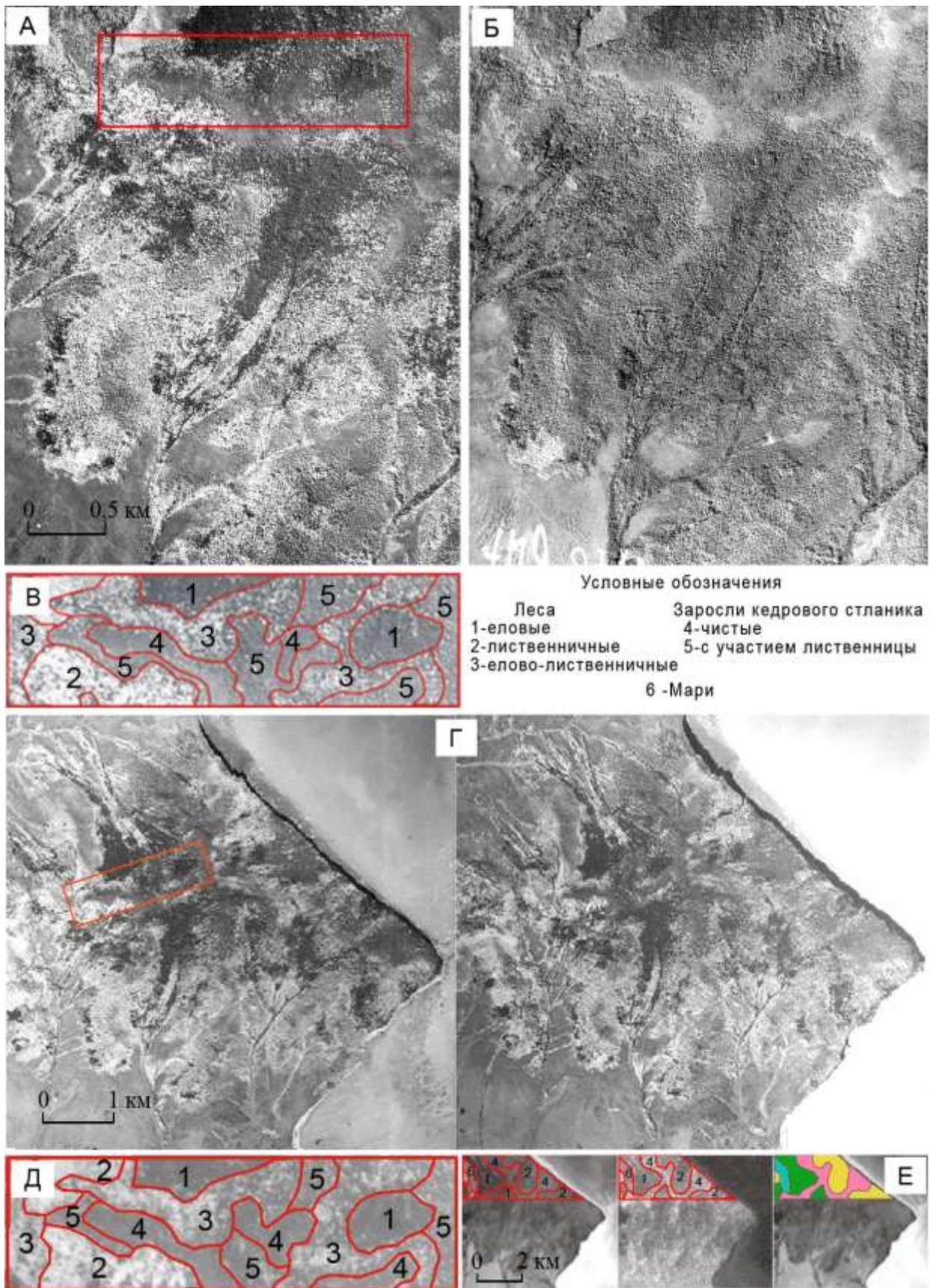


Рис. П5. Дешифрирование лесной растительности по аэро и космическим снимкам. Зональные аэрофотоснимки: А – в красной (0,66 мкм), Б – ближней инфракрасной (0,81 мкм) съемочных зонах, В – образец их дешифрирования в масштабе 1:25000. Изопанхроматические аэрофотоснимки: Г – стереопара, масштаб 1:100 000; Д – образец дешифрирования. Зональные космические снимки: Е – в красной (0,66 мкм) и ближней инфракрасной (0,81 мкм) съемочных зонах, образец дешифрирования

4. Сопоставить результаты дешифрирования породного состава лесной растительности на разномасштабных снимках, выявить особенности обобщения содержательной и контурной части изображения при переходе от масштаба к масштабу.

Вопросы

1. Как изменяются границы лесных насаждений, нарисованные по снимкам разных масштабов?
2. В чем заключается изменение легенды при переходе к масштабу 1:250 000?
3. Чем объясняются ошибки в дешифрировании состава древесной растительности по спектральному признаку на склонах разной экспозиции?
4. Как влияют особенности фотографических снимков, в частности неравномерность распределения яркости в кадре, на достоверность распознавания видов растительности?

Результат выполнения задания

1. Схемы дешифрирования лесной растительности в масштабах 1:25 000, 1:100 000, 1:250 000.
2. Ответы на вопросы в письменном виде.

Задание 5. Функциональное зонирование городской территории по космическому снимку сверхвысокого пространственного разрешения

Введение. Функциональное зонирование городской территории предполагает выделение участков, однородных по характеру использования: жилой застройки, промышленных предприятий, объектов транспорта, зеленых насаждений. Это одно из приоритетных направлений в картографировании городских территорий. Карты функциональных зон городской территории нацелены на принятие управленческих решений, планирование застройки, проведение экологических исследований, а также служат основой для создания генеральных планов развития городской территории, карт фактического использования земель.

Долгое время основными источниками информации для функционального зонирования территории служили топографические планы городов и статистические данные, обновление которых не успевало за развитием городской территории. Попытки использования данных космических съемок не давали положительных результатов из-за недостаточно высокого пространственного разрешения снимков. Широкое распространение космических снимков с пространственным разрешением лучше 5 м делает возможным решение этой задачи. Дешифрирование городской территории, в том числе и для ее функционального зонирования, выполняется преимущественно приемами визуального дешифрирования из-за важной роли косвенных признаков, ибо только они позволяют определить по снимку функции того или иного типа застройки и выделить зоны по их функциональному назначению. Компьютерные программы распознают объекты по яркостным свойствам, которые для большинства объектов городской территории – зданий, асфальтированных улиц и площадей – практически идентичны, поэтому компьютерные технологии целесообразно использовать для выделения объектов городской территории, отличающихся от остальных по своим спектральным свойствам, – водных объектов и зеленых насаждений.

Характеристика территории. Город Астрахань, на примере которого выполняется задание, – административный центр Астраханской области в 1,5 тыс. км к юго-востоку от Москвы. Город расположен на островах в верхней части дельты Волги. Территория города – 500 км², численность населения на 2010 г. составляет 520 тыс. человек. В 2008 г. Астрахань отметила 450-летие. Как старейший город в Нижнем Поволжье, она входит в число 115 городов России, признанных исторически ценными.

Астрахань – современный город, который развивается как вполне сложившийся комплекс, сочетающий геополитическое положение, промышленно-экономическую зону, удобные транспортные подходы, необходимые интеллектуальные и кадровые ресурсы. Расположение Астрахани в дельте Волги, богатой запасами природных ресурсов, способствует развитию топливно-энергетического комплекса, судостроения, пищевой (рыбной и плодоовощной), химической и

нефтехимической промышленности, туризма. Астрахань – крупный транспортный узел на стыке Азии и Европы: железнодорожные пути ведут в Казахстан и Азербайджан, морской порт открыт для международного сообщения.

Дешифровочные признаки. Жилая застройка уверенно распознается на снимках по комплексу признаков – форме в плане, размеру, тени и рисунку изображения. Жилые дома обычно имеют в плане форму прямоугольника или квадрата, система прямоугольных блоков может указывать на здания сложной формы. По размеру дома в районах малоэтажной застройки (размер в среднем 10x10 м) отличаются от зданий многоэтажной застройки, построенных по стандартным проектам 1960–70-х годов (ширина 15–20 м, длина 30–90 м). Дома современной застройки более разнообразны по форме и размерам. По падающей тени можно судить о высоте (этажности) и силуэте строения. Важный признак жилой городской застройки – рисунок изображения, поскольку строения образуют четкую структуру – ряды вдоль улиц, полузамкнутые или замкнутые кварталы.

Сочетание формы в плане, размеров и длины тени строений, а также ширины улиц позволяет разделить многоэтажную и малоэтажную жилую застройку. Периферийные части города часто являются бывшими сельскими поселениями, включенными в городскую территорию, и жилые дома здесь могут иметь приусадебные участки.

Общественно-деловая зона обычно приурочена к центру города, но отдельные объекты, относящиеся к ней, располагаются внутри жилых кварталов или по соседству с ними. К объектам этой зоны относятся административные здания, школы и детские сады, театры, спортивные сооружения. Они распознаются по специфической форме в плане или по более крупным размерам, существенную роль играют косвенные признаки. Для школ и детских садов характерны здания малой этажности, типовой формы в плане, расположенные внутри квартала и окруженные зелеными насаждениями, иногда со спортивными площадками. Для больниц типичны здания разного размера, формы и этажности на озелененной территории. Вторую группу в общественно-деловой зоне составляют объекты торговли. На космических снимках могут быть отдешифрированы только крупные объекты – торговые центры и рынки, косвенным признаком которых служит скопление легкового автотранспорта.

Промышленно-транспортная зона. Отдельные корпуса промышленных предприятий отличаются от строений жилой зоны нестандартными размерами и, как правило, бессистемным размещением по территории. Косвенными признаками промышленных предприятий служат почти полное отсутствие на территории зеленых насаждений и хорошие подъездные пути, в том числе железнодорожные, по падающей тени дешифрируются промышленные трубы.

В транспортный комплекс входят объекты городского и внешнего транспорта. К первым относятся городские магистрали, отличающиеся от улиц большей шириной и загруженностью

машинами, автотранспортные предприятия (автопарки, автостанции), гаражи и стоянки транспорта, признаком которых служит скопление однотипных машин или автобусов. Внешний транспорт – это железные дороги, аэропорты, речные и морские порты. Железнодорожные пути в городе распознаются как не связанные с системой улиц линейные объекты с полосой отвода, занятой мелкими строениями, станционными площадками, иногда гаражами. Вокзалы – обычно крупные здания, с привокзальной площадью, торговыми комплексами, стоянками автотранспорта.

Зона специального назначения включает объекты коммунального хозяйства, мелкие предприятия, склады. Чаще это огороженная территория с хаотично разбросанными преимущественно малоэтажными зданиями. Косвенный признак этой зоны – размещение на участках, непригодных для жилой застройки – вдоль железнодорожных путей, рядом с промышленными объектами, по берегу реки.

Зеленые насаждения и водные объекты. Специфические спектральные свойства отличают их от объектов других функциональных зон. Водные объекты наиболее уверенно дешифрируются на снимках в ближнем инфракрасном участке спектра электромагнитных колебаний, на которых они изображаются черным цветом. Вегетирующая растительность более достоверно распознается на цветных изображениях с участием ближнего инфракрасного канала. Городские парки и скверы можно отличить от внутриквартальных насаждений по специфическому рисунку.

Цель задания – освоить приемы визуального дешифрирования космических снимков со сверхвысоким пространственным разрешением на примере функционального зонирования участка городской территории.

Материалы

Фрагменты двух разновременных изображений со спутника QuickBird (копия Google Earth). Съемка 18 июля и 10 августа 2005 г. Фрагменты представлены в виде цветных синтезированных изображений в натуральных цветах с улучшенным пространственным разрешением до 0,6 м (рис. Пб).

Программное обеспечение – CorelDraw, возможно использование Adobe Illustrator или других программ, позволяющих создавать векторные слои по растровой подложке.

Порядок выполнения задания

1. Вывести на экран фрагмент космического снимка с изображением рамки, в пределах которой нужно выполнить дешифрирование.
2. Внимательно просмотреть изображение, используя описание дешифровочных признаков и выполнить дешифрирование, начиная с уверенно распознаваемых объектов.
3. Оконтурировать отдешифрированные объекты. Отнести выделенные контуры к соответствующим классам легенды:

Жилая зона

1. Многоэтажная застройка (3 этажа и выше)
2. Малоэтажная застройка (1–2 этажа, в том числе с земельными участками)

Общественно-деловая зона

4. Объекты социально-культурного назначения (администрация, учебные заведения, детские сады, медицинские учреждения, спортивные сооружения)
5. Объекты торговли (торговые центры, рынки)

Промышленно-транспортная зона

6. Промышленные предприятия (заводы, фабрики)
7. Объекты транспорта (городские магистрали, стоянки автотранспорта, гаражи; железнодорожные пути с полосой отвода)

Зона специального назначения

8. Объекты коммунального хозяйства, склады, мелкие предприятия

Природно-рекреационная зона

9. Зеленые насаждения (скверы, парки)
10. Водные объекты (река, озера)

Действия в программе CorelDraw. Добавить новый слой: в окне Layers щелкнуть значок (Create new layer). В панели инструментов выбрать «перо» (Pen tool) и обвести контуры функциональных зон.

В панели инструментов или в окне Color (цвет) поочередно двойным щелчком войти в палитру и выбрать цвет заливки (Fill) и цвет (серый) контура (Stroke). В окне Stroke выбрать толщину линии (Weight). В каждом из контуров поставить порядковый номер класса из текста легенды, приведенного выше: в панели инструментов выбрать «Т» (Type Tool), на нужном месте поставить цифру, выделить ее, в верхней панели инструментов выбрать тип шрифта (Font) и размер (Size).

4. Создать условные обозначения составленного картографического изображения.

Действия в программе. Добавить новый слой. В меню инструментов выбрать «прямоугольник» (Rectangle tool), нарисовать шашку легенды, затем путем копирования (Copy–Paste) добавить нужное количество шашек. Выровнять шашки легенды по левому краю (Window–Align–Align Object–Horizontal Align Left) и по расстоянию между ними (Window–Align–Align Object–Vertical–Distribute Top). Копировать цвета заливки контуров в легенду: выделить первую шашку, в панели инструментов выбрать «пипетку» (Eyedropper Tool) и щелкнуть ею на соответствующий объект, повторить операцию для всех объектов. Добавить порядковые номера классов (см. пункт 4). Сохранить файл.

Вопросы

1. Какие признаки, прямые или косвенные, преобладают при дешифрировании функциональных зон городской территории?
2. Какие из функциональных зон распознаются наименее уверенно, почему?
3. Предложите вариант легенды, при условии, что карта создается только по снимкам, без дополнительных источников информации.

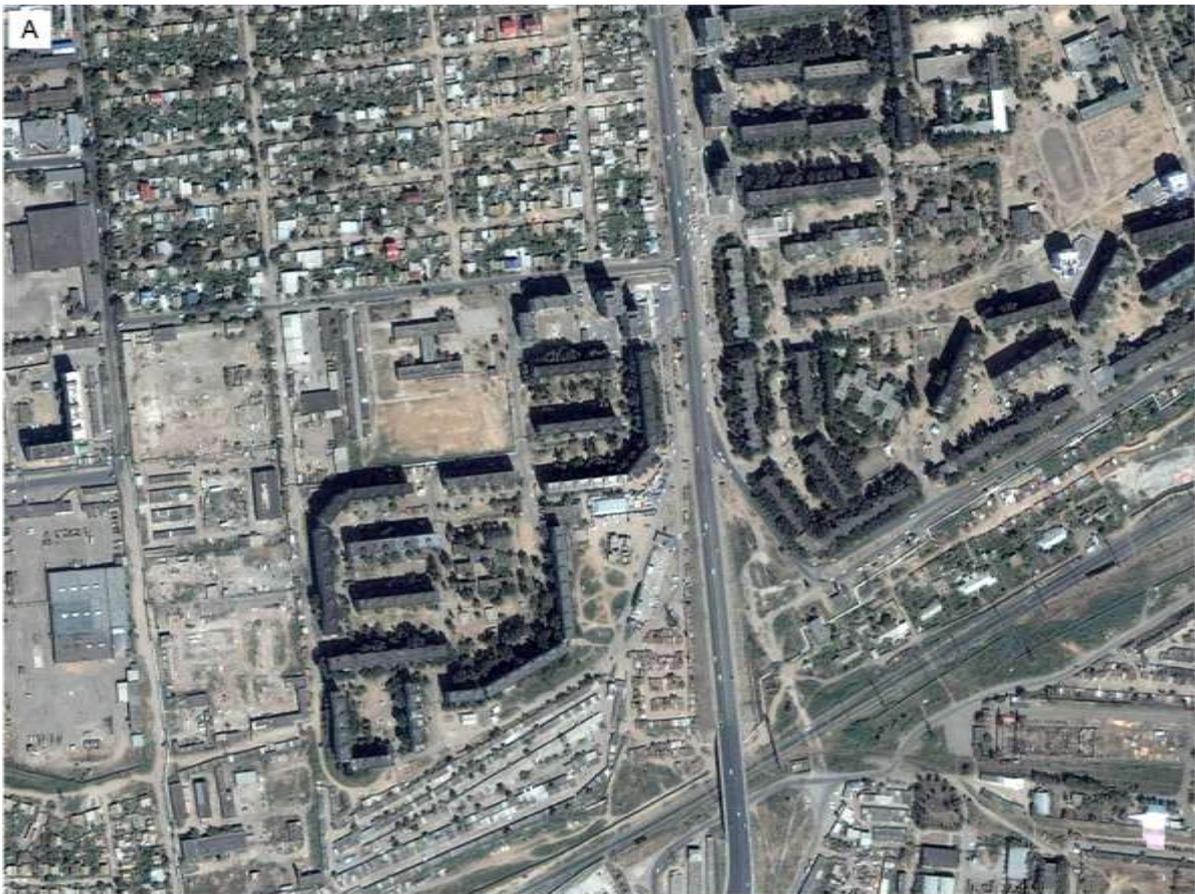


Рис. Пб. Дешифрирование функциональных зон городской территории: А – фрагмент космического снимка QuickBird, Б – образцы дешифрирования (обозначения в тексте)

Результат выполнения задания

1. Схема дешифрирования функциональных зон участка городской территории.
2. Ответы на вопросы в письменном виде.

3. КОМПЬЮТЕРНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Под компьютерным дешифрированием понимается программная обработка цифровых снимков, нацеленная на распознавание объектов в результате их группировки по определенному признаку. В настоящее время преобладают программы, использующие в качестве признака спектральную яркость изображения, реже используются программы, выявляющие структуру изображения.

3.1. Программы обработки цифровых снимков

Обработка аэрокосмических данных ведется преимущественно средствами программных пакетов, специально предназначенных для этого. Часто такие программные комплексы обеспечивают не только извлечение информации из снимков, но и отображение ее на картографической основе, а также интеграцию с данными ГИС.

Программные продукты для обработки снимков довольно многочисленны и различны по сложности и набору входящих в их состав программ. Среди пакетов высокого уровня наибольшее распространение у нас в стране получили ENVI (ITT Visual Information Solutions), ERDAS Imagine (ERDAS Inc), PCI Geomatica (PCI Geomatics Inc). Эти программные продукты обеспечивают полный комплекс обработки всех существующих в настоящее время видов съемки. Овладение программами такого уровня – самостоятельная задача, требующая не столько навыков распознавания объектов на снимках, сколько высокого уровня компьютерной грамотности.

В свободном доступе существуют программные комплексы, также обеспечивающие выполнение основного набора операций обработки снимков, необходимых для картографирования и мониторинга территории. Для визуального дешифрирования можно использовать программы, имеющие функции импорта растрового изображения и создания по нему векторных слоев (например, Adobe Illustrator, CorelDraw). Некоторые из специализированных ГИС-комплексов, в частности ArcGIS (ESRI), позволяют выполнять простейшие яркостные преобразования.

При выборе программ для выполнения практических работ по географическому дешифрированию принимались во внимание следующие требования:

- обеспечение работы со снимками в системе координат и возможности геометрической коррекции снимков;
- выполнение операций по визуализации снимков и улучшению их изобразительных свойств;
- реализация основных алгоритмов кластеризации, классификации и т. п.;
- возможность работы с векторными данными, позволяющая доводить результаты дешифрирования и обработки снимков до законченных картографических продуктов.

Задания практикума ориентированы на использование открытых, свободно распространяемых программных продуктов, созданных для обучения в области обработки космических снимков – ILWIS и MultiSpec, которые дополняют друг друга по возможностям. Оба программных пакета занимают малый объем памяти на диске, могут использоваться на большинстве компьютеров без установки.

ILWIS (Integrated Land and Water Information System) – интегрированная растрово-векторная система, разработанная в Международном институте геоинформационных технологий и наук о Земле (ITC, Нидерланды) для обучения в области обработки данных дистанционного зондирования и ГИС и обеспечения научных исследований. С 2007 г. программный пакет ILWIS распространяется свободно (<http://52north.org/downloads/ilwis>).

Система сочетает возможности геоинформационных систем и обработки изображений, выполняет конвертирование данных из векторного формата в растровый и наоборот, осуществляет экспорт данных во многие стандартные форматы и из них. В модуль анализа данных входят все базовые операции обработки материалов дистанционного зондирования. Для успешного тематического анализа снимков предназначены процедуры преобразований яркости: повышение контраста, синтез цветного изображения, метод главных компонент, факторный анализ, вычисление коэффициентов, в частности, нормализованного вегетационного индекса NDVI.

Как и в любой системе обработки изображений, в системе ILWIS предусмотрено выполнение двух видов классификации: контролируемой, на основе статистики признаков в обучающей выборке с использованием любого числа каналов, и неконтролируемой (кластеризации) на основе спектральных признаков – с использованием максимум четырех зональных снимков.

Программы ILWIS обеспечивают создание и редактирование слоев в векторном формате: цифрование по подложке, в качестве которой могут использоваться как снимки, так и результаты их обработки, а также редактирование, анализ и отображение данных, создание результирующих карт. Как ГИС-пакет система ILWIS обеспечивает хорошие возможности по вводу точечной информации, созданию и импорту атрибутивных таблиц, интерполяции данных.

Блок программ позволяет выполнять моделирование и пространственный анализ статистических данных; ортотрансформирование; трехмерную визуализацию с интерактивным редактированием для оптимального представления модели; создание и визуализацию стереопар снимков; методы интерполяции и построения цифровых моделей геополей.

Один из заметных недостатков ILWIS – ограниченные возможности импорта и последующей обработки изображений с радиометрическим разрешением больше, чем 1 байт/пиксел.

Пакет ILWIS имеет удобный пользовательский интерфейс (рис. 3.1), большую роль в котором играют интуитивно понятные графические обозначения основных операций и типов данных. Облегчает работу в программе также и то, что выполнение одной и той же операции воз-

можно несколькими путями: через главное меню, обращением к соответствующему значку операции, вызовом контекстного меню правой кнопкой мыши или из командной строки. Список всех функций программы для удобства приводится в краткой форме, где операции сгруппированы по типам (Operation Tree) или полным списком в алфавитном порядке (Operation list), выбор осуществляется через закладки в левой верхней части основного окна.

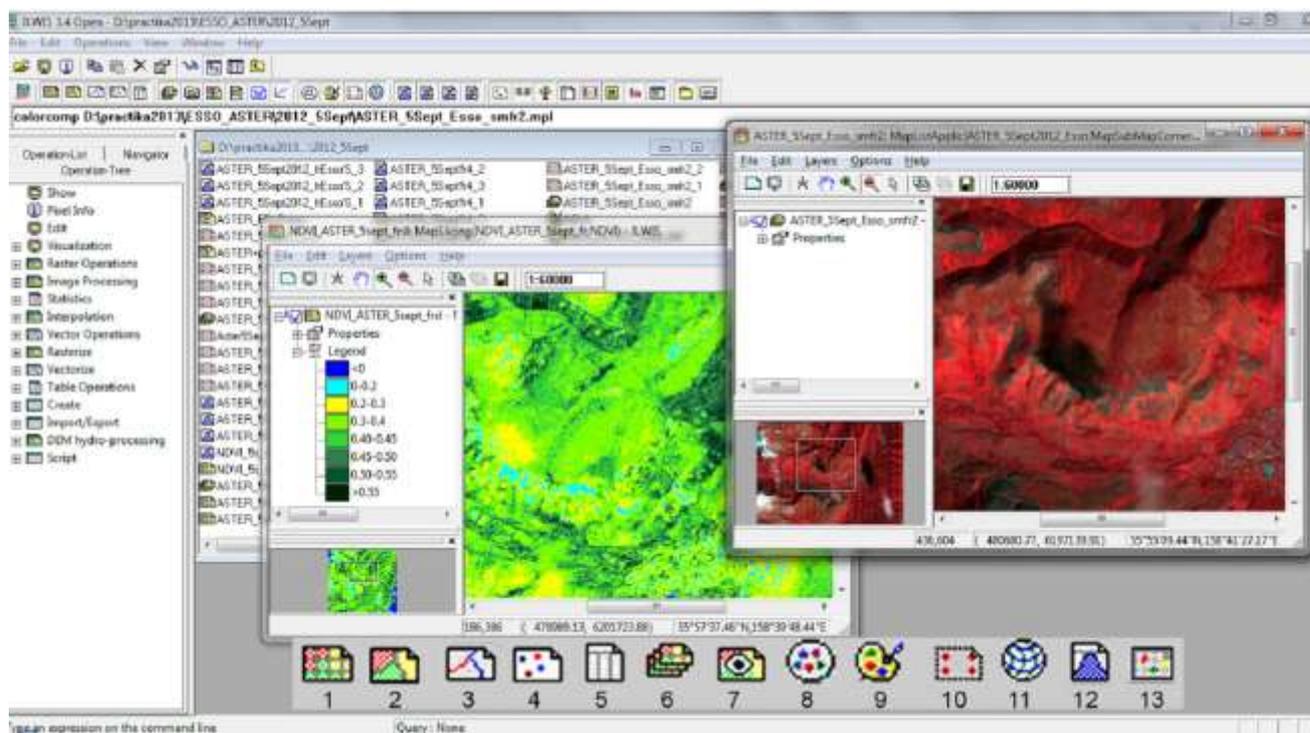


Рис. 3.1. Главное меню программного пакета ILWIS, в нижней части рисунка дополнительно приведены значки, соответствующие основным типам данных, используемым в заданиях практикума: 1 – растровая карта, снимок (Raster image); 2 – карта полигонов (Polygon map); 3 – карта сегментов (Segment Map); 4 – точечная карта (Point Map); 5 – таблица (Table); 6 – многозональный снимок (коллекция) растровых карт (изображений) (Map List); 7 – вид (несколько слоев карт разного типа) (Map View); 8 – домен (характеристика объекта, легенда карты) (Domain); 9 – цветовая палитра карты (Representation); 10 – файл привязки (GeoReference); 11 – файл системы координат (Coordinate System); 12 – гистограмма (Histogram); 13 – обучающая выборка (Sample Set)

Программа MultiSpec (<http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>), разработана в американском университете Пердью, известна среди специалистов по обработке снимков, особенно в образовательных учреждениях. Этот пакет специально предназначен для интерактивного анализа многозональных и гиперспектральных изображений. Он позволяет импортировать, просматривать и обрабатывать снимки, получаемые разными системами, в том числе и записанные с радиометрическим разрешением больше 8 бит/пиксел, например QuickBird, GeoEye (11 бит/пиксел), RapidEye (12 бит/пиксел).

Кроме обычных функций импорта/экспорта, поддержки координатных систем, записанных вместе со снимком, программа MultiSpec легко обеспечивает просмотр многозональных изображений при любом сочетании каналов: последовательно, в варианте RGB или попарно. Предусмотрена возможность построения графиков спектральных яркостей для текущего пиксела или

выбранного участка. В программном пакете представлены оба основных метода классификации многозональных снимков: кластеризация и контролируемая классификация, а также блок статистической обработки изображений и несложных яркостных преобразований.

Программа имеет очень простой интерфейс: все операции вынесены в строку главного меню (рис. 3.2). Полезным элементом интерфейса пакета является текстовое окно, в которое записываются все произведенные пользователем действия, а также результаты статистической обработки изображений.

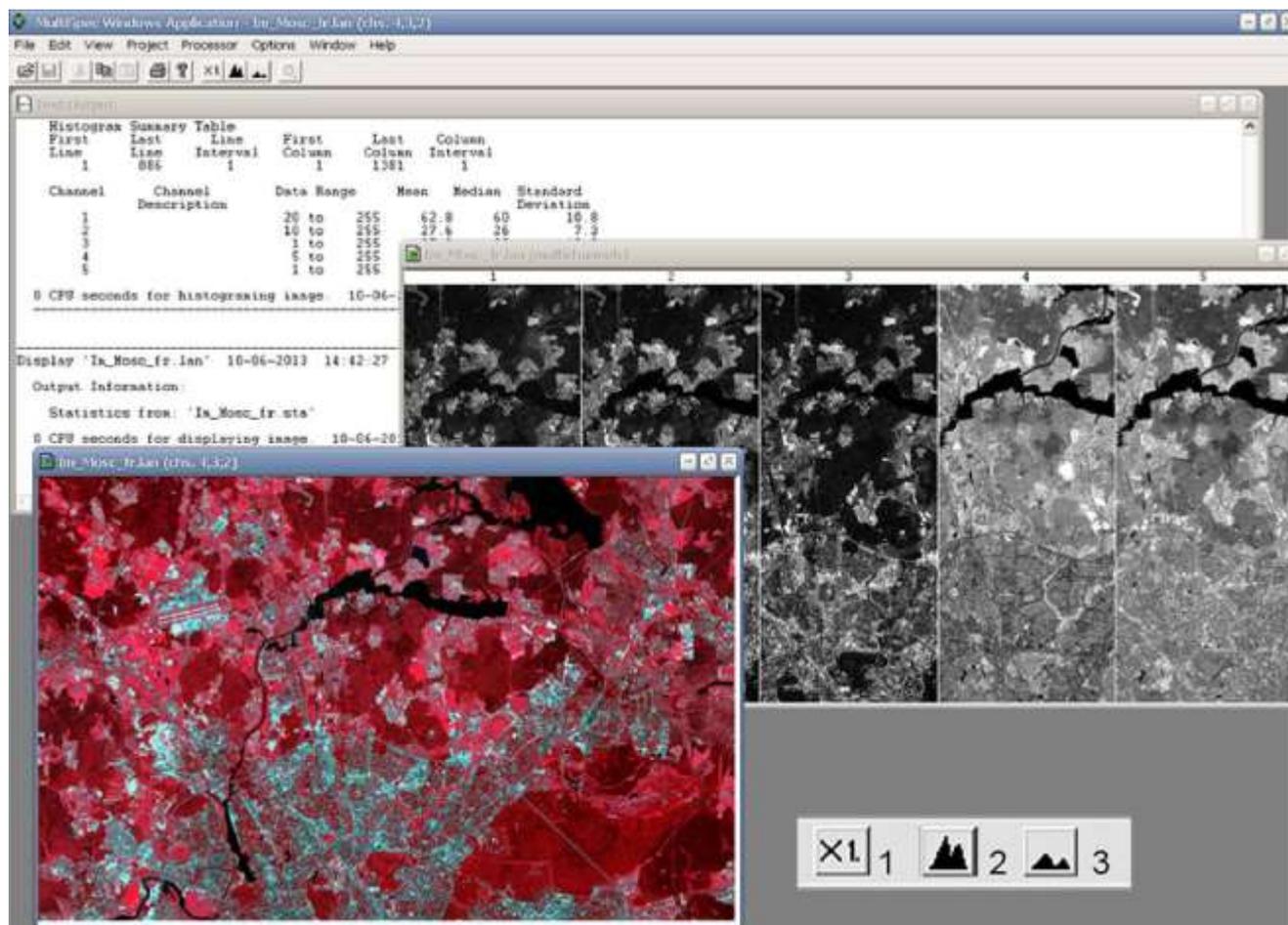


Рис. 3.2. Главное меню программного пакета MultiSpec, в нижней части рисунка приведены значки, позволяющие управлять масштабом изображения на экране: 1 – истинный размер пиксела; 2 – увеличить; 3 – уменьшить.

Функции программных пакетов, необходимые для выполнения заданий практикума, и порядок операций описаны в соответствующих разделах.

3.2. Яркостные преобразования

Методы компьютерной обработки изображений, нацеленные, в конечном счете, на распознавание объектов местности подразделяют на две группы: яркостных преобразований и компьютерного дешифрирования (классификации).

Преобразование яркостей многозонального снимка предполагает решение трех задач: улучшение восприятия изображения при визуальном дешифрировании, сжатие информации, осо-

бенно в случае гиперспектральных снимков, и распознавание объектов, получение конечного результата. Чаще других применяются преобразования, улучшающие восприятие изображения, представленного на экране монитора или в виде бумажной копии, – повышение контраста путем изменения гистограммы значений яркости, фильтрация, усиление границ, а для многозонального снимка – синтез цветного изображения и улучшение пространственного разрешения слиянием зональных снимков с более детальными. Другие преобразования – квантование по яркости, создание индексных изображений, компонентный анализ – позволяют решать несколько задач одновременно.

Квантование – способ яркостных преобразований одиночного снимка, заключающийся в разделении всего диапазона яркостей на несколько ступеней. В результате такого преобразования получают новое изображение, на котором мелкие детали исчезают, постепенное изменение яркости заменяется четкой границей, и закономерности распределения яркостей на снимке становятся более отчетливо выраженными. Квантование чаще используют в случаях постепенных переходов, не воспринимаемых зрительной системой, неопределенных границ объектов. Весь интервал яркостей в этом случае может быть разделен на равные ступени, что позволяет улучшить их восприятие. В случаях, когда требуется разделить несколько объектов, заметно различающихся по яркости, используют неравномерную шкалу квантования, которую выбирает дешифровщик, пользуясь гистограммой или определяя по снимку интервалы яркостей, относящихся к изображению каждого из интересующих его объектов.

Определение индексов – создание в результате математических операций с зональными снимками (матрицами) новых изображений. Метод преобразований основан на различиях яркости природных объектов в двух или нескольких частях спектра и нашел широкое распространение. Наибольшее количество индексов предложено для дешифрирования зеленой, вегетирующей растительности – для выделения ее изображения среди других объектов, прежде всего почвенного покрова и водной поверхности, и для оценки ее состояния, например проективного покрытия посевов.

Для определения относительного содержания влаги в листьях растений (например, при выявлении пожароопасного состояния лесной растительности) используют разность яркости в ближнем и среднем инфракрасных участках спектра. Содержание минеральных частиц в водной толще определяют по разности яркости изображений в красном и зеленом (или синем) участках спектра, а содержание хлорофилла – в зеленом и синем.

Синтез цветного изображения – способ яркостного преобразования нескольких снимков путем присвоения каждому из черно-белых изображений определенного цвета на экране монитора. Каждый пиксел монитора содержит три элемента-люминофора – красный, зеленый и синий (RGB), яркость которых зависит от значения яркости на трех вводимых изображениях. Ча-

ще выполняют синтез зональных изображений, составляющих многозональный или гиперспектральный снимки, но можно также синтезировать радиолокационные изображения, полученные при разных поляризациях, или разновременные снимки, предварительно геометрически согласованные.

Синтез применяют также в качестве одного из способов улучшения пространственного разрешения цветного изображения. В этом случае выполняется синтез одного снимка с высоким разрешением (обычно в панхроматическом канале, но может быть и снимок другой съемочной системы, например радиолокационный) и двух зональных снимков, например в ближнем инфракрасном и красном каналах.

Задание 6. Определение спектральных свойств объектов на основе синтеза цветного изображения и графиков спектрального образа

Введение. Синтез цветного изображения используется очень часто, поскольку дает возможность заменить черно-белое изображение цветным, которое лучше воспринимается зрительной системой, а также без потери сжать информацию, заменив три изображения одним. Цвет объектов на синтезированном изображении зависит от того, какому из зональных снимков присвоен красный цвет, а какому – зеленый и синий, и, следовательно, при смене комбинации цвет изображения изменяется. Вариант синтеза, при котором снимкам в участках спектра 0,5-0,6; 0,6-0,7 и 0,8-1,1 мкм или аналогичных им присваивают соответственно синий, зеленый и красный цвета, называют стандартным. Растительность на таком изображении имеет красные оттенки, что объясняется ее высокой яркостью в ближней инфракрасной зоне спектра. Синтез синего, зеленого и красного каналов дает изображение в натуральных цветах. Группы объектов по-разному дешифрируются на разных вариантах синтезированных изображений: один и тот же объект отчетливо выделяется в одном варианте синтеза и слабо различается в другом. Целенаправленно подбирать варианты синтеза можно по графикам спектральной яркости, которые позволяют определить, как различаются между собой объекты на зональных снимках, как изменяется вид графика при изменении их свойств.

Характеристика территории. Задание выполняется на примере тех же двух участков, что и задания по визуальному дешифрированию – на юго-восточном побережье Охотского моря (задание 4) и на северо-востоке Калужской области (задание 2).

Цель задания – освоить методы преобразования многозональных снимков путем синтеза цветного изображения и построения графиков спектрального образа на примере лесной растительности и сельскохозяйственных земель.

Материалы

Фрагменты многозональных снимков, полученных системой ETM+/Landsat-7:

1. шесть зональных снимков (каналы 1–5 и 7) в виде отдельных файлов (побережье Охотского моря), съемка 17 августа 2001 г. (рис. П7);
2. многозональный снимок в виде одного файла (северо-восток Калужской обл.), съемка 6 июня 2006 г.

Многозональный снимок может быть записан по-разному – в виде нескольких отдельных файлов по числу съемочных каналов или в виде одного файла, в котором последовательно записаны все зональные изображения – как последовательность пикселей (BIP), строк (BIL) или каналов (BSQ).

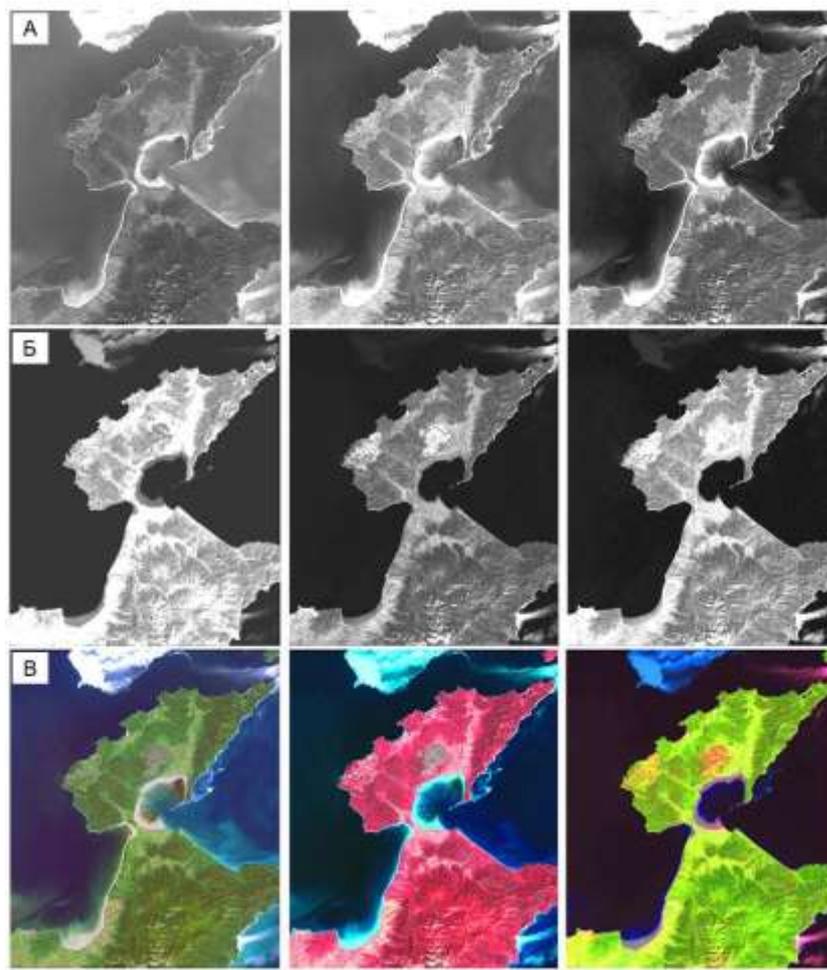


Рис. 17. Синтез цветного изображения и построение графиков спектрального образа по зональным снимкам ETM+/Landsat-7: А – снимки в съемочных каналах 1 (0,45 – 0,52), 2 (0,52 – 0,60), 3 (0,63 – 0,69), 4 (0,76 – 0,90), 5 (1,55 – 1,75) и 7 (2,08 – 2,35); В – цветные синтезированные изображения, варианты синтеза RGB – 3,2,1 (натуральная цветопередача), RGB – 4,3,2 и RGB – 7,4,3

Все фрагменты снимков имеют одинаковое пространственное разрешение – 30 м. При выполнении задания зональный снимок в тепловом инфракрасном участке спектра (канал 6 съемочной системы) не используется.

Программное обеспечение – MultiСпес.

Этап 1. Синтез многозонального снимка

Порядок выполнения задания

1. Вывести на экран зональные изображения побережья Охотского моря, «собрать» многозональный файл, и проанализировать их.

Действия в программе. Открыть первый зональный снимок: File–Open image–выбрать из списка нужный файл. После того, как окно с первым снимком откроется, повторить операцию открытия изображения, отметить в левом нижнем углу окна опцию Link to Active image window (Привязать к открытому окну с изображением), указать второй файл и все последующие, не выходя из окна открытия файлов. Отказаться от добавления каналов к открытому многозональному файлу (Cancel).

Для удобства последующей работы сохранить собранный многозональный файл: Processor–Reformat–Change Image File Format (Изменить формат файла), в открывшемся окне Set Image File Format Specification For (Настройка характеристик изменения формата файла) можно оставить все опции по умолчанию, присвоить имя и сохранить файл в формате ERDAS 74.

Для просмотра многозонального файла выбрать способ представления его на экране: Processor–Display image, откроется окно Set display specification for (задать набор параметров для вывода снимка на экран), Display–Type (способ вывода) – из выпадающего меню выбрать способы вывода многозонального снимка Side by Side Channels (все каналы рядом), остальные параметры оставить по умолчанию, ОК.

Расширить открывшееся окно и уменьшить изображение, чтобы разместились все зональные снимки.

Определить различия в изображении на зональных снимках водной поверхности, лесной растительности, безлесных участков.

2. Вывести на экран цветное изображение, синтезированное из трех выбранных каналов:

Действия в программе. Processor–Display image–Set display specification for–Display–Type–3 Channel Color (цветной синтез) – указать номера трех каналов (имея в виду, что 7-ой канал ETM+ здесь имеет номер 6, так как 6-ой съемочный канал не использовался).

3. Получить 3–4 разных варианта синтеза с использованием других каналов или с измененным порядком присвоения цвета, повторив операцию вывода.

Действия в программе. File–Open image–имя файла–Set display specification for–Display–Type–3 Channel Color.

4. Сравнить полученные варианты синтеза. Выбрать вариант, наиболее информативный для распознавания растительности: еловых и лиственных лесов, зарослей кедрового стланика, болотных комплексов, а также илистой осушки, водных объектов. Заполнить табл. 3.1.

Таблица 3.1

Сравнительная оценка вариантов синтеза

№	Вариант синтеза: RGB (номера каналов)	Объекты или их особенности, для которых вариант синтеза более удачен (какие объекты распознаются уверенно)
1.		
2.		
.		
.		

Этап 2. Построение и анализ графиков спектрального образа объектов

Порядок выполнения задания

1. Построить график спектрального образа выбранного объекта

Действия в программе. Открыть окно для отображения графика Window – New Selection Graph. На экранном синтезированном изображении выбрать курсором отдельный пиксел или группы из несколь-

ких однородных пикселей, в результате чего в окне New Selection Graph появится график значений яркости пиксела (группы пикселей) на всех зональных снимках.

Вид графика различен в зависимости от того, выбран для его построения один пиксел или группа (рис. 3.3). Для одиночного пиксела на графике показывается одна линия, соединяющая значения яркости этого пиксела во всех каналах. Спектральный образ однородного объекта, заданного небольшой группой пикселей, изображается пятью линиями: центральная линия соответствует средним значениям яркости выделенных пикселей, а остальные – стандартному отклонению, отклонениям от среднего в положительную и отрицательную стороны.

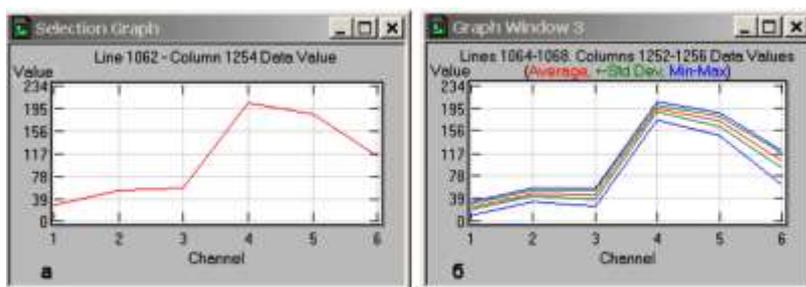


Рис. 3.3. Кривые спектрального образа объектов, построенные в программе MultiSpec: а – для одиночного пиксела, б – для группы пикселей

2. Построить и сравнить графики спектрального образа: участков леса с разным породным составом, болотных комплексов (марей), осушки, водных объектов.

Действия в программе. Для получения нескольких графиков каждый раз перед выбором следующего пиксела (группы) нужно открывать новое окно графика, т. е. повторять операцию Window–New selection graph. В новом окне появится изображение ранее созданного графика, но после выбора пикселей другого объекта он заменится на новый график, при этом на обоих графиках станет одинаковым интервал яркости по оси ординат. (рис. П7, Г).

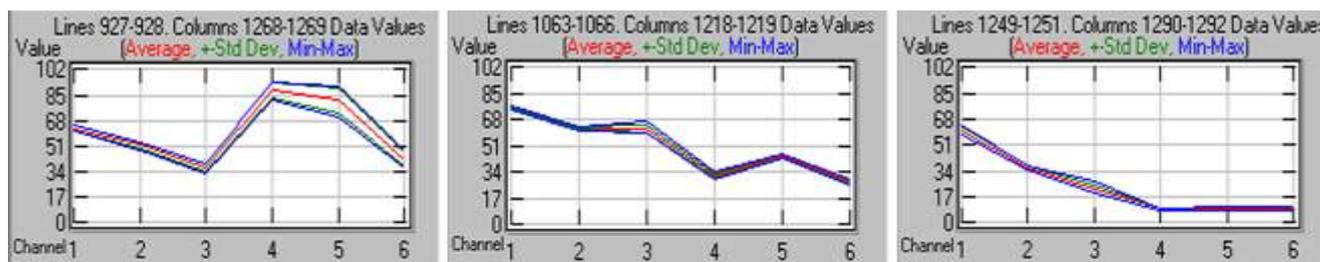


Рис. П7. Синтез цветного изображения и построение графиков спектрального образа по зональным снимкам ETM+/Landsat-7: Г – графики спектрального образа болотной растительности, илстой осушки и водной поверхности

Расположить на экране 1–2 наиболее информативных варианта синтеза и графики основных видов объектов. Сохранить копию экрана.

3. Вывести на экран цветное синтезированное изображение участка окрестностей г. Боровска (северо-запад Калужской области):

Действия в программе. File–Open image–имя файла–Set display specification for–Display–Type–3 Channel Color–указать номера каналов.

4. Выбрать на снимке изображения 4–5 сельскохозяйственных полей в разном состоянии – недавно вспаханные, под посевами культурных растений с разным проективным покрытием. Построить графики спектрального образа (см. п. 2), расположить на экране и сохранить копию экрана. Ответить на вопросы.

Вопросы

1. Как различается вид графиков спектрального образа растительности и водных объектов, лесной растительности разного породного состава?
2. Почему график илистой осушки отличается от типичной кривой грунтов?
3. Как изменяются графики спектрального образа сельскохозяйственных культур в зависимости от проективного покрытия посевов?
4. Почему изменяется вид графика в зависимости от размера выбранного участка?

Результат выполнения задания

1. Копии экрана с изображением выбранного варианта синтеза и графиков спектрального образа для двух участков.
2. Ответы на вопросы в письменном виде.

Задание 7. Использование вегетационного индекса при дешифрировании ландшафтов высокогорья

Введение. Определение вегетационных индексов основано на использовании соотношения яркости в участках спектра, более информативных для характеристики зеленой растительности – в красной части спектра, где отражение минимально, и в ближней инфракрасной, где оно максимально (рис. 2.2).

Широко распространено вычисление нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI), который представляет собой нормированную разность уровней яркости на снимках в ближнем инфракрасном ($B_{БИК}$) и красном (B_K) съемочных каналах:

$$NDVI = \frac{B_{БИК} - B_K}{B_{БИК} + B_K}. \quad (1)$$

Значения индекса NDVI лежат в пределах от -1 до $+1$. Отрицательные значения соответствуют водным объектам, глубоким теням, асфальтовым и бетонным покрытиям (их яркость в ближнем инфракрасном участке спектра ниже, чем в красном), значения около нуля – разным видам почв (яркости в двух участках спектра близки по значениям), а положительные значения – разным типам и состояниям растительного покрова. Установлено, что чем больше зеленая масса растений, тем значения NDVI ближе к $+1$. Этим и объясняется возможность определять по индексному изображению различия в составе и свойствах растительного покрова.

В результате преобразования получается одно черно-белое изображение, на котором достаточно уверенно определяются выделы растительности, но различия в значениях индекса в пределах этих выделов определяются неуверенно. Для улучшения восприятия изображения можно выполнить операции квантования и цветокодирования. При выборе ступеней квантования нужно, во-первых, объединить в одну ступень изображение «прочих» объектов, например склонов без растительности, а во-вторых, остальной интервал значений индекса разделить на несколько ступеней, чтобы отразить изменения в проективном покрытии.

Характеристика территории. Задание выполняется на примере участка на северных склонах массива Эльбруса. Одна из главных черт ландшафтов Приэльбрусья – высотная поясность, обусловленная изменением климатических условий с высотой. Годовая сумма положительных температур уменьшается (120° – 130° С на каждые 100 м высоты) и на уровне 4000–4200 м становится нулевой. Количество осадков растет до высоты примерно 3500 м, где составляет около 1000 мм, а выше – уменьшается.

Другой важный фактор, определяющий структуру ландшафтов, – экспозиция склонов. В высокогорье склоны северной и южной экспозиций различаются по уровню приходящей солнеч-

ной радиации и по количеству атмосферных осадков (на Кавказе оно зависит от ориентировки по отношению к юго-западным влагонесущим ветрам).

В Северном Приэльбрусье выделяют четыре типа ландшафтов: нивально-гляциальный, горно-луговой, горно-степной и горно-лесной, а в горно-луговом типе – подтипы: субнивальный, лугово-тундровый, альпийский и субальпийский.

Верхний «этаж» занимает нивально-гляциальный тип ландшафтов, представленный ледниками, снежниками и прилегающими к ним склонами, лишенными почвенно-растительного покрова.

Пояс *субнивальных* и *лугово-тундровых* ландшафтов занимает склоны на высотах от 2900 и до 3100–3400 м. Климат холодный и влажный, среднемесячная температура положительна только в июне-августе, осадков выпадает от 800 до 1000 мм в год, даже в летнее время преимущественно в виде снега. Примитивные и горно-луговые слаборазвитые почвы встречаются пятнами, высшие растения сомкнутых сообществ не образуют.

Пояс *альпийских* ландшафтов располагается на высотах от 2600 до 2900 м. Климат несколько теплее и суше по сравнению с субнивальным поясом. Среднемесячная температура положительна с мая по сентябрь, осадков выпадает около 800 мм в год, летом преимущественно в виде дождя. Господствуют альпийские луга с низким травостоем на горно-луговых почвах.

Пояс *субальпийских* ландшафтов занимает склоны на высотах от 2000 до 2700–2900 м. Климат еще теплее и несколько суше. Среднемесячная температура положительна с мая по октябрь. Осадков выпадает до 800 мм в год. Преобладают более высокотравные луга, довольно богатые по видовому составу. Верхнюю границу пояса занимают заросли рододендрона кавказского.

Пояс *горно-лесных ландшафтов* приурочен к крупным речным долинам, а в их верховьях – к склонам северной экспозиции, где верхняя граница леса достигает высоты 2400–2450 м. На склонах южной экспозиции лесов нет из-за дефицита влаги. Климат несколько теплее и суше, чем в горно-луговой зоне. Леса преимущественно березовые с примесью сосны.

Цель задания – освоить два вида яркостных преобразований цифровых изображений – квантование и создание индексного изображения – на примере изучения растительного покрова высокогорья.

Материалы

1. Фрагмент космического снимка ASTER/Тerra на территорию Приэльбрусья. Съемка выполнена 15 сентября 2001 г. В задании используются зональные изображения с пространственным разрешением 15 м в зеленом (0,52–0,60), красном (0,63–0,69) и ближнем инфракрасном (0,76–0,86 мкм) участках спектра
2. Фрагмент листа топографической карты масштаба 1:100 000

3. Фрагмент карты «Ландшафты национального парка Приэльбрусье» масштаба 1:100 000 (автор А. Н. Гуня) (рис. П8).

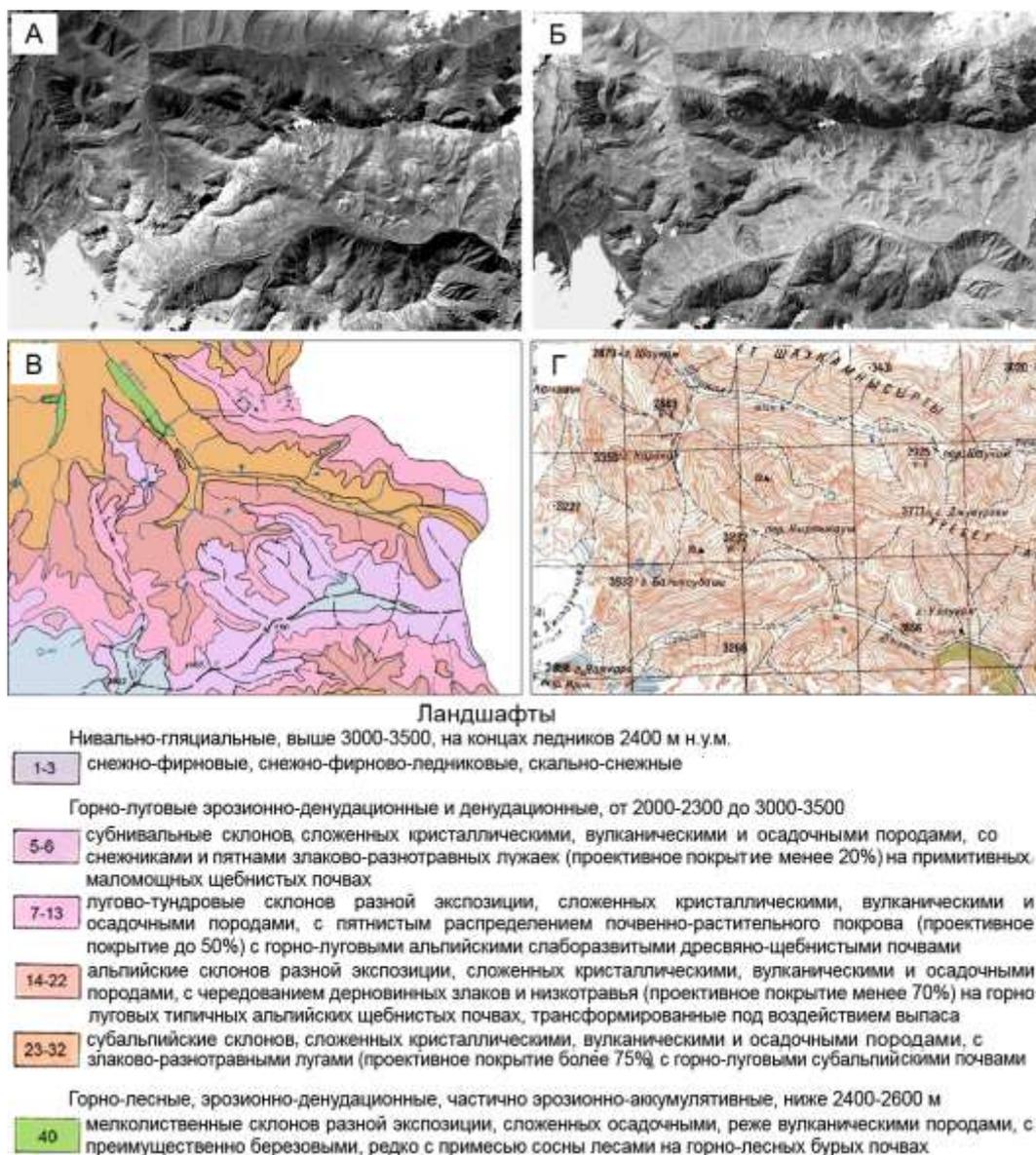


Рис. П8. Дешифрирование высотных ландшафтных поясов на основе вегетационного индекса. Фрагменты космического снимка ASTER/Terra: А – в красном (0,63–0,69); Б – ближнем инфракрасном (0,76–0,86 мкм) участках спектра; В – фрагмент ландшафтной карты 1:50 000; Г – фрагмент листа топографической карты 1:50 000.

Программное обеспечение – ILWIS

Порядок выполнения задания

1. Вычислить вегетационный индекс NDVI и вывести на экран индексное изображение.

Действия в программе. Выбрать в меню и запустить программу NDVI, ввести имена файлов изображений в красном и ближнем инфракрасном каналах, присвоить имя создаваемому файлу и вывести на экран – Show.

2. Для улучшения восприятия полученного изображения выполнить его квантование и цветокодирование (рис. П8).

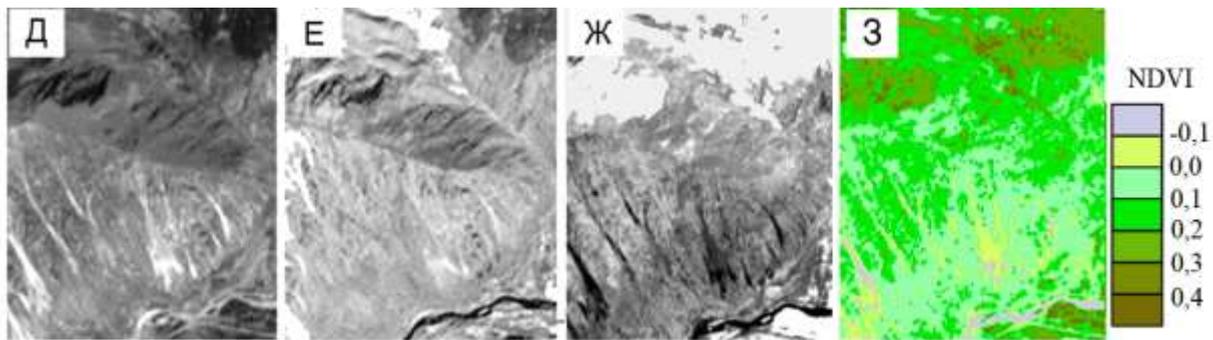
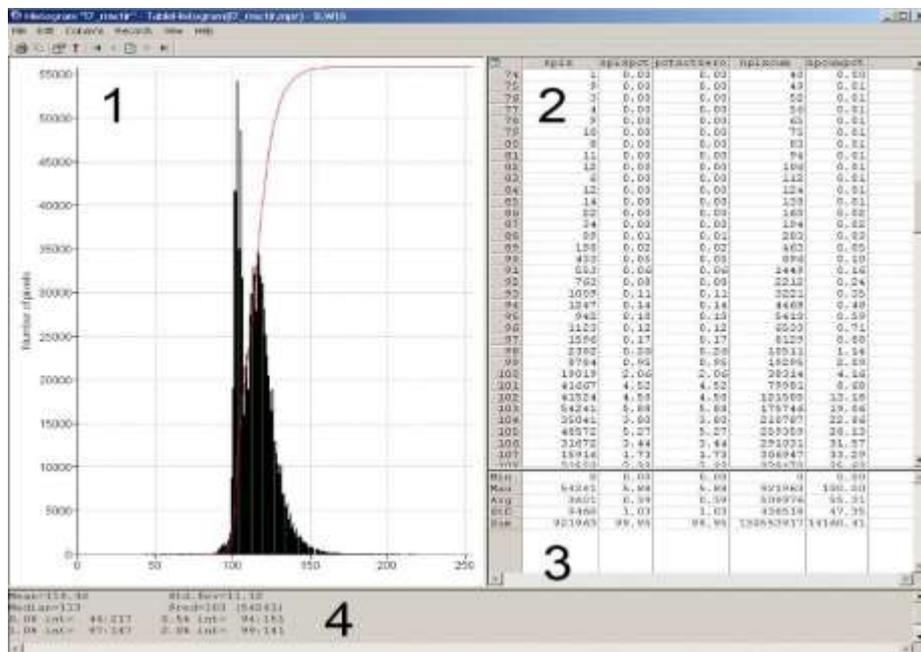


Рис. 18. Пример выполнения задания: участки изображения в красном (Д), ближнем инфракрасном (Е) участках спектра, Ж – индексное изображение NDVI, 3 – результат его квантования

2.1. Выбрать шкалу квантования.

Действия в программе. Просмотреть гистограмму снимка, для чего открыть файл, отмеченный значком , или выбрать в контекстном меню Statistics–Histogram.

Окно гистограммы делится на 4 поля (рис. 3.4), обозначенные на рисунке цифрами: 1 – графическое представление гистограммы распределения яркостей всех пикселей снимка; 2 – полная гистограмма в числовом виде: в первом столбце – значения яркости, совпадающие с порядковым номером записи, во втором – количество пикселей изображения с этим значением яркости, в третьем – доля пикселей каждого уровня в %; в остальных столбцах те же величины, но не по каждой ступени, а их кумулятивное значение (суммированное со всеми предыдущими); 3 – краткая сводка основных количественных параметров гистограммы; 4 – сводка основных характеристик гистограммы.



мой задачей. В последнем случае интервалы определяются из анализа гистограммы или по изображению: при щелчке левой клавишей мыши на экране появляется значение индекса данного пиксела.

Записать поочередно выбранные значения верхней границы ступеней, начиная с меньших. Повторить операцию, выбрать другое количество интервалов. В результате получить 2–3 варианта шкалы.

2.2. Выполнить квантование изображения.

Действия в программе. Навести курсор на файл с изображением NDVI, вызвать контекстное меню: Image Processing – Slicing (Обработка изображений – квантование).

В открывшемся новом окне задать имя создаваемого файла и нажать на значок создания новой легенды (домена – Domain) карты , задать соответствующее имя файла.

В следующем окне свойств домена отметить Class и Group, в открывшемся окне создания шкалы квантования Domain Group (рис. 3.5) использовать значок + в окне или клавишу Insert и ввести значения верхних ступеней яркости (Upper Bound) каждого из интервалов, начиная с наименьших значений. Для каждой ступени яркости обозначить номер (Class Name). Вернуться в окно настройки операции квантования (Slicing), для выполнения операции нажать Show.

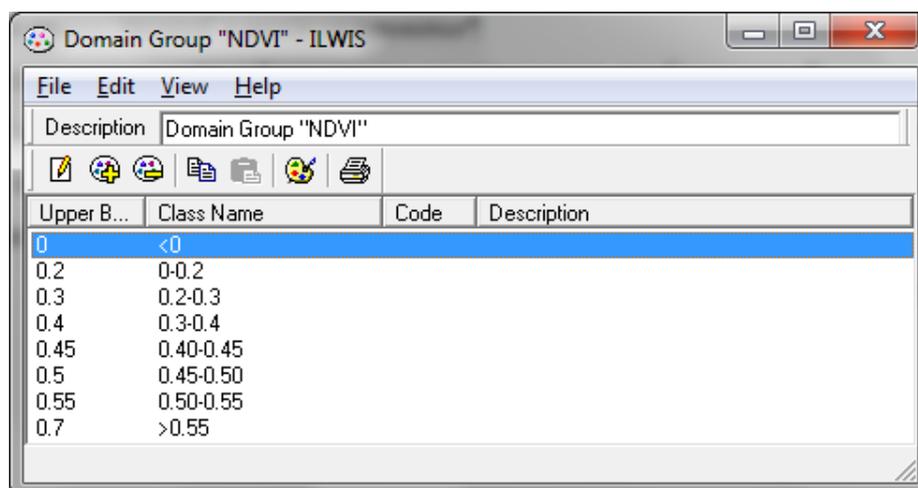


Рис. 3.5. Окно формирования списка ступеней в шкале квантования

2.3. Выполнить цветокодирование, т. е. оформление создаваемого изображения.

Действия в программе. Заданные классы по умолчанию имеют произвольные цвета, для изменения которых двойным щелчком на шапке соответствующего класса открыть палитру и выбрать цвет.

2.4. Повторить операцию квантования с другими вариантами шкалы. Заполнить табл. 3.2.

Таблица 3.2

Значения вегетационного индекса NDVI ландшафтных поясов в Приэльбрусье

Ландшафтный пояс	Интервал значений NDVI
нивально-гляциальный	
субнивальный и лугово-тундровый	
луговой альпийский	
луговой субальпийский	
горно-лесной	

3. К полученным индексным изображениям дополнительно вывести на экран цветное синтезированное изображение, фрагменты топографической карты и Карты ландшафтов.

Действия в программе. Выбрать в меню и запустить программу Color composite, присвоить имя файла, ввести имена зональных снимков и вывести на экран – Show. Открыть файлы карт.

4. Сопоставить все изображения и ответить на вопросы.

Вопросы

1. Дает ли преимущества индексное изображение по сравнению с цветным синтезированным при изучении растительного покрова в высокогорье?

2. Насколько изменяется восприятие изображения вегетационного индекса в результате квантования и цветокодирования и в зависимости от выбранной шкалы квантования?

3. Какое число ступеней шкалы индексного изображения позволяет наилучшим образом отобразить основные ландшафтные пояса изучаемой территории?

Результат выполнения задания

1. Индексное изображение NDVI.

2. Таблица значений вегетационного индекса NDVI ландшафтных поясов в Приэльбрусье.

3. Два или три варианта квантованного изображения NDVI.

4. Ответы на вопросы в письменном виде.

3.3. Классификация изображений

Согласно теории распознавания образов, классификация – это разбиение объектов по одному или нескольким признакам в соответствии с заданными правилами. При обработке дистанционных данных обычно используются методы классификации, основанные на использовании в качестве признака яркости изображения. Алгоритмы тематической обработки снимков принято делить на два типа – неконтролируемой классификации (кластеризации) и контролируемой классификации (с обучением).

Неконтролируемая классификация выполняется без использования дополнительных сведений о видах объектов, только на основе значений яркости пикселей в нескольких спектральных зонах многозонального снимка. В этом случае все множество значений яркости разбивается на несколько групп (кластеров) по заданному определенным образом критерию близости этих характеристик, а кластерам присваиваются порядковые номера. Последующее определение соответствия выделенных кластеров объектам земной поверхности выполняет дешифровщик с использованием дополнительной информации – материалов наземных обследований, карт, снимков более высокого разрешения и т. п.

Алгоритмы кластеризации разделяют на одношаговые и многошаговые (итерационные). Одношаговые алгоритмы, предполагают однократный просмотр снимка и, как следствие, быстрое получение предварительной схемы дешифрирования. Начальные центры кластеров выбираются автоматически, например, в результате просмотра значений яркости элементов в первой строке многозонального снимка с учетом заданного порогового значения делимости кластеров. Затем все пиксели снимка распределяются по сформированным кластерам по признаку близости к центрам. Существенный недостаток таких алгоритмов – влияние значений яркости первых пикселей, заданных в качестве центров кластеров, на результат кластеризации всего снимка.

Итерационные алгоритмы, среди которых наибольшее распространение получил способ ISODATA, предполагают проведение кластеризации в несколько этапов. На начальном этапе (итерации) все значения яркости в пространстве признаков разбиваются на заданное число кластеров и вычисляются их центры (средние значения). После первого просмотра всех пикселей и распределения их по кластерам определяются новые значения центров кластеров. Затем выполняется вторая итерация, в процессе которой вычисляется расстояние между пересчитанными центрами кластеров и каждым пикселем. Пиксел относится к кластеру, расстояние до которого минимально. Снова выполняется пересчет значений центров кластеров и перераспределение пикселей по кластерам. Алгоритм позволяет задать число кластеров и продолжительность обработки, для чего указывается порог сходимости, т. е. процент пикселей, не переходящих из кластера в кластер при очередной итерации (обычно 97–99 %).

Чем больше различаются спектральные характеристики объектов на местности, тем больше совпадение выделенных кластеров с реально существующими классами объектов.

Контролируемая классификация, или классификация с обучением применяется, если заранее известны классы дешифрируемых объектов и эталонные участки, характеризующие их изображение на снимке. Классификация предполагает отнесение каждого из пикселей снимка к определенному классу объектов на местности, которому соответствует некоторая область в пространстве признаков. Под пространством спектральных признаков понимается совокупность значений яркости пикселей многозонального снимка, размерность которого определяется числом съемочных каналов, а каждый пиксел представлен вектором с координатами, соответствующими значению яркости в каждом из них.

Достоверность результатов классификации обеспечивается наличием эталонов, прежде всего материалов полевых обследований территории, в ходе которых определены координаты эталонных площадок и охарактеризовано состояние объектов на них, а также детальные снимки, карты. Эти материалы служат основой для формирования обучающей выборки, содержащей типичные для каждого класса совокупности пикселей.

Контролируемая классификация выполняется в несколько этапов. На первом этапе дешифровщик определяет, какие классы объектов выделить в результате выполнения процедуры, на втором формируется обучающая выборка, от качества которой в решающей степени зависит достоверность классификации. На третьем этапе программа вычисляет по обучающей выборке набор параметров «спектрального образа» каждого из классов в зависимости от метода классификации. Четвертый этап классификации – просмотр всего изображения и отнесение каждого пикселя к тому или иному классу на основе сравнения его значений со спектральными образами эталонных классов.

Широко распространены методы классификации по минимальному расстоянию (Minimum Distance), параллелепипедов (Box Classifier) и максимального правдоподобия (Maximum Likelihood), основное различие которых состоит в способе вычисления расстояния в пространстве признаков между значениями яркости пикселей снимка и эталонными классами.

Метод минимального расстояния прост в вычислительном отношении. В процессе формирования обучающей выборки вычисляются центры (средние значения яркости) классов и каждому из пикселей присваивается название класса, евклидово расстояние до которого минимально. Метод параллелепипедов дает хорошие результаты, когда число дешифрируемых объектов ограничено и они хорошо различимы на снимке. Эталонными характеристиками классов служат интервалы значений яркости, вычисленные по выборке. В пространстве признаков они определяют замкнутую область, которая в зависимости от размерности поля признаков может иметь форму параллелограмма, параллелепипеда или гиперпараллелепипеда.

Метод максимального правдоподобия обычно применяют в случаях, когда спектральные характеристики классов мало различаются, как это часто бывает при распознавании растительных сообществ. В качестве критерия отнесения пиксела к данному классу используется значение расстояния Махаланобиса, зависящее от вектора средних значений яркости (положения центра) и ковариационной матрицы класса. Таким образом учитывается не только близость к центру класса, но и вероятность принадлежности к нему.

Задание 8. Дешифрирование водной растительности на основе методов классификации с использованием данных наземных наблюдений

Введение. Кластеризация (классификация без обучения) многозонального снимка предполагает группировку всех пикселей по признаку яркости, вследствие чего однородные по смыслу объекты могут быть представлены двумя или более кластерами и, наоборот, в одном кластере могут оказаться объекты, близкие по спектральным свойствам, но разные по смыслу. Результат нуждается в дальнейшей интерпретации кластеров, соотнесении их с классами объектов на местности. В некоторых случаях для получения достоверного изображения достаточно объединить некоторые кластеры. Качественную карту можно получить в результате оконтуривания в векторном формате «осмысленных» кластеров с одновременной генерализацией изображения.

Контролируемая классификация предполагает предварительное формирование обучающей выборки – набора групп пикселей, характеризующих классы объектов на местности. По отношению к целому снимку обучающая выборка должна составлять 1–5% всех пикселей, а количество пикселей, относящихся к одному классу, быть достаточно большим (обычно не меньше 20–30). Желательно, чтобы каждому классу соответствовал не один, а несколько эталонных участков, к тому же расположенных в разных частях снимка. Условиями надежности обучающей выборки служат, во-первых, компактное расположение значений яркости отдельных классов в пространстве признаков, во-вторых, нормальное распределение значений яркости пикселей в каждом из классов, в-третьих, отсутствие пересечений в пространстве признаков областей, сформированных значениями пикселей отдельных классов. Избежать пересечений и повысить достоверность классификации можно путем деления крупных классов на более мелкие.

При картографировании территории, организации мониторинга часто применяется система разноуровневых наблюдений на основе снимков с разным пространственным разрешением. Детальные снимки позволяют надежно определить тип и свойства объекта, но охватывают небольшие площади и не дают представления об особенностях пространственного распространения. Съемка обширных территорий, необходимая для решения многих географических задач, технически возможна только с относительно невысоким пространственным разрешением, которое не дает возможности распознать детали и особенности объектов. Сопоставление снимков одного и того же участка местности обеспечивает выявление различий в изображении территории при разном пространственном разрешении, что определяет правильный выбор масштаба картографирования или, наоборот, правильный выбор снимков для создания карт в заданном масштабе. Наличие материалов полевых обследований – условие надежности результатов дешифрирования. Наряду с детальными снимками, они служат эталонами при классификации

объектов по снимкам с более низким разрешением, дают возможность оценить достоверность полученных результатов.

Характеристика территории и особенности произрастания лотоса. Задание выполняется на примере картографирования зарослей лотоса – ценного и эстетически привлекательного природного объекта дельты Волги.

Дельта Волги – интразональный ландшафт в зоне полупустынь. Климат умеренно континентальный, засушливый с жарким летом и холодной зимой. Осадков выпадает мало, 200 мм в год. Рельеф надводной дельты и ее подводного продолжения плоский, с очень малыми уклонами. Нижняя часть дельты, как и низкие, плоские острова на взморье, заняты зарослями тростника южного. Летом на обширных пространствах взморья развивается плавающая и погруженная водная растительность, особое место среди которой занимает лотос, занесенный в Красную книгу России как реликтовое растение с узким ареалом распространения. Лотос играет важную биоценотическую роль. Состояние сообществ лотоса служит индикатором экологического состояния экосистем дельты, поэтому картографирование особенностей его распространения – необходимая часть мониторинга.

Лотос орехоносный – растение многолетнее, достигает высоты 1,0–2,5 м. Листья диаметром 0,4–0,8 м возвышаются над водной поверхностью, реже плавают. Диаметр раскрывшегося цветка может достигать 0,25 м.

При картографировании зарослей лотоса и, особенно, при изучении многолетней динамики его распространения особое значение имеет знание закономерностей сезонных изменений. Начальные этапы вегетации лотоса проходят под водой, появление листьев лотоса на водной поверхности происходит не одновременно по всей акватории: вблизи устьев водотоков температура воды ниже из-за поступления холодных талых вод (рис. П9). Максимального развития заросли достигают ко второй половине июня и сохраняют его до середины сентября. Весь этот период они имеют большую зеленую массу, и, следовательно, высокую яркость в ближней инфракрасной части спектра, что обеспечивает уверенное распознавание сообществ лотоса на космических снимках.

Лотос образует на акватории заросли площадью от нескольких десятков квадратных метров до сотен гектаров. Сообщества могут быть монодоминантными или с участием других видов водной растительности (ежеголовника, тростника, рогоза и других). Монодоминантные заросли отличаются высоким проективным покрытием (80–100%), отсутствием или минимальным участием других видов, как правило, они образуют крупные массивы, хорошо выделяющиеся на снимках.

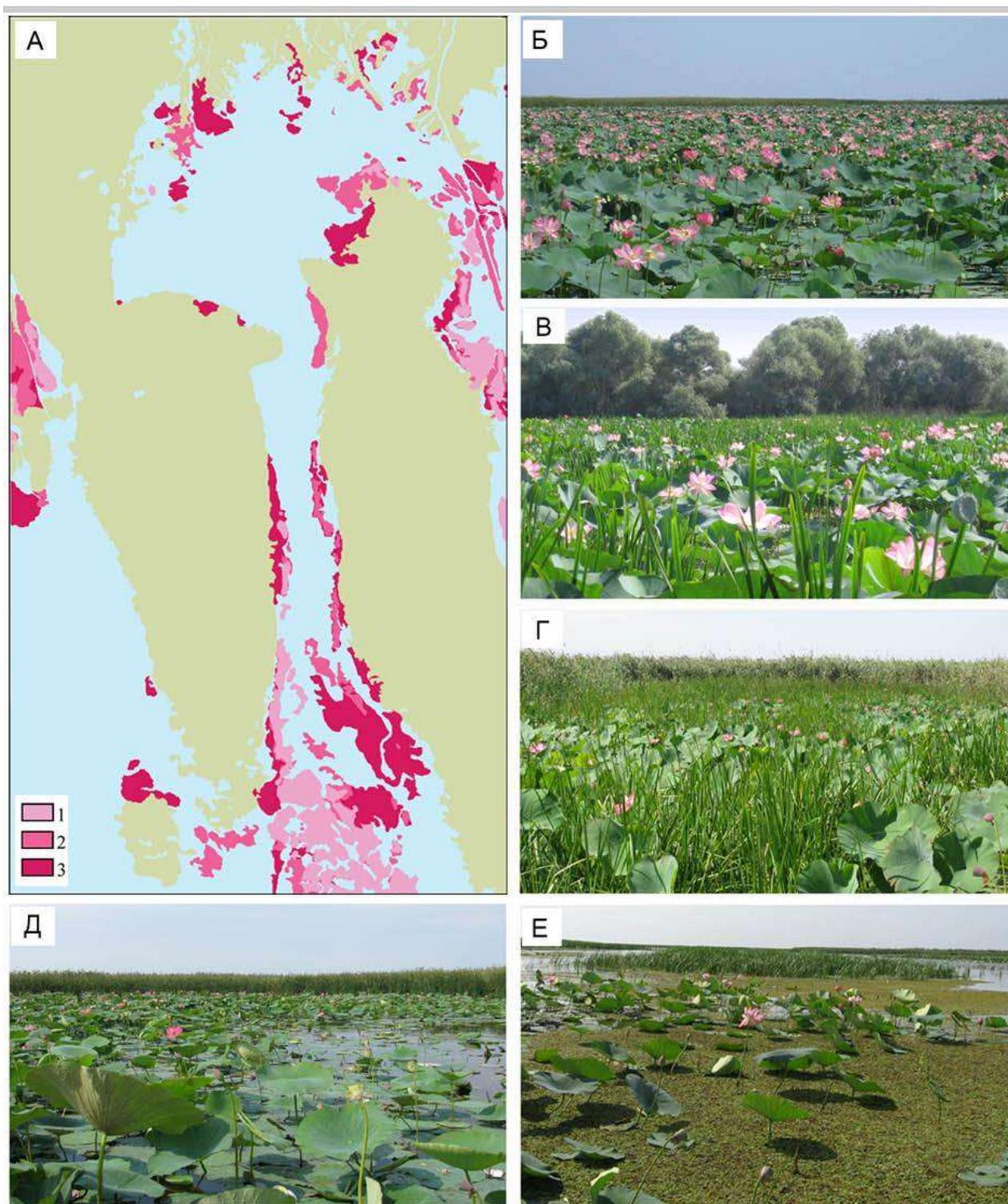


Рис. П9. Дешифрирование водной растительности на основе методов классификации с использованием данных наземных наблюдений: А – сезонные изменения в зарослях лотоса по разновременным снимкам ETM+/Landsat-5: 1 – 18 июня, 2 – 21 июля, 3 – 16 августа 2001 г.; Б–Е – наземные фотографии типичных сообществ с участием лотоса: Б – сплошные монодоминантные заросли лотоса, В – заросли лотоса с участием ежеголовника, Г – заросли тростника, рогоза, ежеголовника с участием лотоса, Д – изреженные заросли лотоса с просветами воды, Е – сообщества водной растительности с участием лотоса

Участие других видов растительности в сообществах лотоса проявляется по-разному. Тростник образует куртины, которые распознаются на снимках, если их размер больше размера пиксела. Рогоз и ежеголовник распределяются в заросли относительно равномерно, их присутствие

проявляется снижением яркости изображения при достаточно высокой доле этих растений. Молодые заросли лотоса не образуют сомкнутого покрова, что приводит к появлению в сообществах плавающих растений – кувшинки, водяного ореха и др. Наличие даже небольших участков открытой воды снижает интегральную яркость изображения сообществ лотоса.

Для повышения надежности картографирования лотоса на территории Астраханского биосферного заповедника неоднократно проводились полевые обследования, получен массив данных, содержащих пространственные координаты точек наблюдений, краткие описания и наземные фотографии типичных растительных сообществ. Они могут быть полезны для общего знакомства с территорией, предварительного определения числа классов при классификации и для оценки достоверности результата обработки снимков.

На снимках с пространственным разрешением 5 м (RapidEye) можно однозначно выделить небольшие заросли лотоса, отдельные куртины тростника внутри или рядом с ними, пятна открытой воды. На снимках TM/Landsat-5 с пространственным разрешением 30 м вследствие интеграции яркости небольших групп растений и/или малых пятен открытой воды в пределах одного пиксела происходит значительное обобщение изображения, отсюда неизбежен переход на более мелкий масштаб составляемой карты с обобщенным содержанием.

Цель задания – освоить процедуры кластеризации и классификации с использованием данных полевых наблюдений на примере картографирования сообществ лотоса.

Материалы

1. Фрагмент космического снимка со спутника RapidEye с пространственным разрешением 5 м в четырех каналах видимого (0,44–0,51, 0,52–0,59, 0,63–0,68, 0,69–0,73 мкм) и ближнем инфракрасном (0,76–0,85 мкм) участках спектра, с радиометрическим разрешением 12 бит/пиксел. Съемка выполнена 6 августа 2009 г.

2. Фрагмент космического снимка TM/Landsat-5 участка акватории Астраханского биосферного заповедника. Съемка 16 августа 2009 г.

3. Таблицы координат (в системе СК-42) и описаний точек полевых наблюдений.

4. Презентация с наземными фотографиями точек наблюдений.

5. Картографическая основа в векторном формате, масштаб 1:150 000.

Задание выполняется в два этапа. На первом – используются снимки высокого пространственного разрешения и наземные данные, методом обработки служит кластеризация. На втором этапе – исходным материалом служат снимки более низкого разрешения, но большего территориального охвата, а методом обработки – контролируемая классификация, по результатам которой создается карта распространения зарослей лотоса по состоянию на 2009 г.

Этап 1. Дешифрирование зарослей лотоса на основе кластеризации и результатов наземных обследований

Программное обеспечение – MultiSpec и ILWIS*.

Порядок выполнения задания

1. Просмотреть презентацию, ознакомиться с наземными фотографиями зарослей лотоса различных категорий.
2. Выполнить кластеризацию снимка RapidEye (рис. П10).

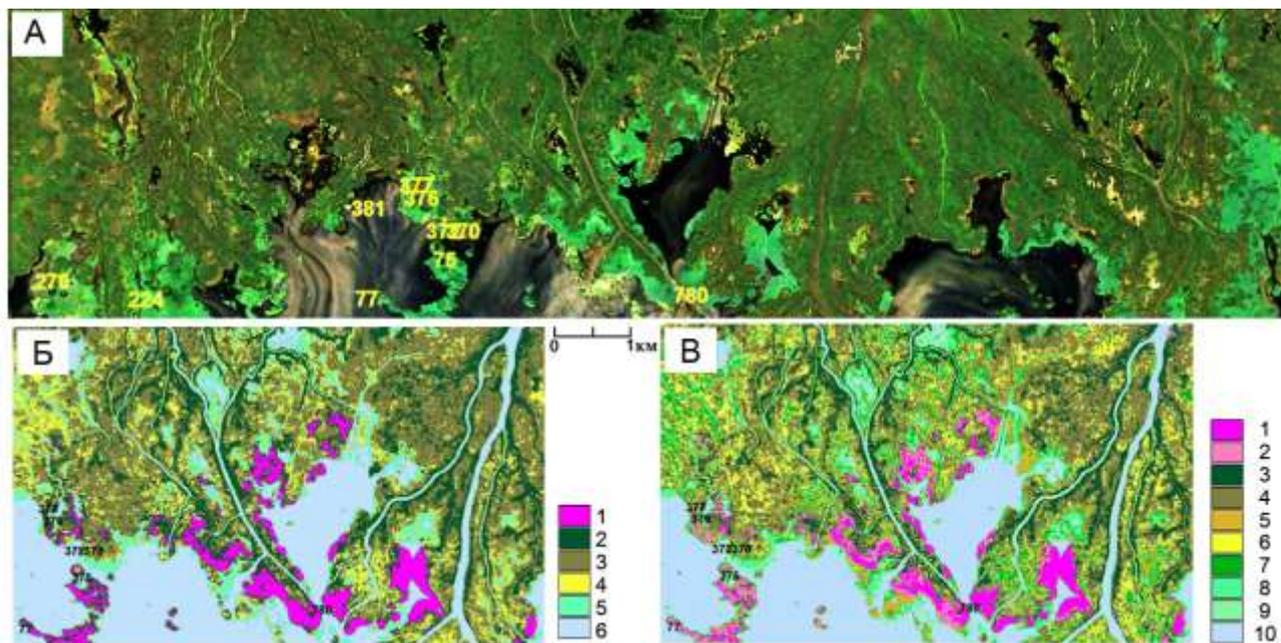


Рис. П10. Дешифрирование водной растительности на основе методов классификации с использованием данных наземных наблюдений: А – фрагмент космического снимка со спутника RapidEye с точками полевых наблюдений, 6 августа 2009 г., синтез каналов 3 (0,63–0,685), 2 (0,52–0,59), 1 (0,44–0,51) (натуральная цветопередача) и результаты его кластеризации: Б – 6 кластеров, В – 10 кластеров.

Действия в программе MultiSpec. Вывести снимок на экран: File–Open Image (тип файлов .lan), выполнить синтез. В строке главного меню выбрать Processor–Cluster. В появившемся окне указать алгоритм кластеризации ISODATA, в новом окне выбора параметров работы алгоритма (Set ISODATA Cluster Specification) отметить способ определения центров начальных кластеров на основе статистических параметров исходных снимков (within eigenvectors volume). В разделе прочих опций (Other options) указать количество кластеров для решаемой задачи (3–8); показатель сходимости (Convergence %) 98 или 99% и минимальный размер кластера – 500. В разделе определения кластеров (Determine Clusters from) отметить Image Area, (выбор характеристик кластеров для всего снимка), по умолчанию операция проводится для каждого элемента строки и столбца: Start Line и Column–1, Interval–1.

После нажатия ОК происходит возврат в окно задания исходных и результирующих параметров кластеризации, в этом окне также отметить Image Area, (результирующая карта кластеризации для всего снимка). Из вариантов записи результатов кластеризации отметить маску (карту) кластеров (Cluster Mask file), убрать отметки из остальных окошек, ОК.

* Необходимость сочетания этих программ при выполнении задания обусловлена тем, что ILWIS не выполняет кластеризацию растровых данных формата 12 бит/пиксел, а MultiSpec не поддерживает векторные (точечные) карты.

В выпавшем окне задать имя файла карты кластеризации, обязательно добавить расширение (.gis).

Для проведения кластеризации с другим числом кластеров закрыть проект, созданный на предыдущем этапе, и повторить процедуру Processor–Cluster. Получить три или четыре результата при числе кластеров от 3 до 8. Вывести все результаты на экран и сравнить их, визуально определить оптимальное число кластеров с учетом поставленной задачи – выделения сообществ с участием лотоса; использовать этот файл для последующей обработки в программе ILWIS.

Закрыть программу MultiSpec, поскольку все остальные действия осуществляются в программе ILWIS.

3. Создать карту точек полевых наблюдений.

3.1. Импортировать таблицу координат точек.

Действия в программе ILWIS. В списке операций выбрать Import–Import Table, указать имя файла с расширением .txt, подтвердить опцию импорта. В следующем окне выбрать тип разделителя табличных значений, в данном случае – пробел (Space Delimited), при этом в следующем окне откроется предварительный вариант таблицы, где в первом столбце записаны номера точек, а во втором и третьем – их пространственные координаты в системе СК-42. После подтверждения открывается следующее окно, где надо проверить, все ли импортируемые табличные значения определены как числа (value) (рис. 3.6). По команде «Далее» в следующем окне задать имя импортированной таблице. В итоге в рабочей папке появится файл со значком таблицы .

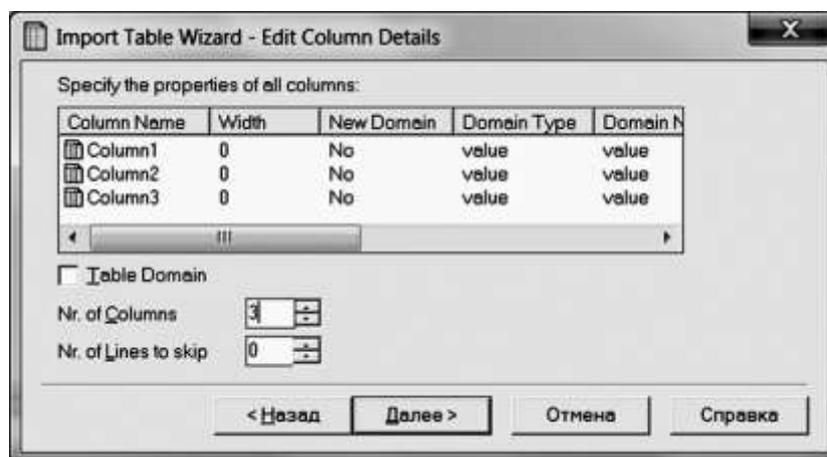


Рис. 3.6. Окно импорта таблицы

3.2. Преобразовать таблицу в векторную карту точек.

Действия в программе. Наведя курсор на название файла правой кнопкой мыши вызвать контекстное меню, выбрать Table Operations (Действия с таблицами)–Table to PointMap (Таблица в точечную карту). В открывшемся окне задать параметры точечной карты: номера столбцов, используемых как X и Y (второй и третий столбцы таблицы), из выпадающего списка систем координат выбрать Uknown, в качестве домена карты точек указать первый столбец – номера точек; задать имя, Show для выполнения. Отказаться от вывода точечной карты на экран без снимков. В итоге в рабочей папке появится файл со значком точечной карты .

4. Совместить карту точек со снимком.

Действия в программе. Осуществить импорт снимка со спутника RapidEye, указав формат исходного файла *.lan. Снимок импортируется с координатной привязкой в системе WGS-84, файл привязки georeference имеет то же имя, что и файл снимка. Чтобы иметь возможность использовать точки полевых наблюдений, нужно изменить систему координат снимка на СК-42, воспользовавшись файлом привязки RE_sk42. Для этого навести курсор на имя файла снимка, в контекстном меню выбрать Properties, в открывшемся окне свойств карты в выпадающем меню привязки (GeoReference) выбрать из списка файл привязки снимка RE_sk42, остальные свойства оставить без изменений, ОК.

Вывести на экран синтезированный снимок со спутника RapidEye (рекомендуется использовать каналы 5, 4 и 3), добавить слой (Layer–Add Layer) или клавишей «Insert» с клавиатуры, выбрать файл созданной карты точек. В окне опций (Display Options–Point Map) задать параметры вывода точек: вид значка (Symbol), его цвет (для темных снимков – яркие цвета и наоборот), не менять размер значка в зависимости от номера точки (убрать галочку в окошке Stretch), указать размер значка Size (pt) 2 или 3, ОК; вид подписей номеров (Text), выбрать цвет, тип и кегль, ОК.

5. Совместить карту точек с результатом кластеризации.

Действия в программе. Осуществить импорт результата кластеризации – Import Map или General Raster, задать формат импортируемых данных (Erdas GIS, LAN), выбрать из списка карту кластеризации с оптимальным числом кластеров, созданную в программе Multispec, задать имя файла, повторить процедуру замены файла привязки (повторить действия п. 4). Вывести изображение кластеризации в новое окно, добавить слой точек.

6. Анализ результата кластеризации. Сопоставить изображения, полученные при выполнении пп. 4 и 5, установить соответствие выделенных кластеров объектам местности, описанным при полевых обследованиях:

- заросли лотоса, проективное покрытие 100%, участие лотоса не менее 75%;
- заросли лотоса с участием тростника, рогоза, ежеголовника, проективное покрытие 70–100%, участие лотоса около 50%;
- заросли тростника, рогоза, ежеголовника с участием лотоса проективное покрытие 70–100%, участие лотоса до 30%;
- заросли тростника, рогоза;
- прочая водная растительность (нимфейник, кувшинка, водяной орех, и т. п.);
- открытая водная поверхность;
- прочие территории («суша»).

Заполнить таблицу соответствия кластеров объектам местности (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Результаты кластеризации снимка RapidEye

Номер кластера	Объекты

7. Оформить результат кластеризации. Присвоить кластерам цвета в соответствии с видами распознаваемых объектов, особо выделив заросли лотоса. Подготовить макет для печати.

Действия в программе. Изменить цвет кластера двойным щелчком на шапке легенды. Кластерам объектов, разделение которых с учетом поставленной задачи не обязательно, задать одинаковый цвет. Для окончательного оформления результата кластеризации в верхней строке меню открытого окна вызвать меню компоновки File – Create Layout, задать имя, масштаб – 1:50 000, ОК. В открывшемся окне дополнить основное изображение числовым или линейным масштабом, легендой, рамкой и координатной сеткой. Сохранить всю компоновку в формате .bmp: File–Export to Bitmap.

Результат выполнения первого этапа задания

1. Таблица соответствия кластеров объектам местности.
2. Оформленная схема автоматизированного дешифрирования зарослей лотоса на участке устьевого взморья, составленная на основе кластеризации снимка RapidEye (файл .bmp).

Этап 2. Дешифрирование зарослей лотоса на основе контролируемой классификации многозонального снимка TM/Landsat-5

Программное обеспечение – ILWIS.

Порядок выполнения задания

1. Сформировать список классов, которые будут получены в результате обработки снимков (в том числе и классы объектов, не являющихся основным содержанием будущей карты).

Действия в программе. Создать перечень классов – домен (Domain): File–Create–Domain, в открывшемся окне задать имя, отметить тип домена Class, ОК. В новом окне (Domain Class) последовательно добавлять классы значком + (Add Item) или клавишей Insert. Обозначить имена классов можно сокращенно. Ввести следующие классы:

- сплошные заросли лотоса,
- сообщества с участием лотоса,
- водная растительность без участия лотоса,
- водные массы прозрачные,
- водные массы взмученные,
- растительность надводной дельты (тростниковые заросли, участки леса, сухие луга).

При необходимости можно добавлять классы и в процессе формирования выборки.

2. Создать обучающую выборку.

Действия в программе. Начать формирование обучающей выборки из главного меню: File–Create–Sample Set. В открывшемся окне задать имя файла, выбрать из выпадающего списка (Domain) имя созданного на предыдущем этапе домена и многозональный снимок (MapList), для вывода которого на экран выбрать вариант синтеза (рекомендуется использовать каналы 4, 3 и 2). Следом откроется окно создания обучающей выборки (Sample Set Editor) (рис. 3.7). По умолчанию одновременно открывается

таблица статистических характеристик эталонов (Sample Statistics), которая позволяет контролировать близость характеристик выделенных пикселей к средним значениям (центру) класса, размер обучающей выборки по каждому классу и др.

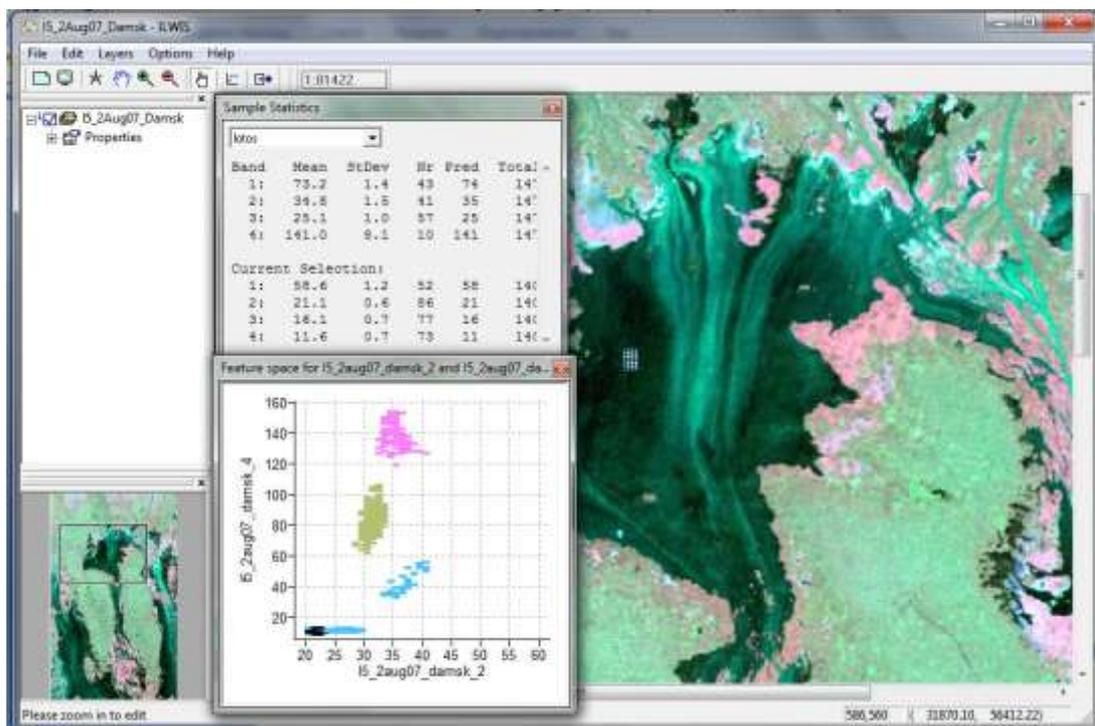


Рис. 3.7. Окно создания обучающей выборки

Для контроля разделимости классов открыть графическое представление двумерного пространства спектральных признаков Feature Space (значок ) , указать 3 и 4 канала снимка. На графике по горизонтальной и вертикальной осям даны диапазоны изменения яркости в двух выбранных каналах – красном и ближнем инфракрасном – наиболее информативных для классов растительности. Дополнительно можно использовать и другие пары каналов. Разместить все окна на экране.

При выборе эталонов классов использовать описания точек полевых наблюдений и результаты, полученные на первом этапе, для чего открыть таблицу описаний, добавить на снимок точки наземных наблюдений (Layer–Add Layer–имя файла точечной карты) и открыть окно результата кластеризации.

Выделить курсором группы однородных по цвету пикселей размером в 1–2 десятка, типичные для каждого класса объектов, присвоить имя класса (правая клавиша, в контекстном меню Edit–Class name, ОК). На графике пространства признаков (Feature Space) появится изображение выделенных пикселей, а в окне статистики (Sample Statistics) в нижней таблице зафиксируются значения яркости на каждом из зональных снимков.

Выбрать в разных частях снимка еще несколько участков, относящихся к тому же классу. При добавлении очередного участка в верхней таблице окна статистики появляется новое значение центра класса как среднее из всех значений яркости пикселей, отнесенных к этому классу.

Операцию выбора участков-эталонов выполнить для всех классов, следить за их разделимостью и компактностью на графике пространства признаков (Feature Space). После создания обучающей выборки закрыть окно, результаты будут сохранены.

3. Выполнить классификацию снимка TM/Landsat-5 (рис. П10).

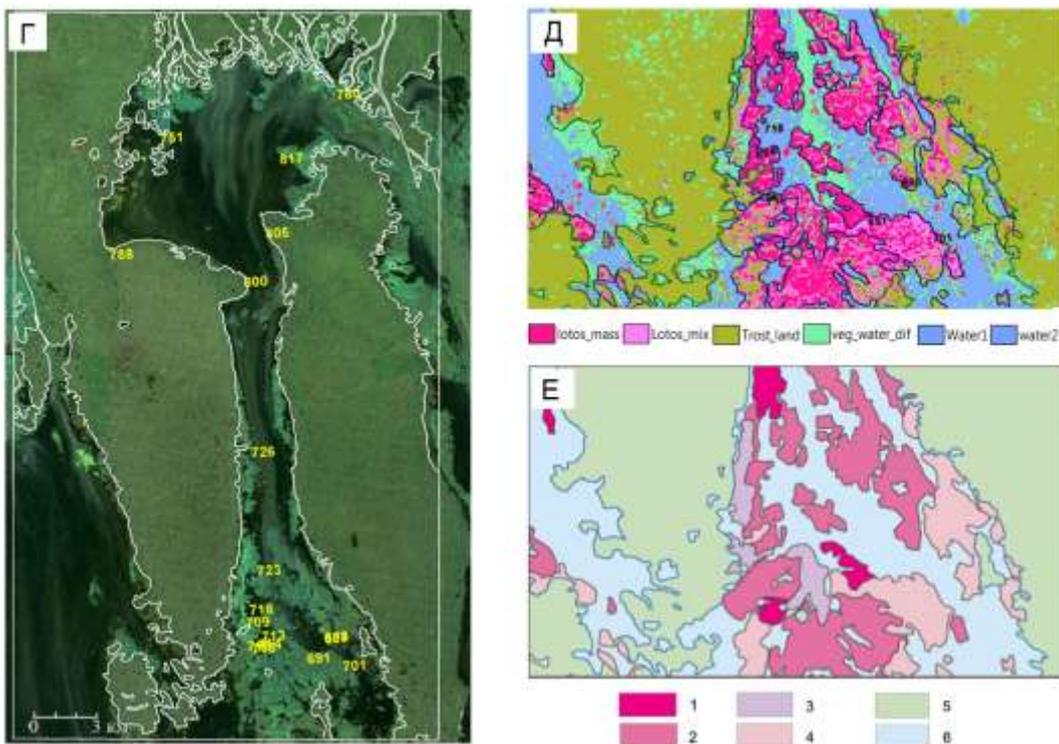


Рис. П10. Дешифрирование водной растительности на основе методов классификации с использованием данных наземных наблюдений: Г – фрагмент снимка TM/Landsat-5, съемка 16 августа 2009 г., с наложенной векторной основой и точками полевых наблюдений, Д – пример результата классификации с обучением, Е – образец составленной на его основе карты распространения водной растительности. Обозначения в тексте

Действия в программе. Выбрать курсором в списке файлов созданную обучающую выборку и вызвать правой кнопкой контекстное меню, выбрать функцию Classify (функцию можно найти и в списке программ). В открывшемся окне выбрать метод классификации – Minimum Distance (Метод минимального расстояния) или Maximum Likelihood (Метод максимального правдоподобия), присвоить имя новому файлу, для выполнения операции нажать Show.

4. Оценить достоверность классификации. К выведенному на экран результату классификации добавить точки полевых наблюдений и подсчитать количество точек, попавших в «правильные классы». При неудовлетворительном результате (60% точек и менее) уточнить обучающую выборку и повторить классификацию.

5. Составить средствами пакета ILWIS карту распространения лотоса по результатам автоматизированной обработки снимков.

5.1. Для создания схемы дешифрирования использовать готовую векторную картографическую основу в масштабе 1:150 000. Она содержит изображение береговой линии, выделенной по ранневесеннему снимку, которая соответствует границе растительности надводной дельты, практически не меняющейся в разные сезоны года. Схема дешифрирования создается путем добавления к векторной основе границ растительных сообществ по результатам классификации. Переход от результата классификации к логически правильной, содержательной легенде требует объединения некоторых классов.

Предлагается следующий вариант легенды:

- монодоминантные сообщества лотоса,
- сообщества водной растительности с участием лотоса,
- прочая водная растительность,
- растительность надводной дельты,
- водная поверхность

Действия в программе. Вывести на экран результат кластеризации и добавить в качестве нового слоя (Add Layer или значок +) векторную основу. Войти в режим редактирования векторного слоя: Edit–Edit Layer, из списка выбрать имя файла, открывается панель редактирования (Segment Editor). Инструмент  (Insert Mode) позволяет рисовать линии – сегменты, а инструмент  (Move Points) – редактировать рисунок, передвигая точки сегментов или узлы их соединения. Выбрать участки, где классы представлены компактными скоплениями одинаковых пикселей, и нарисовать их границы. Чтобы задать класс линейного объекта (присвоить атрибуты), открыть двойным щелчком левой клавиши окно Edit и выбрать (задать новое) имя создаваемым сегментам. В процессе рисовки границ необходимо следить за правильным замыканием линий в полигоны.

5.2. Создать карту полигонов

Действия в программе. После окончания рисовки сегментов, не выходя из режима редактирования, проверить их на наличие ошибок (File–Check Segments). В спадающем меню последовательно запустить первые три программы, указывая в окошке Mask имена только тех классов линий, которые будут участвовать в создании полигонов: Self Overlap – проверка частичного наложения линий одного сегмента; Dead Ends – замкнутость сегментов и Intersections – пересечение сегментов. При наличии ошибок программа автоматически указывает их места (меняется цвет узловой точки). После устранения ошибок создается карта полигонов (File–Polygonize). В открывшемся окне Polygonize Segment Map отметить Mask (по умолчанию появляются названные ранее имена сегментов) и Topology, задать имя новой карты и создать ее легенду (Domain). Открыть окно создания легенды (атрибутов) карты соответствующим значком (Create Domain ) , задать имя легенды, выбрать тип объектов – класс (Class), ОК. В окне легенды (Domain Class) добавить классы значком + или клавишей Insert, дать им короткие названия. После закрытия окна Polygonize Segment Map программа переходит в режим редактирования полигонов (Polygon Editor). Инструментом  (Normal) поочередно выделить полигоны и отнести к нужным классам. Выйти из режима редактирования.

Окончательное оформление карты выполнить аналогично п. 7 первого этапа.

Вопросы

1. Как влияет на результат кластеризации количество задаваемых классов?
2. Какие из классов объектов местности устойчиво разделяются при кластеризации с разным количеством кластеров?
3. Какие классы на графике двумерного поля признаков имеют компактную форму, а какие большой разброс значений? Объясните, почему.

4. Совпадают ли границы сообществ лотоса на картах 1:50 000 и 1:150 000? Как можно объяснить различия?

Результат выполнения задания

1. Таблица соответствия кластеров объектам местности.
2. Оформленная схема дешифрирования зарослей лотоса на участке устьевого взморья в масштабе 1:50 000, составленная на основе кластеризации снимка RapidEye (файл .bmp).
3. Карта распространения лотоса на участке Астраханского заповедника в масштабе 1:150 000, составленная на основе классификации растительности по снимку TM/Landsat.
4. Ответы на вопросы в письменном виде.

3.4. Дешифрирование снимков в инфракрасном тепловом и радиоволновом диапазонах

В исследованиях Земли используются не только снимки в видимом и ближнем инфракрасном участках спектра (0,38–0,74 мкм), но также в инфракрасном тепловом (3–1000 мкм) и радиоволновом (1 мм–1 м) диапазонах длин волн электромагнитного излучения. Съемка земной поверхности в этих диапазонах позволяет выявлять объекты или их свойства, не различимые на снимках видимого диапазона. Однако, несмотря на принципиальные различия в способах получения изображений в этих диапазонах, снимки можно анализировать и обрабатывать с применением методов, разработанных для снимков видимого диапазона.

В тепловом диапазоне (3–1000 мкм) регистрируется собственное излучение объектов земной поверхности, интенсивность которого зависит как от нагрева Солнцем, так и от потока тепла из земных недр, от работающих механизмов или очагов возгорания. Глаза человека нечувствительны к тепловому излучению, однако съемочные системы, так называемые тепловые радиометры, позволяют регистрировать электромагнитное излучение объектов в этой области спектра и представить его в виде двумерного изображения (снимка). На этих снимках различия в интенсивности теплового излучения объектов представлены в виде различий в яркости: объектам более «теплым» соответствует более высокая яркость изображения, а «холодные» объекты имеют низкую яркость.

Съемка в инфракрасном тепловом диапазоне не зависит от условий освещения и может выполняться в ночное время, но облачный покров является препятствием для съемки земной поверхности. Атмосфера Земли непрозрачна в этом диапазоне, регистрация теплового излучения съемочными системами возможна лишь в нескольких участках диапазона: 3–5, 8–14 и 30–80 мкм. Максимум теплового излучения Земли приходится на интервал 10–12 мкм, этот диапазон активно используется для регистрации излучения. Съемка в тепловом диапазоне регулярно ведется с метеорологических спутников, обеспечивающих ежедневное получение изображений всей Земли с пространственным разрешением около 1 км. Для региональных географических исследований интересны тепловые снимки с более высоким пространственным разрешением, получаемые с ресурсных спутников (съемочные системы TM и ETM+/Landsat-7, ASTER/Terra, разрешение в тепловом канале 120, 60 и 90 м).

Съемки в радиодиапазоне длин волн занимают особое место потому, что радиоволны имеют большую, по сравнению с оптическими волнами, проникающую способность и почти не поглощаются и не рассеиваются облаками. Радиолокационная съемка – активный метод получения информации, поскольку радиоволны излучаются антенной, находящейся на борту летательного аппарата, и после отражения от земной поверхности попадают на приемную антенну.

Съемка ведется независимо от времени суток, уровня освещенности, в любых метеорологических условиях и при больших расстояниях до объекта наблюдения. Отраженный сигнал содержит информацию об объектах земной поверхности и их характеристиках.

Применение радиолокационных методов при изучении и картографировании земной поверхности идет по двум направлениям, поскольку при обработке радиосигнала возможно получение информации как о расстоянии, пройденном электромагнитной волной (фаза сигнала), так и об интенсивности отраженного сигнала (амплитуда). Фазовая составляющая сигнала используется для создания цифровых моделей рельефа поверхности, выявления смещений. Интенсивность отраженного сигнала – яркостная составляющая – позволяет получать радиолокационные изображения.

Радиолокационное изображение передает различиями в яркости способность земных объектов рассеивать и отражать радиоволны, излучаемые передающей антенной. Оно получается в результате преобразования интенсивности отраженного радиосигнала, полученного приемной антенной (числового значения обратного рассеяния) в числовое значение яркости. Чем больше величина обратного рассеяния сигнала участком поверхности, тем сильнее сигнал на входе приемника, и тем больше яркость пиксела, соответствующего этому участку на снимке. Величина обратного рассеяния зависит не только от свойств поверхности – шероховатости, влажности, диэлектрических характеристик, но и от параметров зондирующего излучения – длины волны, поляризации, угла зондирования. Для исследований земной поверхности используется несколько участков диапазона длин волн или частот (табл. 3.4)

Таблица 3.4

Диапазоны длин волн и частот, используемые при радиолокации земной поверхности

Диапазоны	X	C	L	P
Длина волны, см	2.5–3.75	3.75–7.5	15–30	30.0–100.0
Частота, ГГц	8–12	4–8	1–2	0.3– 1.0

Изображения местности на радиолокационном снимке зависит от соотношения между длиной волны и размерами неровностей местности: поверхность может быть в разной степени шероховатой или гладкой, что проявляется в интенсивности обратного сигнала и, соответственно, яркости соответствующего участка на изображении. Например, при малой длине волны (диапазоны X и C) различия в высоте и густоте растительного покрова выражены слабее, чем при большей (диапазоны L и P), поэтому для изучения состояния лесной растительности стараются использовать более длинные волны.

Для повышения информативности радиолокации при исследованиях Земли помимо разной длины волны используется поляризация – направленность электромагнитных колебаний в

определенной плоскости – горизонтальной (H) или вертикальной (V). Сигнал, испускаемый антенной, может быть поляризован только горизонтально или вертикально, но после взаимодействия с земными объектами поляризация сигнала меняется по-разному в зависимости от их особенностей. Если антенна настроена на прием обратного сигнала с той же поляризацией, что и при излучении – случай называется согласованной поляризацией (HH или VV). Если принимается сигнал, поляризованный в плоскости, перпендикулярной плоскости посланного сигнала (HV или VH), это – кросс-поляризация. Разные виды поляризации радиоволн несут дополнительную информацию об особенностях объектов, что отображается на снимках в виде различий в яркости изображения одного и того же объекта, полученного при разных поляризациях посланного и принятого сигнала.

Влияние поляризации на особенность получаемого радиолокационного изображения проявляется в следующем. Интенсивность обратного сигнала почти всегда выше при согласованной вертикальной поляризации, чем при горизонтальной и кросс-поляризациях. Радиолокационные изображения, полученные при кросс-поляризации, передают более «тонкие» различия в свойствах объектов, однако ослабление принимаемого сигнала может сделать неразличимыми некоторые гладкие объекты.

Специфической особенностью радиолокационных снимков является наличие мелкой зернистости изображения, которую обычно называют *спекл-шумом*. Он возникает вследствие интерференции сигналов, пришедших от различных точек поверхности.

Разрешение радиолокационных изображений зависит от технологических особенностей радиолокационных систем. Настройка современных радиолокаторов, ведущих съемку земной поверхности, позволяет изменять режимы съемки, в результате чего пространственное разрешение может быть изменено более чем в 10 раз (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Некоторые характеристики режимов съемки радиолокационных систем

Характеристика материалов съемки	Режимы съемки		
	Прожекторный (SpotLight/ Fine) Наиболее высокое разрешение	Полосный (StripMap/Standard) Среднее разрешение	Обзорный (ScanSAR) Наиболее низкое разрешение
TerraSAR-X			
Размер кадра, км	10 x 5	30 x 50	100 x 150
Среднее разрешение по кадру, м	1	3	16
Radarsat -2			
Ширина полосы съемки, км	50	100	500
Среднее разрешение по кадру, м	2,5	10	100
Radarsat -1			
Ширина полосы съемки, км	50	100	500
Среднее разрешение по кадру, м	8	25	100

При изменении пространственного разрешения меняется и охват территории. Например, съемка RADARSAT-2 с разрешением 3 м осуществляется в режиме точной прицельной съемки (Ultra-Fine), а с разрешением 100 м – в обзорном режиме (ScanSAR-Wide).

Длина волны зондирующего излучения каждой из действующих радиолокационных систем постоянна, например, радары спутников TerraSAR/TanDEM-X работают в X-диапазоне длин волн (3,1 см), Radarsat-1 и 2 – в C (5,6 см), а радар ALOS (PALSAR) – в L-диапазоне (23,5 см). Съемка одновременно в трех диапазонах длин волн и при разных вариантах поляризации сигнала на излучение и прием проводилась в экспериментальном режиме с пилотируемого космического корабля Шаттл в 1990-х годах.

Наибольший эффект при дешифрировании снимков в тепловом и радиодиапазонах может быть получен при их рациональном сочетании со снимками видимого диапазона, позволяющими уверенно распознавать виды объектов, в то время как особенности их состояния могут быть определены на снимках в «невидимых» диапазонах.

Задание 9. Выявление тепловых аномалий города по снимкам в инфракрасном тепловом диапазоне

Введение. Результаты тепловой съемки земной поверхности с разным пространственным разрешением находят применение в самых разных областях: от изучения и прогнозирования глобальных климатических процессов, наблюдений за вулканической деятельностью, мониторинга лесных пожаров, до определения состояния подземных тепловых сетей, диагностики состояния нефте- и газопроводов. Известны примеры обнаружения и изучения по снимкам городского острова тепла*.

Более высокий, относительно пригородов, уровень температуры в городе создается многими факторами. С одной стороны, асфальтовые покрытия и стены каменных зданий имеют большую теплоемкость и, следовательно, больше нагреваются Солнцем, а многие объекты характеризуются высоким уровнем выделения тепла (тепловые электростанции, действующие промышленные предприятия и т. п.). С другой стороны, в городе существенно меньше затраты тепла на испарение осадков вследствие их искусственного стока и на транспирацию растений из-за малой по сравнению с пригородами площади зеленых насаждений. Увидеть объекты, повышающие и понижающие температурный фон в городе, выявить аномально горячие объекты, найти места сброса загрязнённых вод, а также наметить «неблагополучные» районы для проведения детальных обследований позволяют снимки в инфракрасном тепловом диапазоне. Наилучшее пространственное разрешение изображений в тепловом диапазоне предоставляют съемочные системы ETM+/Landsat-7 и ASTER/Terra (60 и 90 м соответственно). Система ASTER обеспечивает получение данных в нескольких участках теплового инфракрасного диапазона, что позволяет проводить численное моделирование и определение геофизических параметров земной поверхности, в том числе ее температуры. Однако для дешифрирования объектов, характеризующихся разными тепловыми свойствами, и, соответственно, температурой поверхности, преимущество имеют снимки ETM+/Landsat-7 с более высоким пространственным разрешением.

Характеристика территории. Снимки в инфракрасном тепловом диапазоне спектра, используемые в задании, охватывают территорию Москвы и Ближнего Подмосковья.

Москва – крупнейший мегаполис России с населением 11,5 млн жителей (2011 г.). Территория города на 2010 г. составляла около 1100 км². Основная часть (около 900 км²) находится внутри кольцевой автомагистрали (МКАД), остальные 200 км² – за ней.

Самые высокие точки рельефа расположены в юго-западной части столицы, где находится Теплостанская возвышенность (максимальная отметка 255 м над уровнем моря), и на северо-

* Под городским островом тепла понимается явление повышения температуры в городской черте относительно окружающих пригородов на величины до нескольких градусов.

западе, на южных склонах Смоленско-Московской возвышенности, а самые низкие – на востоке и юго-востоке, куда заходят окраины Мещерской низменности. Самая низкая отметка 114 м – урез Москвы-реки на выходе из города в районе Бесединских мостов.

Климат Москвы умеренно-континентальный при средней температуре зимы $-7,5^{\circ}\text{C}$, а летней – $+18,4^{\circ}\text{C}$, нередко бывают сильные морозы или палящая жара. Осадков выпадает 600–800 мм/год. Водные объекты в городе – река Москва с ее самым крупным притоком Яузой, каналы, озера и пруды, многочисленные малые реки и ручьи. Положение города в подзоне хвойно-широколиственных лесов во многом определило типы естественной растительности. Произраставшие ранее сосновые леса, дубравы и липняки, еловые и елово-широколиственные леса были вырублены, и сейчас лесные массивы существенно различаются по площади. Самые крупные из них – леса и лесопарки Лосинный остров, Битцевский, Измайловский, Кузьминский и Царицынский. В городе распространены и другие типы зеленых насаждений: территории ботанических садов с элементами лесной растительности, скверы, парки, дендрарии, внутриквартальные посадки и озелененные территории специального назначения.

Степень антропогенной преобразованности ландшафтов очень высока, большая часть территории занята зданиями разной этажности и функционального назначения, образующими массивы с разной плотностью застройки, а также транспортными магистралями.

Используемые снимки получены между 11 и 12 часами местного времени при ясной погоде, когда солнечные лучи уже успели нагреть все открытые поверхности – крыши зданий и асфальтовые покрытия улиц и магистралей в городе и вспаханные, еще без посевов, поля за его чертой. Они, как и действующие промышленные предприятия, характеризуются высоким уровнем теплового излучения. В противоположность этому водные объекты, обладающие значительной тепловой инерцией, в первых числах мая еще имеют низкую температуру, за исключением участков, подвергающихся тепловому загрязнению.

Сравнение тепловых снимков с разным пространственным и спектральным разрешением между собой и сопоставление их со снимком в видимом диапазоне позволяет выявить основные закономерности изображения объектов на тепловых снимках, а также соотношение интенсивности теплового излучения природных и антропогенных объектов.

Для улучшения восприятия тепловое изображение можно преобразовать путем квантования. Выбор количества ступеней зависит от решаемой задачи.

Цель задания – ознакомиться с изобразительными свойствами снимков в инфракрасном тепловом диапазоне спектра, особенностями и возможностями дешифрирования объектов на примере городской территории.

Материалы

1. Многозональный космический снимок ASTER/Terra

- в видимом (зеленый 0,52–0,60 мкм, красный 0,63–0,69 мкм) и ближнем инфракрасном (0,76–0,86 мкм) участках спектра с пространственным разрешением 15 м;
- в инфракрасном тепловом диапазоне (5 каналов 8.125–11.650 мкм в одном файле .lan) с пространственным разрешением 90 м.

Съемка 4 мая 2001 г.

2. Зональный снимок ETM+/Landsat-7 в инфракрасном тепловом диапазоне (6 канал, 10.4–12.5 мкм) с пространственным разрешением 60 м. Съемка 4 мая 2001 г. (рис. П11)

Программное обеспечение – MultiSpec и ILWIS.

Порядок выполнения задания

1. Вывести на экран и рассмотреть все снимки

Действия в программе MultiSpec: поочередно File–Open–имя файла.

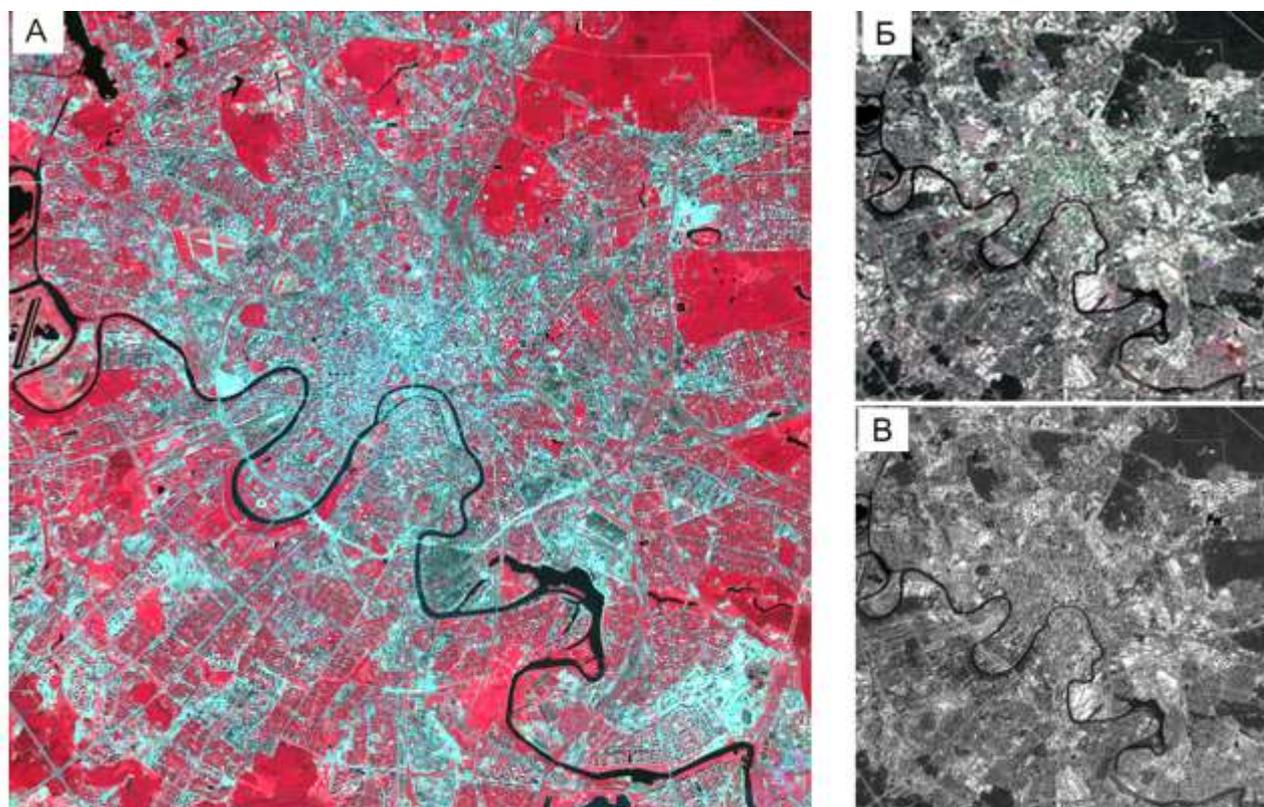


Рис. П11. Выявление тепловых аномалий города на примере Москвы: А – снимок ASTER/Terra, синтез каналов видимого и ближнего ИК диапазонов, Б – снимок ASTER/Terra, синтез каналов инфракрасного теплового диапазона, В – зональный снимок ETM+/Landsat-7 в инфракрасном тепловом диапазоне.

2. Найти примеры объектов, которые лучше видны на тепловом снимке Landsat-7 благодаря более высокому пространственному разрешению. Найти «цветные объекты» на синтезированном многозональном тепловом снимке ASTER и определить их, для чего воспользоваться цветным снимком в видимом диапазоне с более высоким пространственным разрешением*.

* При наличии сети Интернет для распознавания объектов можно использовать доступные сервисы с детальными изображениями Земли.

Сравнить изображение городской территории на снимке в видимом диапазоне и на каждом из тепловых снимков и заполнить табл. 3.6.

Таблица 3.6

Сравнение тепловых снимков ETM+/Landsat-7 и ASTER/Terra

Объекты, лучше различимые на тепловом снимке ETM+/Landsat	Объекты, лучше различимые на тепловом многозональном снимке ASTER/Terra
Наиболее «теплые» объекты на обоих снимках	
Наиболее «холодные» объекты на обоих снимках	

3. Преобразовать тепловой снимок ETM+/Landsat-7 путем квантования диапазона яркостей, пользуясь средствами программного пакета ILWIS (рис. П11).

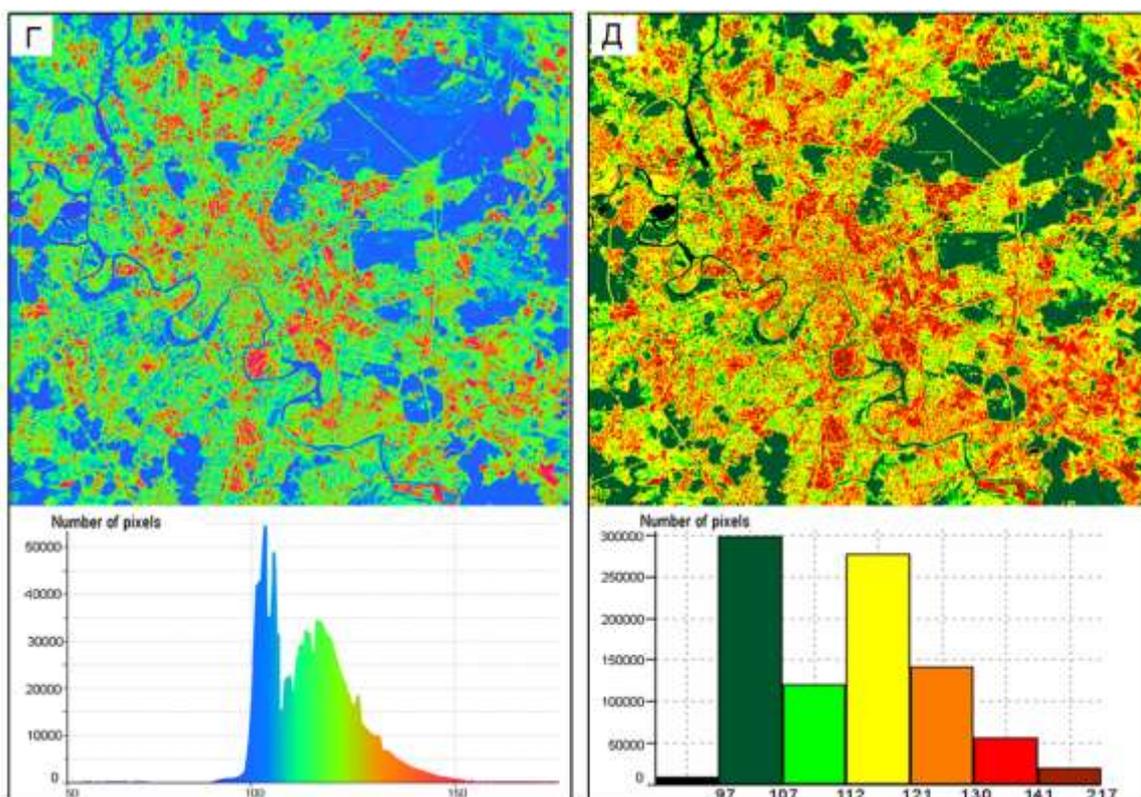


Рис. П11. Выявление тепловых аномалий города на примере Москвы: Г – снимок ETM+/Landsat-7 в непрерывной цветовой шкале и соответствующая гистограмма распределения яркостей, Д – тот же снимок, квантованный на 7 уровней и соответствующая гистограмма

3.1. Импортировать и вывести на экран снимок ETM+/Landsat-7.

Действия в программе ILWIS. Запустить программу. Для импорта в главное меню: File–Import Map. В открывшемся диалоговом окне выбрать формат импортируемого файла – .tif, задать имя, ОК.

Открыть файл двойным щелчком мыши на имени файла. Одновременно создается файл, содержащий статистические характеристики изображения, гистограмма .

3.2. Выбрать шкалу квантования по данным гистограммы.

Действия в программе. Открыть файл «гистограмма». Опираясь на ее характеристики, разделить весь диапазон яркостей теплового снимка на несколько ступеней. Рекомендуемое значение 7 ступеней со следующими примерными границами:

- 0–98 – минимальные значения яркости, наиболее «холодные» объекты;
- 99–107 – низкие значения яркости, «холодные» объекты, занимающие большую площадь на снимке (пик гистограммы);
- 108–112 – близкие к средним значения яркости, умеренно «холодные» объекты;
- 113–121 – средние значения (середина гистограммы);
- 122–130 – значения яркости немного выше среднего, умеренно «теплые» объекты;
- 131–141 – значения яркости заметно выше среднего, «теплые» объекты;
- 142–217 – максимальные значения яркости, «горячие» объекты.

3.3. Создать на основе выделенных ступеней легенду будущей «карты» теплового острова и выполнить квантование.

Действия в программе

Навести курсор на файл теплового снимка, вызвать контекстное меню, запустить квантование: Image Processing–Slicing. В открывшемся окне задать имя для результата квантования и нажать на значок нового домена (легенды карты). В открывшемся окне (Create Domain) дать имя домену и отметить Тип: Class и Group, ОК. В новом окне создания шкалы квантования значком + или клавишей Insert ввести значения верхних границ ступеней яркости (Upper Bound), начиная с наименьших значений. Обозначить номер каждой ступени (Class Name).

На этом этапе можно задать цвет заливки ступеней шкалы: нажатием на значок «палитры» открыть новое окно Representation Class (Цветовое оформление). Заданные классы по умолчанию имеют произвольные цвета. Для улучшения восприятия результата квантования присвоить ступеням шкалы цвета от холодных синих до теплых красно-коричневых.

По завершении операции задания ступеней и их цветового оформления оба окна закрыть (сохранение введенных данных происходит автоматически). Вернуться в окно настройки операции квантования (Slicing), где для ее выполнения нажать Show (показать).

4. Сопоставить результаты квантования теплового снимка с изображением на детальном цветном синтезированном снимке и при необходимости – с картой города. Указать объекты, относящиеся к каждой из ступеней шкалы, заполнив таблицу соответствия интервалов яркости на тепловом снимке объектам на местности (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Соответствие интервалов яркости теплового снимка ETM+/Landsat-7 объектам местности

№	Интервал яркостей	Объекты

Вопросы

1. Почему изображение ASTER, синтезированное из трех каналов теплового диапазона, слабо отличается от черно-белого одноканального теплового изображения?

2. Какие объекты изображаются цветными на синтезированном тепловом снимке ASTER?

Почему?

3. Как различаются по интенсивности теплового излучения жилые кварталы с разной этажностью и степенью озеленения?

4. Упрощается ли восприятие температурных контрастов в результате квантования и цветокодирования?

Результат выполнения задания

1. Таблица визуального сравнения тепловых снимков ETM+/Landsat-7 и ASTER/Terra.

2. Результат квантования теплового снимка в выбранной цветовой шкале.

3. Таблица соответствия интервалов яркости теплового снимка ETM+/Landsat-7 объектам местности.

4. Ответы на вопросы в письменном виде.

Задание 10. Изучение особенностей изображения географических объектов на радиолокационных снимках

Введение. Использование радиоволн позволяет получать закодированную в яркости изображения информацию о земных объектах, недоступную при использовании съемочных систем в других участках спектра (геометрические характеристики поверхности, влажность, диэлектрические свойства), а высокая проникающая способность радиоволн обеспечивает наблюдение подповерхностных слоев.

Известны общие закономерности отражения радиоволн от природных и антропогенных объектов и особенности их изображения на снимках, обусловленные интенсивностью обратного рассеяния. Для *застроенных территорий* в целом характерна очень высокая яркость изображения, во-первых, за счет обилия хороших отражателей – ровных поверхностей, ориентированных практически перпендикулярно лучу (например, зданий), а во-вторых, наличие металлических объектов. Последние изображаются на радиолокационных снимках особенно яркими из-за усиления отраженного сигнала за счет электрического взаимодействия с объектом. Гладкие горизонтальные поверхности, например, асфальтовое покрытие, практически не отражают сигнал в сторону антенны, и потому отображаются темными тонами. *Водная поверхность* (спокойная, без ряби) также имеет темный тон из-за отсутствия обратного рассеяния. Водные поверхности с волнением или рябью могут давать значительное обратное рассеяние, такие участки на радиолокационных снимках иногда не отличаются от изображения суши. Пленки на воде (например, разливы нефти) «сглаживают» волнение, благодаря чему они хорошо выделяются на радиолокационных снимках темным тоном. *Растительный покров* характеризуется наибольшим разнообразием яркостей изображения на радиолокационных снимках. *Леса* изображаются довольно светлым тоном, во-первых, из-за того, что кроны деревьев представляют собой сильно шероховатую поверхность, возвращающую большую часть пришедшего излучения, а во-вторых, из-за многократного отражения волн под пологом леса. *Луговая растительность или сельскохозяйственные культуры* изображаются на снимках более темными тонами, чем лесная растительность, поскольку, как правило, характеризуются более низкой отражательной способностью в радиодиапазоне из-за меньших относительных размеров отражателей. Однако при малой длине волны интенсивность отражения лесной и луговой, особенно высокотравной, растительностью может различаться слабо, соответственно и яркость на снимке этих видов поверхности будет практически одинаковой. *Почва* меняет отражательные характеристики в зависимости от влажности, шероховатости и угла падения сигнала.

Одиночное радиолокационное изображение черно-белое. Для получения цветного изображения выполняют цветовой синтез снимков, полученных при разной поляризации сигнала или при

разной длине волны. Часто используется синтез разновременных радиолокационных снимков, при котором разными цветами изображаются объекты, изменившие состояние и соответственно яркость на снимке. Высокий уровень обратного рассеяния городской застройки практически не меняется со временем. В противоположность этому большинство территорий, покрытых растительностью, особенно обрабатываемые сельскохозяйственные земли, проходя разные стадии вегетации культур или обработки пашни, меняют внешний облик, что проявляется в изменении яркости их изображения и дает цвет при синтезе разновременных снимков.

Характеристика территорий. Задание выполняется на примерах городской и сельскохозяйственной территорий.

Городская территория представлена двумя участками. На первом из них, площадью 20x25 км², изображена часть северо-западной окраины Москвы и ближнее Подмосковье с аэропортом Шереметьево. Для этого участка характерно большое количество объектов, по-разному отражающих радиоволны. Здесь находятся кварталы с многоэтажной застройкой, дачные и коттеджные поселки, промышленные объекты, крупные автомагистрали – Московская кольцевая автодорога, Ленинградское шоссе и железные дороги, т. е. объекты, характеризующиеся сильным отраженным сигналом. Значительные площади занимают лесные массивы, отраженный сигнал от которых несколько слабее, водные объекты (водохранилища, реки, пруды), небольшие участки, занятые травянистой растительностью, в том числе заболоченные берега рек и озер, обратный сигнал от которых в целом еще слабее, чем от лесов и застроенных участков.

Второй участок площадью всего 2,2x2,7 км² – Олимпийский комплекс Лужники и городская многоэтажная застройка в районе Лужнецкой набережной. С точки зрения анализа радиолокационного изображения с высоким пространственным разрешением наиболее интересны различия в отражении радиоволн от спортивных площадок с разным материалом покрытия, газонов и древесной растительности.

Агроландшафт рассматривается на примере участка дельты Волги с сельскохозяйственными землями. Пахотные земли обвалованы, их большая часть в момент съемки обрабатывалась, некоторые поля в разное время заброшены и перешли в состояние залежей. Другую группу сельскохозяйственных угодий представляют сенокосные и пастбищные луга, а также рыбоводные пруды. Еще одна группа – несельскохозяйственные объекты, которые представлены небольшими населенными пунктами и дельтовыми водотоками с зарослями тростника или узкими полосами галерейных ивовых лесов вдоль них.

Цель задания – ознакомиться с изобразительными свойствами снимков в радиодиапазоне на примере городской территории и агроландшафта.

Материалы

Городская территория – участки г. Москвы (рис. П12).

1. Фрагмент обзорного снимка, полученного радиолокатором спутника TerraSAR-X, длина волны 3,1 см (X-диапазон) в обзорном режиме съемки (ScanSAR) с пространственным разрешением 16 м. Северо-западная окраина города и окрестности аэропорта Шереметьево. Съемка 24 июня 2010 г.

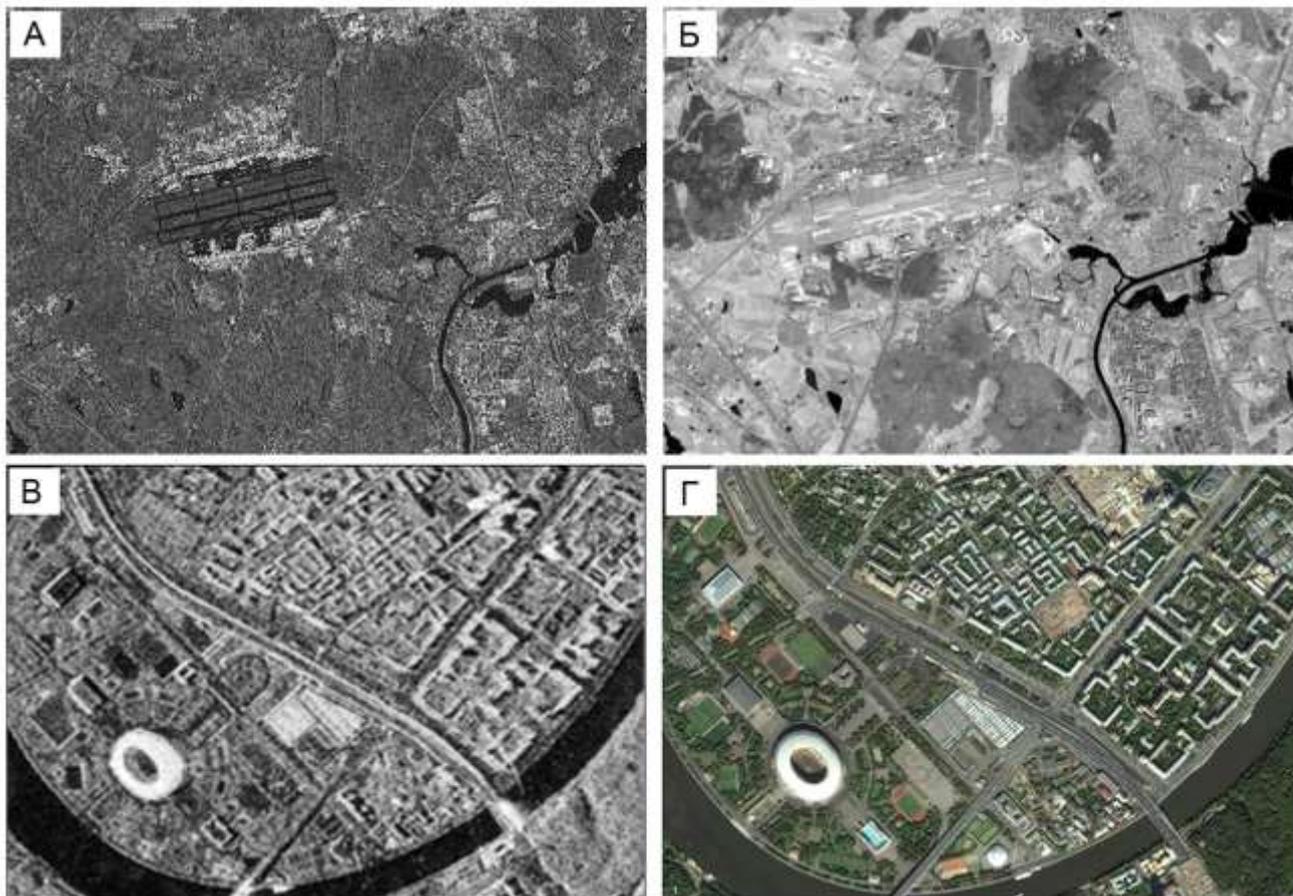


Рис. 112. Сравнение радиолокационных изображений со снимками в видимом диапазоне: А – TerraSAR-X (режим ScanSAR), 24 июня 2010 г.; Б – ETM+/Landsat-7, 30 июня 2010 г.; В – TerraSAR-X (режим SpotLight), 24 декабря 2007 г.; Г – GeoEye (копия Google Earth, <http://earth.google.com>), 11 мая 2009 г.

2. Фрагмент многозонального снимка ETM+/Landsat-7 той же территории в панхроматическом канале (0,52–0,90 мкм), с пространственным разрешением 15 м. Съемка 30 июня 2010 г. На снимке присутствуют черные полосы вследствие дефекта съемочной системы – отказа корректора линий сканирования.

3. Фрагмент снимка, полученного радиолокатором спутника TerraSAR-X в режиме SpotLight с пространственным разрешением 1,5 м, при вертикальной поляризации (копия, <http://www.racurs.ru/>). Территория Олимпийского комплекса Лужники и городская многоэтажная застройка в районе Лужнецкой набережной. Съемка 24 декабря 2007 г.

4. Фрагмент синтезированного изображения в натуральных цветах со спутника GeoEye (копия Google Earth, <http://earth.google.com>) с пространственным разрешением около 1 м той же территории. Съемка 11 мая 2009 г.

Агроландшафт – участок в дельте Волги (рис. П13).

1. Комплект из шести прошедших предварительную обработку радиолокационных снимков, полученных системой SIR-C/X-SAR с космического корабля Шаттл при согласованных вертикальной (VV), горизонтальной (HH) и горизонтально-вертикальной (HV) кросс-поляризациях в двух диапазонах длин волн:

- C (5,8 см);
- L (23,5 см).

Размер пиксела всех изображений 12,5 м. Съемка 19 апреля 1994 г.

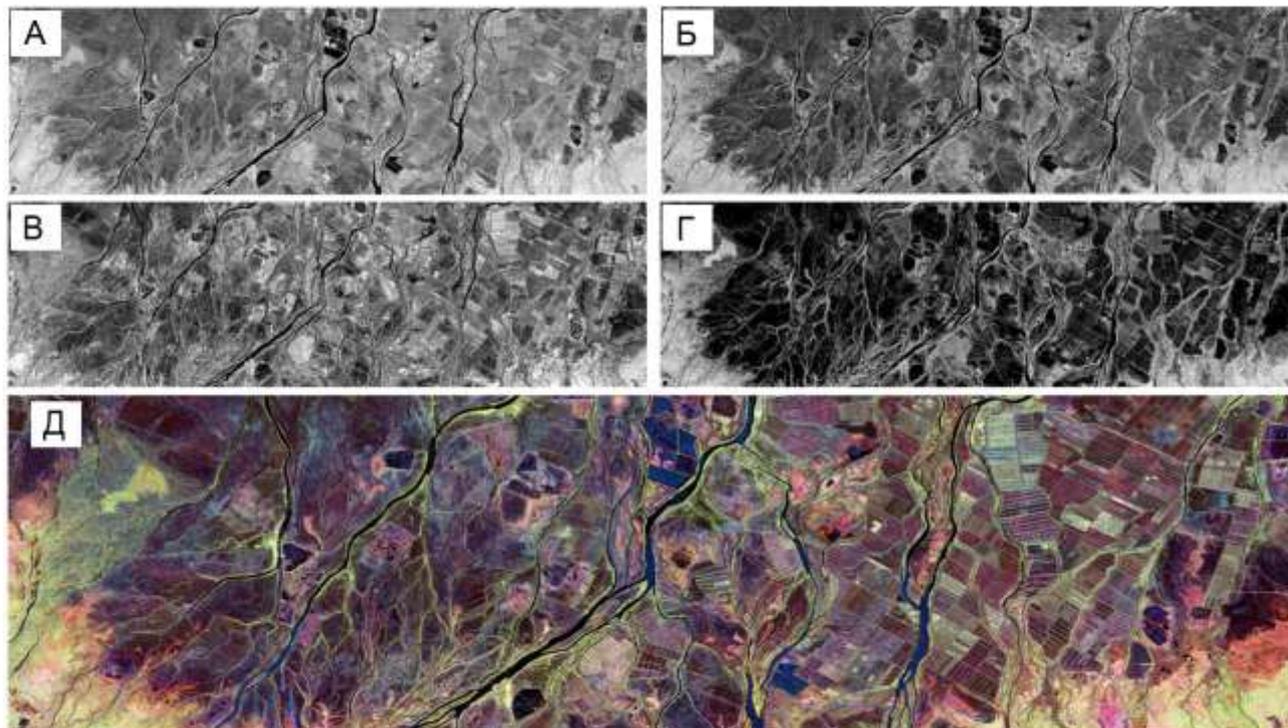


Рис. П13. Радиолокационные снимки SIR-C/X-SAR с космического корабля Шаттл участка в дельте Волги, полученные в двух диапазонах при разной поляризации сигнала, и синтезированное изображение: А – С (5,8 см), HH; Б – С, HV; В – L (23,5 см), VV; Г – L, HV; Д – вариант синтеза RGB – C(HH), L(HH), L(VV). Съемка 19 апреля 1994 г.

2. Фрагменты листов топографической карты масштаба 1:200 000.

Программное обеспечение – любая из программ для просмотра и цветового синтеза изображений – MultiSpec, ILWIS, Adobe Photoshop.

Порядок выполнения задания

Городская территория

1. Вывести на экран монитора фрагмент радиолокационного снимка TerraSAR-X с разрешением 16 м; и соответствующий ему фрагмент панхроматического снимка ETM+/Landsat-7.

2. Сравнить снимки в видимом и радио диапазонах, отметить сходства и различия в изображении городской и пригородной застройки, автомагистралей, лесной и луговой растительности и др., начать заполнение табл. 3.8.

3. Вывести на экран фрагменты радиолокационного снимка TerraSAR-X с разрешением 1,5 м и соответствующий ему фрагмент снимка GeoEye.

Сравнить изображение антропогенных и природных объектов на каждом из них, заполнив вторую часть той же таблицы.

Таблица 3.8

Выявление особенностей изображения объектов на радиолокационных снимках участка ближнего Подмосковья

Объекты	Радиолокационный снимок (TerraSAR-X), 16 м (дешифровочные признаки)	Фрагмент панхроматического снимка Landsat, 15 м (дешифровочные признаки)
Застройка (городская и пригородная)		
Дороги, аэропорт Шереметьево		
Мосты (автомобильные, железнодорожные)		
Лесные массивы		
Луговая растительность		
Открытая водная поверхность		
Объекты	Радиолокационный снимок (TerraSAR-X), 1,5 м (дешифровочные признаки)	Фрагмент снимка Google Earth (дешифровочные признаки)
Здания и сооружения		
Парки и газоны		
Водная поверхность		
Другое (вид объектов)		

Агроландшафт

4. Вывести и разместить на экране все шесть радиолокационных снимков SIR-C/X-SAR. Рассмотреть их и сравнить изображение агроландшафта на снимках, полученных при разной длине волны и поляризации сигнала. Сопоставить изображение местности на снимке и топографической карте и найти следующие объекты: элементы гидрографии, населенные пункты, сельскохозяйственные поля, луга, тростниковые заросли. Пользуясь балльной шкалой, охарактеризовать относительную степень уверенности опознавания этих элементов (0, 1, 2 или 3), внося значения в соответствующие клетки первой части табл.3.9.

5. На основе проведенного анализа выбрать снимки для цветового синтеза, которые обеспечивают наибольшее цветовое разнообразие в изображении основных элементов агроландшафта дельты Волги. Выполнить цветовой синтез при разном сочетании снимков, выбранные варианты внести во вторую часть таблицы. Отметить степень уверенности распознавания и полученный цвет элементов агроландшафта (баллами от 0 до 3 в табл. 3.9).

Действия в программе MultiSpec. Собрать многозональный файл, последовательно добавляя к первому открытому снимку остальные (подробно в задании б), сохранить его, присвоив имя. Для вывода нескольких вариантов синтеза открыть сохраненный файл, указывая разные номера для красного, зеленого и синего каналов: File–Open image–имя файла–Set display specification for–Display–Type–3 Channel Color.

Таблица 3.9

Оценка возможностей дешифрирования элементов агроландшафта дельты Волги на радиолокационных снимках, полученных при разной длине волны и поляризации сигнала*

Вид радиолокационных изображений		Поляризация						Вариант синтеза 1: R: _____ G: _____ B: _____ Цвет / уверенность распознавания	Вариант синтеза 2: R: _____ G: _____ B: _____ Цвет / уверенность распознавания
		C (VV)	C (HH)	C (HV)	L (VV)	L (HH)	L (HV)		
1	Населенные пункты								
2	Обрабатываемые сельскохозяйственные поля								
3	Необрабатываемые сельскохозяйственные поля								
4	Галерейные леса								
5	Луга								
6	Тростниковые заросли								
7	Реки, пруды								

*Цифрами от 0 до 3 обозначить в соответствующих клетках таблицы степень уверенности распознавания и разделения элементов агроландшафта (0 – не распознается; 3 – распознается уверенно)

6. На лучшем варианте синтеза обозначить цифрами в графическом редакторе основные элементы агроландшафта (в соответствии с номерами строк в табл. 3.9).

Вопросы

1. Какие виды объектов распознаются лучше на снимках в радиодиапазоне, чем в видимом?
2. В каком случае трудно отличить участки водной поверхности от суши на радиолокационном снимке?
3. При каких сочетаниях длин волн и поляризаций сигнала синтезированное изображение оказывается более информативным для дешифрирования агроландшафта?

Результат выполнения задания

1. Таблица сравнения изображения объектов на радиолокационных снимках и снимках в видимом диапазоне, близких по пространственному разрешению.
2. Таблица визуальной оценки возможностей дешифрирования элементов агроландшафта на радиолокационных снимках, полученных при разной длине волны и поляризации сигнала.
3. Копии с экрана одного-двух вариантов цветового синтеза радиолокационных снимков при выраженном цветовом разнообразии изображения, с обозначениями основных элементов агроландшафта дельты Волги.
4. Ответы на вопросы в письменном виде.

4. ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

География изучает окружающую среду не только в пространственном, но и во временном аспектах, а наблюдения за состоянием окружающей среды, оценка и прогноз изменений в ее состоянии под воздействием природных и антропогенных факторов – одна из приоритетных задач географии на современном этапе.

Преимущества материалов аэрокосмических съемок при изучении динамики признавались всегда, что объясняется, прежде всего, «первичностью» по сравнению с картами, возможностью извлекать разную, в зависимости от необходимости, информацию. Вследствие этого сначала аэрофотоснимки, а позже и космические снимки, широко используются для выявления изменений, происходящих в окружающем мире. Известно, что использование космической информации благодаря ее оперативности позволяет успешно осуществлять мониторинг глобальных процессов (пожары, наводнения, опустынивание, сокращение площади полярных льдов и т. д.). На локальном уровне решение хозяйственных и научных задач, связанных с выявлением и оценкой изменений, также опирается на материалы аэрокосмических съемок. Исследования динамики географических объектов различны не только по охвату территории, но и по периодичности: мониторинг опасных природных ситуаций требует краткосрочных, с интервалом в 1–2 дня и регулярных наблюдений, а изменение границ оледенения или береговой линии – с интервалом в десятилетия. Регулярность проведения космических съемок и накопленный архив данных позволяют решать столь разнообразные задачи.

Информацию об изменениях географических объектов можно получить по одиночному снимку, используя косвенные дешифровочные признаки. Серия разновременных снимков предоставляет больше возможностей, так как фиксирует на каждом одиночном снимке состояние объекта изучения и характеризует его развитие, изменения при переходе от одного снимка к другому.

Способы изучения динамики территориальных комплексов и их элементов путем сопоставления разновременных снимков многообразны, но могут быть сведены к двум основным подходам: раздельному и совместному анализу разновременных данных.

Раздельный анализ основан на визуальном сопоставлении разновременных изображений – нескольких снимков или карты и снимка, в результате которого выявляются различия в границах или состоянии объекта, дается качественная оценка произошедших изменений. Преимущество этого способа в том, что не требуется предварительного геометрического преобразования разновременных материалов. *Совместный анализ* предполагает совмещение (наложение) двух или нескольких разновременных изображений, при этом обязательные условия его выполне-

ния – геометрическая согласованность материалов (единая система координат) и соответствие временных условий съемки, в первую очередь, сезона.

Взаимное геометрическое согласование разновременных растровых изображений – исключительно важная операция, поскольку от нее зависит достоверность результатов их совместного анализа. Как снимки, полученные разными съемочными системами, так и сканированные изображения карт имеют совершенно разное и математически нестрогое распределение искажений, поэтому для совмещения их необходимо трансформировать, т. е. привести их геометрию в соответствие с геометрией одного из них, выбранного в качестве эталона.

Учет сезонных изменений при выборе снимков – необходимое условие получения надежных результатов при изучении динамики географических объектов по разновременным материалам, поскольку во многих случаях изменения на местности в разные сезоны могут быть сопоставимы или даже превышать многолетние изменения. Знание закономерностей изменений, происходящих в географических ландшафтах, существенно повышает качество результатов дешифрирования при выявлении по снимкам динамики объектов и явлений.

4.1. Предварительная подготовка разновременных материалов

Методика сопоставления разновременных материалов и надежность результатов существенно зависят от типа используемых данных. Сопоставлять можно разновременные снимки (или результаты их преобразований), карты, составленные по разновременным съемочным данным, архивные карты и снимки. В каждом из этих случаев подготовка исходных материалов имеет свою специфику, но обязательным является геометрическое согласование источников, предполагающее присвоение пространственных координат и трансформирование.

Разновременные снимки. Набор полученных в разное время космических снимков чаще всего называют *разновременными снимками*. Он может состоять из снимков, различающихся по пространственному разрешению и типу съемки, сроки которой к тому же носят случайный характер. В то же время серия снимков может быть результатом регулярных съемок одной и той же или полностью аналогичной съемочной системой, часто с определенным, обоснованным интервалом времени между ними. Серию таких снимков по аналогии с многозональным снимком можно представить как *многовременный снимок*.

Геометрическое согласование разновременных снимков предполагает приведение снимков к единой системе координат, одинаковому размеру пиксела и изображения в целом. Снимки, как правило, поставляются пользователю уже в координатах, вычисленных по орбитальным данным, но точность привязки у разных поставщиков дистанционных данных различается. Так, данные TM/Landsat поступают с высоким качеством привязки в системе WGS-84, выполненной на основе большого количества наземных опорных точек. Успешность геометрической коррекции зависит как от свойств самих снимков (стабильность положения спутника на орбите,

наклон оси съемки, особенности формирования изображения и т. п.), так и от особенностей территории, в первую очередь, рельефа местности. Для геометрического согласования изображений горных территорий требуется исключение искажений, обусловленных рельефом, в то время как снимки равнинных территорий совмещаются без дополнительных усилий.

При сопоставлении снимков кроме геометрического необходимо выполнить радиометрическое согласование – учет различной освещенности. Вследствие разной освещенности в момент съемки один из двух одновременных снимков может выглядеть темным, а другой светлым. В таком случае достаточно преобразования гистограмм. Другой случай радиометрической коррекции – исключение влияния атмосферы. Простой, но не вполне точный метод заключается в следующем. Значения яркости наиболее темных объектов на снимке (плотная тень от облаков, глубокие и чистые водоемы в ближней инфракрасной съемочной зоне) теоретически должны равняться нулю. Если это не так из-за дымки, пленки облаков, то осредненное значение яркости этих объектов-эталонов вычитается из значений яркости всех пикселей соответствующего зонального снимка. При решении географических задач, особенно связанных с изменением границ, часто этого вполне достаточно. Выявление изменений в яркости отдельных объектов, получение точных количественных данных требует более строгой радиометрической коррекции – перехода от значений яркости на снимке к энергетической яркости.

Совместный геоинформационный анализ снимков требует времени и большого объема памяти, особенно для многозональных снимков, поэтому чаще выполняется предварительная обработка – яркостные преобразования или классификация – с целью сжатия информации.

Карты, составленные по разновременным снимкам. Если моменты съемки отстоят во времени на десятки лет, то приходится сопоставлять разнотипные данные – космические снимки, полученные разными съемочными системами, или фотопланы, составленные из аэрофотоснимков, с космическими снимками. В случае, когда для определения состояния изучаемого объекта в каждый из моментов наблюдения использовано несколько разных источников, задача решается путем создания и последующего совместного анализа разновременных карт, называемых переходными, которые фиксируют состояние изучаемого объекта на каждом из этапов. Отличительные особенности и несомненное преимущество серии переходных карт – их сопоставимость: они составлены по предварительно геометрически согласованным снимкам, имеют одинаковое содержание (единую легенду) и цензы отбора и обобщения элементов содержания. Эти особенности являются одновременно и условием последующего совместного анализа такого типа разновременных карт средствами геоинформационных технологий.

Архивные карты. Использование архивных карт в сочетании с космическими снимками для выявления многолетней динамики имеет свою специфику. Необходимо не только трансформирование, но и согласование систем координат, например, WGS-84 и СК-42 (Пулково). При вы-

боре картографических источников особое значение имеет знание даты съемки, по материалам которой составлены карты, и точность планового положения объектов на них, поскольку они в решающей степени определяют достоверность результатов.

Геометрическое согласование архивных карт с современными материалами является далеко не простой задачей и выполняется только по опорным точкам. Поиск идентичных точек на архивных картах всегда связан с большими трудностями из-за различий в изображении объектов (например, гидрографической сети), что является следствием не только многолетних изменений, но и различий в масштабах и способах съемки, степени генерализации.

4.2. Методические приемы совместной обработки разновременных данных

Среди большого количества методов сопоставления разновременных изображений, выполнение которых обеспечивается средствами геоинформационных технологий, чаще применяются простейшие математические операции сложения-вычитания, наложение (оверлей) и синтез цветного изображения. Возможны и другие приемы совместного анализа разновременных данных, такие как компонентный анализ, вычисление специальных индексов и т. д.

Вычитание – самая простая по выполнению операция с двумя разновременными снимками. Надежные результаты можно получить, если снимки получены одной и той же системой или тщательно геометрически и радиометрически откорректированы. В противном случае достаточно уверенно можно выявлять существенные изменения территории или отдельных объектов, но к количественным оценкам изменений в яркости объектов необходимо подходить с осторожностью.

Значительно чаще выполняется вычитание преобразованных изображений – результатов квантования, классификации, вычисления вегетационного или других индексов.

Наложение (оверлей) – другая операция сопоставления двух изображений, полученных после преобразования или классификации снимков, или двух разновременных переходных карт. В результате ее выполнения создается новое изображение и таблица, в которых содержится композиция пространственных объектов исходных изображений и их атрибутов. На результирующем изображении и в таблице атрибутов (легенде) представлены все возможные сочетания объектов, присутствующих на разновременных материалах (снимках или картах), в том числе и фиктивные изменения (псевдоизменения).

Синтез цветного изображения – вариант совместного анализа трех разновременных снимков или результатов их преобразований. Цвет на таком изображении является дешифровочным признаком: объекты, яркость которых со временем не меняется, изображаются оттенками серого, а любой другой цвет свидетельствует об изменениях. Синтезированное из разновременных данных изображение не всегда легко поддается интерпретации из-за сложности анализа комбинаций цветов, проще выявить изменения границ, особенно, если динамичные объекты суще-

ственно отличаются по яркости от окружающего фона. В зависимости от решаемой задачи более целесообразно выполнять либо синтез изображения, либо сопоставлять разновременные материалы попарно.

Поскольку для синтеза в качестве исходных данных необходимы черно-белые изображения, чаще используют панхроматические снимки, а в случае многозональных – для каждого срока выбирают один самый информативный канал. Существуют и другие возможности: преобразование цветного синтезированного снимка каждого из сроков в черно-белое изображение или обработка многозональных снимков по методу главных компонент с последующим синтезом разновременных изображений первых компонент.

Метод главных компонент позволяет анализировать большее число разновременных изображений. В первых компонентах группируются пиксели, имеющие наибольшее значение корреляции, то есть не изменившиеся за время интервала между съемками, а в последующих компонентах – изменившие яркость. В результате обработки устанавливается факт наличия изменений, но интерпретации они поддаются с трудом.

4.3. Анализ результатов

Результаты изучения динамики объектов могут быть представлены в виде количественных характеристик, карт динамики, а также качественных оценок. При однонаправленности процесса и небольших интервалах между наблюдениями хороший результат дает определение изменений площади. При разнонаправленности процесса или длительных интервалах между наблюдениями лучше идти по пути создания карт динамики, поскольку они дают возможность выявить изменения в пространственном распределении наблюдаемых объектов, например, исчезновение в одном месте и появление в другом, что не отражается в значении площади изменений.

Для получения количественных показателей изменения площади изучаемых объектов не всегда требуется совмещение разновременных данных (результатов преобразования снимков или составленных по снимкам карт), но обязательно их геометрическое согласование.

Расхождения, выявленные в результате совмещения разновременных данных, требуют дополнительного анализа, целью которого является разделение изменений, действительно происшедших на местности, и разного рода погрешностей. Такой анализ важен, поскольку при компьютерной обработке операция сопоставления данных выполняется формально и в результирующих изображениях и таблице (легенде) появляются фиктивные изменения, что может привести исследователя к неверным выводам.

Появление фиктивных изменений имеет две основные причины. Первая причина – сопоставление при изучении многолетней динамики снимков, зафиксировавших разные сезонные состояния ландшафта, вторая – неизбежные «технические» погрешности в положении границ объектов дешифрирования на разновременных изображениях. Еще один источник появления фик-

тивных изменений возникает при атрибутировании выделов, когда аналогичные объекты на сопоставляемых материалах отнесены к разным классам, например к растительным сообществам с разным проективным покрытием.

В случае непосредственного сопоставления растровых изображений (снимки, результаты их преобразования или классификации, разновременные карты в растровом формате) фиктивные изменения возникают как следствие неоднозначности геометрических преобразований. При сопоставлении карт в векторном формате кроме погрешностей геометрических преобразований исходных данных возникают погрешности цифрования, особенно в случае совмещения карт, составленных независимо одна от другой.

Возможны разные варианты выявления «лишних» контуров: поиск на гистограмме объектов размером меньше предвычисленной погрешности совмещения разновременных материалов, выявление заведомо невозможных, неправдоподобных с географической точки зрения изменений. Необходимым условием достоверности результатов оверлея являются просмотр и смысловой анализ полученных изображений с привлечением исходных разновременных материалов.

Редактирования, как правило, требует и перечень сочетаний классов, сформировавшийся в результате оверлея изображений. Чтобы сделать конечный продукт удобочитаемым, возможны два пути. Можно сократить количество категорий в исходных изображениях, что сократит количество сочетаний и позволит представить легенду в табличном виде. Другой путь – создать новую легенду, сгруппировав категории изменений по процессам, которыми они обусловлены (деградация, увеличение влажности и т. п.).

Задание 11. Выявление многолетних изменений территории на основе цветового синтеза разновременных снимков

Введение. Синтез цветного изображения из разновременных черно-белых снимков позволяет в отдельных случаях визуализировать хорошо заметные изменения местности: неизменившиеся объекты изображаются оттенками серого тона, а изменившиеся – различными, иногда яркими и хорошо выраженными цветами. Цветовой синтез пространственно согласованных разновременных снимков может использоваться как метод предварительного выявления изменившихся участков для их последующего более детального анализа с привлечением дополнительных источников информации.

В стандартном варианте выполняется синтез трех разновременных снимков, каждому из которых присваивается один из основных цветов (красный – зеленый – синий), а синтезированное изображение разными цветами отображает изменения сразу за два периода. Для распознавания изменений необходимо знание особенностей динамичных объектов и закономерностей формирования цветного изображения. Цвет изменившихся объектов на синтезированном многовременном изображении зависит от того, какую яркость они имеют на каждом из исходных черно-белых изображениях (рис. П14).



Рис. П14. Примеры получения цвета при синтезе черно-белых изображений

Например, если на первом снимке, который окрашивается красным цветом, объект имеет высокую яркость (обнажения горных пород и светлых почв, пески и т. п.), а на остальных двух – низкую (растительный покров или вода), то на цветном снимке этот объект изобразится красным цветом. Если же объект имел высокую яркость на первых двух снимках (красном и зеленом) и низкую на последнем сроке (синий цвет) – то при синтезе он будет иметь желтый цвет.

Научиться распознавать и анализировать происшедшие на местности изменения предлагается на примере двух различных территорий, претерпевших существенные изменения за последние десятилетия.

Характеристика территорий.

Участок на востоке Германии расположен между Дрезденом и Котбусом, где в последние десятилетия активно осуществляется рекультивация земель, нарушенных открытой разработкой месторождений полезных ископаемых.

Открытая (карьерная) разработка месторождений ведется во многих странах. К концу XX в. в мире карьерным способом добывалось 95% строительных горных пород, около 70% руд, 90% бурых и 20% каменных углей. Неблагоприятное воздействие карьерных разработок сказывается как на потерях земель различного назначения, так и на условиях жизни населения. Для отработанных карьеров необходима их рекультивация – приведение территорий в состояние, пригодное для использования в сельском, лесном, городском и дорожном хозяйствах, или устройство в карьерных разработках водоемов промышленного, социально-бытового, культурно-ландшафтного, рекреационного и другого назначения.

В Германии накоплен большой практический опыт рекультивации земель, поскольку открытая разработка буроугольных месторождений ведется здесь на протяжении нескольких столетий. Участок, на примере которого выполняется задание, относится к Лаузицкому буроугольному бассейну. В послевоенные годы для удовлетворения растущих потребностей экономики в дешевом топливе и строительных материалах их добыча велась карьерным способом. Были опустошены большие пространства. В последние десятилетия добыча заметно сократилась, а значительные усилия и средства были направлены на восстановление территории. К концу 1996 г. в Лаузицком бассейне было восстановлено 40 из 77 тыс. га, причем большая часть восстановленных земель отводится для лесного и сельского хозяйства. В последующие годы в качестве одного из основных направлений рекультивации было выбрано превращение этих территорий в туристско-рекреационные зоны. Карьеры затапливаются подземными водами и из ближайших рек, а на их берегах обустраиваются места для кемпингов, занятий водным спортом. Процессы рекультивации, особенно заполнения карьеров водой, наглядно отображаются на серии разновременных снимков.

Оазис Куфра расположен на юго-востоке Ливии, в центре Ливийской пустыни. В окрестностях оазиса преобладает песчаная пустыня с дюнами высотой до 300 м, небольшими каменистыми плато и изолированными горными массивами высотой 400–500 м. Территория характеризуется крайне неблагоприятными условиями для произрастания растительности. Климат пустынный, тропический, средняя температура января 12–18°C, июля 28–35°C. При очень малом количестве атмосферных осадков (25–100 мм, иногда их не бывает годами) очень высока испаряемость. Именно в Ливийской пустыне зафиксирован абсолютный максимум температуры воздуха на Земле +57,8°C.

В середине 1950-х годов в ходе поисков нефти в Северной Африке была найдена Нубийская система водоносных горизонтов – крупнейшие в мире запасы ископаемой пресной воды. В начале 1970-х годов в оазисе Куфра начались работы, направленные на развитие сельского хозяйства в пустыне. Используются центрально-стержневые ирригационные установки, которые выкачивают воду из скважин, глубина которых достигает местами 500 м. Вода поступает в

дождевальные установки, обеспечивающие орошение подготовленных участков. Длина дождевальной установки определяет радиус поля округлой формы, который может достигать 0,5 км. Благодаря обилию вегетирующей растительности на фоне безжизненной пустыни поля хорошо видны из космоса. Вода обеспечивает также формирование жилых зон (рис. 4.1, А). В центре шестигранной соты вокруг скважины размещается 16 домов, которые расположены внутри озеленённой территории и закрыты от ветров, песчаных бурь. С удалением от центра в каждой «ячейке» размещаются огород, сад, выгон. Зоны как бы вложены одна в другую, и жилая – самая мелкая внутренняя часть соты, а внешняя – защитные лесополосы (рис. 4.1, Б).

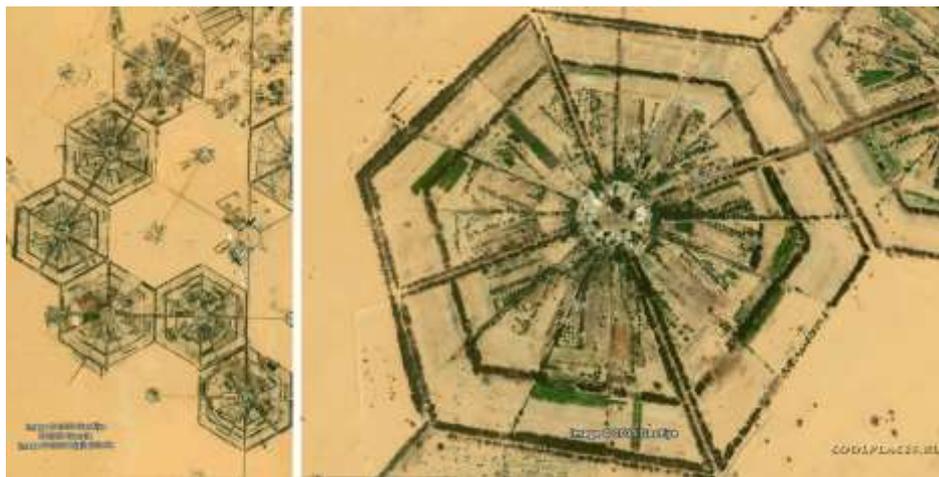


Рис. 4.1. Новые жилые зоны в оазисе Куфра: А – жилые зоны, Б – отдельная ячейка

Использование разновременных снимков позволяет проследить этапы освоения и современное состояние территории. На черно-белых космических снимках вегетирующие посевы культур изображаются почти черным, темно-серым или серым цветом (в зависимости от вида культуры и/или проективного покрытия почвы растениями), что позволяет уверенно отделить их от значительно более светлой по тону песчаной пустыни. Новые жилые зоны опознаются не только по характерной форме, но и по темному тону, свидетельствующему о наличии вегетирующей растительности, и специфической структуре изображения.

Цель задания – освоить метод цветового синтеза разновременных снимков для выявления и анализа изменений на местности.

Материалы

Две серии разновременных снимков, предварительно геометрически согласованных:

1. TM/Landsat-4 и 5, 5 канал (1,5-1,75 мкм). Съёмки 3 июня 1985 г., 31 августа 1994 г. и 12 сентября 2010 г. Лаузицкий бурогольный бассейн, Германия.

2. MSS/Landsat, съёмка 15 ноября 1972 г., КК Союз-12, съёмка 28 сентября 1973 г., TM/Landsat-4 и 5, съёмки 24 сентября 1984 г., 18 октября 1987 г. и 5 ноября 2010 г. Оазис Куфра, Ливия.

3. Снимки MSS/Landsat и TM/Landsat представлены в виде фрагментов синтезированных многозональных изображений, преобразованных в черно-белые, снимок с КК Союз-12 – в виде фрагмента панхроматического изображения.

Программное обеспечение – Adobe Photoshop, Multispec

Этап 1. Выявление изменений на территории Лаузицкого бурогоугольного бассейна

Порядок выполнения задания

1. Рассмотреть и сравнить три разновременных снимка, выполнить их цветовой синтез.

Действия в программе Adobe Photoshop: вывести на экран поочередно три снимка. Для синтеза в главном меню выбрать Window>Show Channels (открывается окно управления каналами) – в выпадающем меню (стрелка в правом углу окна) выбрать Merge channels (склеить каналы) – в появившемся окне выбрать RGB Color – присвоить красный цвет (Red) снимку 2010 г., зеленый (Green) – 1994 г., синий (Blue) – 1985 г. – ОК. Сохранить полученное многовременное изображение. Вывести вновь разновременные снимки.

2. Сопоставить разновременные и полученное цветное синтезированное изображения и выявить произошедшие изменения.

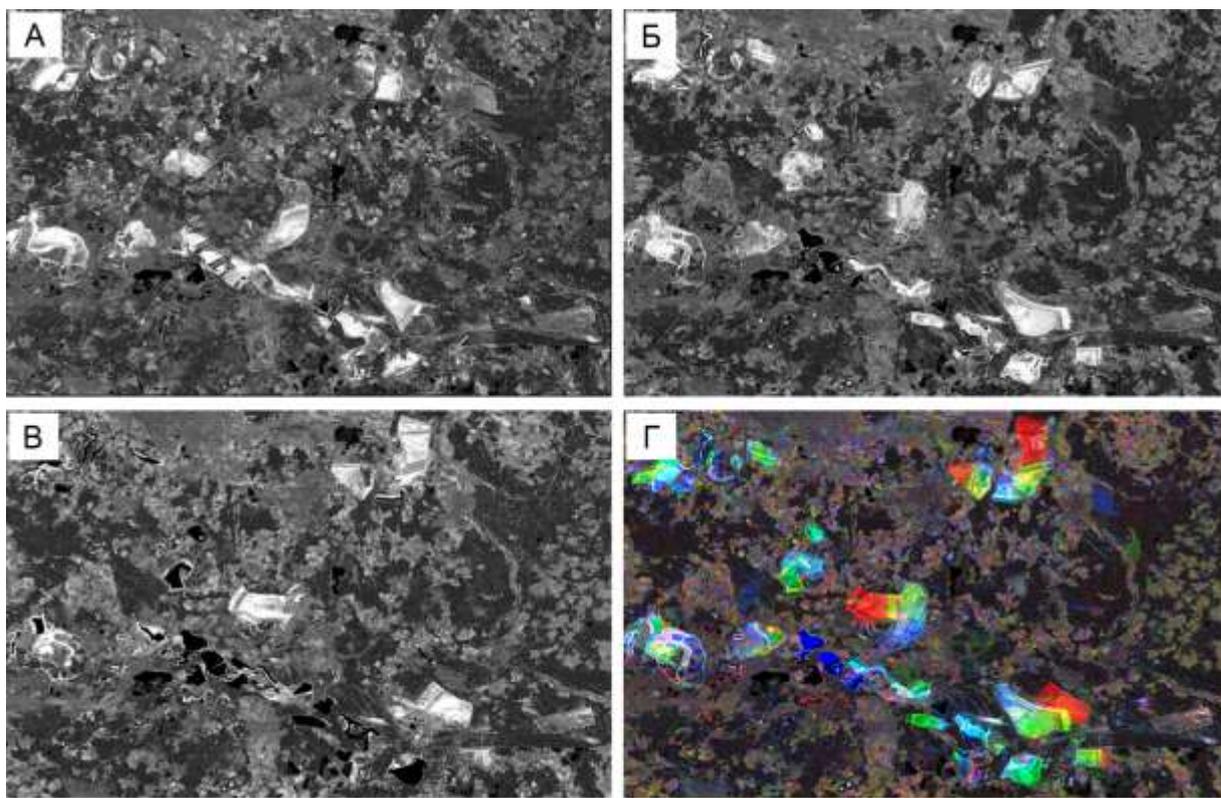


Рис. П15. Выявление многолетних изменений на местности на основе цветового синтеза геометрически согласованных разновременных снимков. Лаузицкий бурогоугольный бассейн, Германия, TM/Landsat-4 и 5, канал 5 (1,55-1,75): А – 3 июня 1985 г., Б – 31 августа 1994 г., В – 12 сентября 2010 г., Г – вариант синтеза RGB – 2010, 1994, 1985 гг.

3. Обозначить цифрами на цветном многовременном изображении произошедшие изменения.

Виды изменений:

- 1 – появление новых открытых разработок или расширение существующих;
- 2 – образование водоемов;
- 3 – формирование участков леса на месте карьеров;
- 4 – прочие изменения.

Отсутствие изменений:

- 5 – карьеры, где продолжается разработка месторождения;
- 6 – прочие объекты.

4. Сохранить отдешифрованное изображение. Заполнить табл. 4.1.

Таблица 4.1

Изменения в Лаузицком бурогольном бассейне за период 1985–2010 гг.

Цвет на многовременном синтезированном снимке	Состояние местности на разновременных снимках			Вид изменений (цифрами)
	1985	1994	2010	

Этап 2. Дешифрирование земель нового освоения в оазисе Куфра

Порядок выполнения задания

1. Вывести на экран разновременные снимки оазиса Куфра.
2. Создать многовременной снимок из нескольких разновременных снимков (рис. П15).

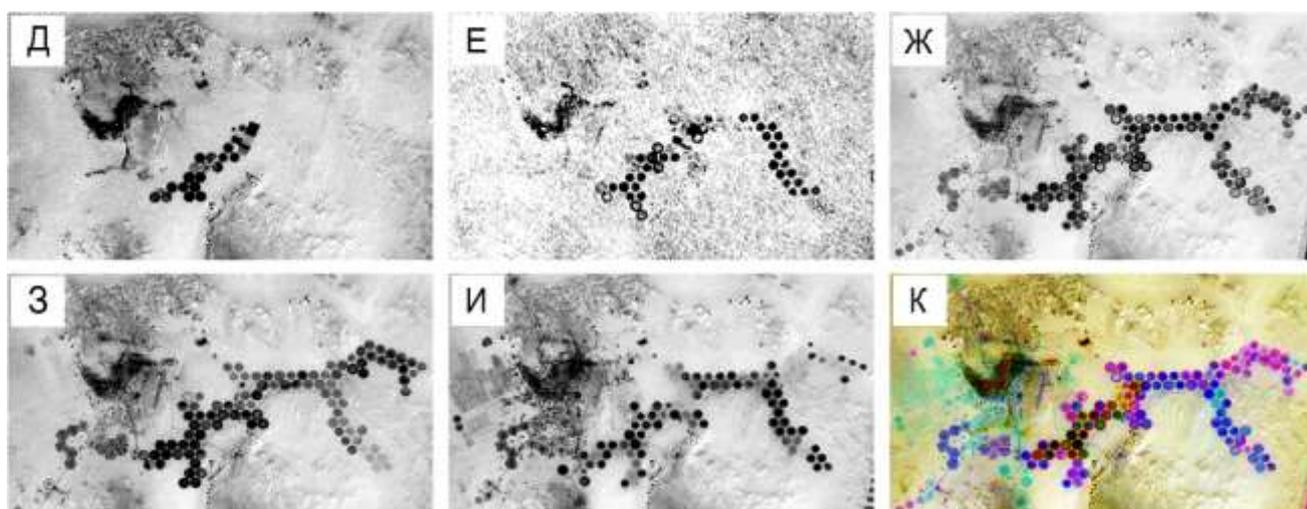


Рис. П15. Выявление многолетних изменений на местности на основе цветового синтеза геометрически согласованных разновременных снимков. Оазис Куфра, Ливия: Д – MSS/Landsat, 15 ноября 1972 г.; Е – КК Союз-12; 28 сентября 1973 г.; Ж – ТМ/Landsat-4, 24 сентября 1984 г.; З – ТМ/Landsat-5, 18 октября 1987 г.; И – ТМ/Landsat-5, 5 ноября 2010 г.; К – вариант синтеза RGB – 2010, 1984, 1972 гг.

Действия в программе Multispec: Открыть самый ранний снимок: File – Open image, повторить операцию, отметив в левом нижнем углу окна опцию Link to Active image window, указать второй файл и все последующие в хронологической последовательности. Сохранить собранный многовременной снимок в формате .lan (ERDAS 74), позволяющем записать любое количество каналов в одном файле.

3. Выполнить цветовой синтез разновременных снимков в разных сочетаниях сроков съемки.

4. Повторить операцию вывода многовременного снимка и получить 3–4 варианта синтеза с использованием снимков разных сроков или с измененным порядком присвоения цвета. Подобрать варианты, позволяющие наглядно проиллюстрировать процесс преимущественно сельскохозяйственного освоения или расширения жилой (фермерской) зоны.

5. Сопоставить разновременные и полученные синтезированные многовременные изображения. Внести в табл. 4.2 обозначения дат съемки, соответствующие красному, зеленому и синему цветам в каждом из выбранных вариантов синтеза. Выявить по цвету многолетние изменения в сельскохозяйственной освоенности территории. Заполнить табл. 4.2.

Таблица 4.2

Соответствие цвета на многовременном синтезированном снимке
изменениям на местности

Цвет на многовременном синтезированном снимке	Объекты/характер изменений
1 R: _____(дата); G: _____(дата); B: _____(дата)	
2. R: _____(дата); G: _____(дата); B: _____(дата)	
3 R: _____(дата); G: _____(дата); B: _____(дата)	

6. Сделать экранные копии вариантов синтеза, удачных для решения поставленной задачи.

Вопросы

1. В каких случаях многовременной синтез облегчает выявление происшедших изменений?
2. Какие трудности анализа цветного многовременного изображения можно отметить?
3. Сколько новых крупных водоемов можно найти на снимке Лаузицкого бурoughольного бассейна в 2010 г. относительно 1994 г. и в 1994 г. относительно 1985 г.?
4. Определить количество орошаемых полей в оазисе Куфра на снимках 1972, 1973 и 2010 гг.
5. Можно ли предложить вариант синтеза, удачный для выделения одного вида объектов на каждой из изучаемых территорий?

Результат выполнения задания

1. Многовременный цветной синтезированный снимок Лаузицкого бурогоугольного бассейна с обозначенными изменениями и соответствующая ему таблица с указанием цвета изменившихся объектов на многовременных синтезированных снимках.
2. Два-три варианта синтеза разновременных снимков оазиса Куфра, наглядно иллюстрирующих изменения в сельскохозяйственном освоении и расширении жилой зоны (с указанием сроков съемки) и заполненная таблица с указанием цвета изменившихся объектов на многовременных синтезированных снимках.
3. Краткий текстовый анализ изменений на одной из территорий с оценкой надежности выявления изменений по многовременному цветному изображению.
4. Ответы на вопросы в письменном виде.

Задание 12. Использование признака сезонной изменчивости при дешифрировании естественной и культурной растительности

Введение. Сопоставление, сравнительный анализ разновременных снимков одной и той же территории является необходимым этапом не только для выявления изменений, произошедших на местности, но и для надежного определения свойств объектов, например, основанных на учете их сезонной изменчивости. Сезонная изменчивость свойственна всем видам растительных сообществ, особенно отчетливо она проявляется у посевов сельскохозяйственных культур. Признак сезонной изменчивости использовался при визуальном дешифрировании земельных угодий по космическому снимку (задание 2).

Для успешного выявления изменений в состоянии местности по разновременным снимкам важна их геометрическая и яркостная согласованность. Установление однозначного соответствия растровых (номера строк и столбцов снимка) и пространственных (X,Y или широта и долгота) координат идентичных элементов изображения местности выполняется программой, которая осуществляет пересчет яркостей пикселей каждого из снимков в соответствии с заданной общей пространственной системой координат. Современные системы обработки изображений и программные ГИС-комплексы обеспечивают выполнение всех операций, необходимых как для геометрического, так и яркостного согласования разновременных снимков, поэтому основная задача для дешифровщика – осмысление выявленных различий.

Характеристика территории. Дельта Волги – одна из крупнейших в мире, ее надводная часть занимает площадь более 10 тыс. км². Густой сетью протоков она разделена на многочисленные острова разного размера. Это – традиционный район развитого сельскохозяйственного производства и рыбного промысла.

Специфика территории с точки зрения сельского хозяйства – ее затопление в половодье. Оно создает необходимый уровень увлажнения для формирования луговых сообществ, обеспечивает условия для нереста рыб, и в значительной степени определяет общую биологическую продуктивность экосистем. Пахотные земли в дельте защищены валами от полых вод (обвалованы), а их орошения осуществляется с помощью ирригационных систем. Большие массивы пашни в 1960–1980-х годах использовались под посевы риса, овощных и бахчевых культур. Изменение экономических условий хозяйствования на территории дельты в последние десятилетия привело к сокращению обрабатываемой площади. В результате на необрабатываемых обвалованных участках прекратился промыв почвы пресными водами и стали развиваться процессы опустынивания. Преимущественно эти процессы выражены в западной и центральной частях дельты. В восточной части площадь обвалованной пашни существенно меньше, здесь в половодье заливаются большие территории, на которых после постепенного спада воды формируются высокопродуктивные луга. Применение разносезонных снимков позволяет разделить основные

виды использования земель: обрабатываемые сельскохозяйственные поля, залежи (не обрабатываемые поля), заливные луга (пастбища и сенокосы).

Заливаемые в половодье луга и сенокосы хорошо выделяются на весенних снимках благодаря темному тону изображения, свидетельствующему о наличии воды. Обрабатываемые поля в этот период распаханы и лишены растительного покрова или заняты всходами, и изображаются в целом более светлыми тонами. На землях, выпавших из обработки – залежах – весной активно вегетируют эфемеры и эфемероиды. В течение сезона вегетации (май – сентябрь) на полях с посевами культурной растительности неоднократно происходит заметная смена состояний – распаханная почва, всходы, большая зеленая масса, созревание посевов и убыль зеленой массы, убранные посевы, – в то время как естественная растительность залежей (лох, тамарикс, солянки, разнотравье) меняется в меньшей степени. Вследствие этого на изображении, синтезированном из разносезонных снимков, обрабатываемые поля отличаются разнообразием цветовых оттенков, а необрабатываемые участки изображаются однотонными, что и дает возможность разделить их.

Особенностью дельты Волги является наличие обширного пояса тростниковых зарослей и мелководного устьевого взморья. Тростник южный, основной вид растительности на морском крае дельты, произрастает как на суше, так и на глубинах до 1,5–2 м в течение всего года (зимой – бурый). В весенне-летний период на акватории устьевого взморья активно развивается земноводная и водная растительность, из-за которой общая площадь дельты на летних и раннеосенних снимках кажется значительно большей, чем на ранневесенних. Отделить тростниковые заросли, служащие косвенным признаком островов и отмелей, от появляющейся сезонной водной растительности можно путем сравнительного анализа разносезонных снимков (рис. П9).

Цель задания – освоить процедуры геометрического согласования разновременных снимков и дешифрирования объектов на основе признака сезонной изменчивости.

Материалы

Серия разносезонных снимков TM/Landsat-5 в ближнем инфракрасном участке спектра (0,76–0,90 мкм). Пространственное разрешение 30 м. Съемки 18 мая, 21 июля и 9 октября 2011 г.

Программное обеспечение – ILWIS.

Порядок выполнения задания

1. Вывести на экран три разносезонных изображения дельты Волги. Рассмотреть изображения и выявить характерные отличия в яркостных особенностях территории на весеннем, летнем и осеннем снимках (рис. П16).

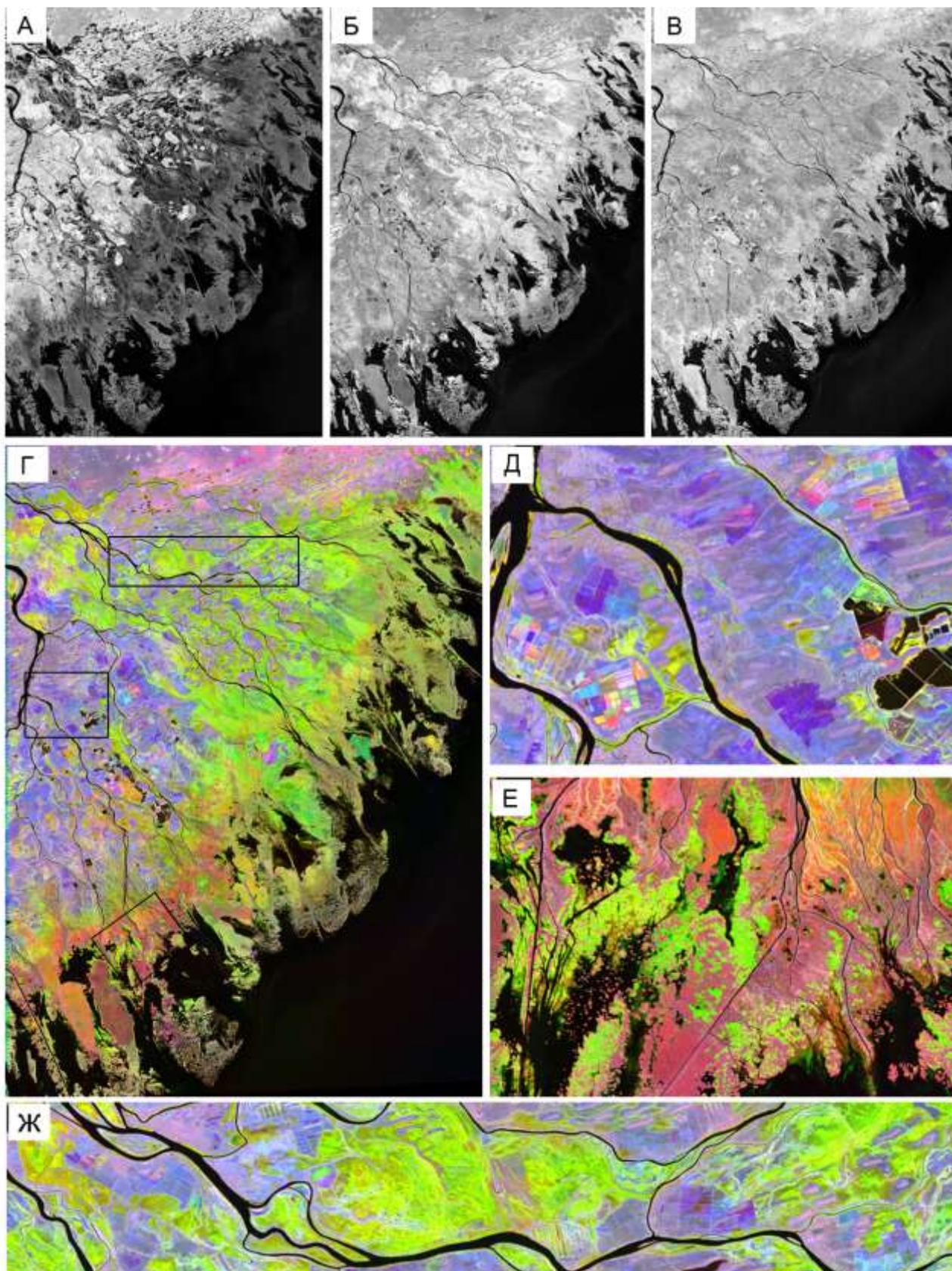


Рис. П16. Использование признака сезонной изменчивости для дешифрирования естественной и культурной растительности. Разносезонные космические снимки со спутника Landsat-5, 4 канал (0,76 – 0,90 мкм), съемка 2011 г.: А – 18 мая, Б – 21 июля, В – 9 октября; Г – вариант синтеза RGB – 9 октября, 21 июля, 18 мая. Д, Е, Ж – увеличенные фрагменты с изображением обрабатываемых земель и залежей, сезонной водной растительности, заливных лугов

2. Выполнить взаимное геометрическое согласование снимков.

Несмотря на то, что исходные разновременные снимки охватывают практически одну и ту же территорию, они незначительно различаются по размерам, а элементы местности с одинаковыми пространственными координатами на каждом из разновременных снимков имеют свои растровые координаты (номер строки и столбца изображения). В результате импорта для каждого снимка, обеспеченного системой координат, создаются файлы, содержащие сведения о координатной системе и связи растровых и пространственных координат. Согласование геометрии разновременных снимков основано на использовании этих файлов программой Resample.

Действия в программе. Вызвать программу Resample из главного меню: Operations–Image Processing–Resample. В открывшемся окне указать имя снимка для преобразования, например, весеннего, выбрать один из трех методов пересчета яркостей пикселей: в случае дальнейшей компьютерной обработки снимков предпочтительнее метод «ближайшего соседа» (Nearest Neighbour), для визуального дешифрирования – Bicubic. Задать имя преобразованного файла, выбрать из выпадающего списка имя файла привязки (Georeference), который будет общим для всех снимков (им может быть любой из двух оставшихся файлов привязки, например, осеннего снимка), нажать Show для выполнения операции.

Повторить действия, указав для преобразования имя другого снимка (летнего) и *тот же* файл привязки, что использовался для первого снимка. В результате получатся три полностью геометрически согласованных разносезонных снимка с одним и тем же файлом привязки.

3. Создать многовременной снимок (Map List), что позволит выполнять операции одновременно со всеми разносезонными снимками.

Действия в программе. File–Create Map List, задать имя нового файла, из списка выбрать взаимно согласованные снимки с общим файлом привязки и переместить их вправо, ОК.

4. Выполнить синтез разновременного изображения (Color Composite), присвоив осеннему снимку красный цвет, летнему – зеленый, весеннему – синий; сохранить полученное цветное изображение – многовременной синтезированный снимок.

5. Найти на цветном изображении основные категории земель, охарактеризованные в тексте выше. Объяснить, как получился цвет каждой из категорий, заполнить табл. 4.3.

Таблица 4.3

Дешифровочные признаки основных объектов дельты Волги на многовременном синтезированном снимке

Объекты	Цвет на многовременном синтезированном снимке	Характер изменений объектов от мая к сентябрю
Сельскохозяйственные поля, обрабатываемые в текущем году		
Необрабатываемые земли – залежи		
Луговая растительность на заливаемых участках		
Тростниковые заросли плавневого типа		
Массивы лотоса и другой плавающей растительности		
Водные объекты (протоки, пруды)		

6. Для заданных фрагментов многовременного снимка с изображением разных участков дельты Волги составить схемы дешифрирования, выделив на них приведенные в таблице категории природных и природно-хозяйственных объектов.

Вопросы

1. Каковы основные отличия изображения дельты Волги на весеннем, летнем и осеннем снимках?
2. Как изменятся цвета объектов на многовременном снимке, если при цветовом синтезе RGB изменить порядок сезонных снимков (например, R – весенний, G – летний, B – осенний)?
3. Можно ли предложить вариант синтеза, удачный для выделения одного вида объектов?
4. Какова относительная надежность выявления указанных категорий объектов по цветному синтезированному снимку одного (любого) сезона и по многовременному синтезу?

Результат выполнения задания

1. Многовременной цветной синтезированный снимок дельты Волги.
2. Заполненная таблица дешифровочных признаков основных сельскохозяйственных объектов дельты на многовременном синтезированном снимке.
3. Схемы дешифрирования фрагментов многовременного синтезированного изображения.
4. Ответы на вопросы в письменном виде.

Задание 13. Определение последствий лесного пожара по разновременным космическим снимкам

Введение. В России с ее обширной территорией и огромным лесным фондом использование спутниковых данных служит одним из лучших источников информации о состоянии лесов. Обеспечение своевременными данными о возможных неблагоприятных для лесной растительности явлениях и их последствиях является важным условием эффективного управления лесным фондом страны. С середины 1990-х годов в стране стали активно разрабатываться методы и технологии использования данных дистанционного зондирования для решения задач, связанных с мониторингом лесных пожаров. Органами государственной власти и организациями созданы и используются различные системы и методы дистанционного мониторинга лесов, позволяющие в режиме реального времени выявлять очаги возгорания, а также получать информацию о состоянии лесов, последствиях пожаров и прогнозируемых пожароопасных явлениях. По космическим снимкам получают ценную информацию для государственной инвентаризации лесов, оценивают последствия и экономический ущерб воздействия пожаров на лесные экосистемы, разрабатывают меры по восстановлению поврежденных участков леса.

В системах мониторинга лесов на всей территории страны используются данные съемочной системы MODIS с пространственным разрешением 250 м (в красном и ближнем инфракрасном участках спектра) и 1000 м (в тепловом инфракрасном диапазоне), а на региональном уровне – более детальные многозональные снимки.

Для определения площади земель, пройденных огнем, применяют данные о состоянии лесной растительности до, во время и после пожара.

Характеристика территории. Объектом изучения при выполнении задания является Инский сосновый бор, располагающийся на юге Красноярского края, в 15 км от г. Минусинска. В начале мая 2007 г. по официальным данным здесь сгорело более 8 000 га, уничтожено около 10% соснового леса.

Территория находится на правом берегу Енисея в Южно-Минусинской котловине. На климат Минусинской котловины оказывает влияние её расположение внутри континента и окружающие горные системы. Большие температурные контрасты в сезонном и суточном ходе, жаркое лето и продолжительная малоснежная зима определяют его как резко континентальный. Гидрография Южно-Минусинской котловины представлена речным бассейном Енисея, текущим здесь с юга на север, и его самыми крупными притоками Абаканом, Тубой и Оей. Для котловины характерно наличие озер, большинство из которых располагаются в районах современных и древних речных долин. В Инском бору находятся озера Малое и Большое Кызыкульские и несколько более мелких.

Лесной фонд Южно-Минусинской котловины представлен ленточными сосновыми борами, которые характерны для всей Евразии и отнесены к особо ценным природным объектам. Нетипичное эколого-географическое положение в степной зоне, специфика почвенного покрова (песчаные или сильноопесчаненные почвы) и островная локализация обусловили сложный процесс формирования азональных лесов.

В Минусинской котловине три бора – Инский, Лугавский и Верхне-Койский, вытянувшиеся с юго-запада на северо-восток. Общая площадь лесов составляет 62 000 га. Доминирует сосна, средний возраст деревьев достигает 90 лет, но есть леса, возраст которых составляет 300 лет. Кроме сосны небольшими вкраплениями встречаются лиственница, ель, береза, осина. Боры очень уязвимы в природоохранном отношении. Они расположены в непосредственной близости к крупным промышленным центрам Хакасии и юга Красноярского края, а также являются значимыми рекреационными объектами, вследствие чего за последнее десятилетие площадь боров неуклонно сокращается. Крупные пожары в Инском бору, которые уничтожили более 10 000 га, были зафиксированы в 1905 и 1946 годах. На старых и свежих гарях высаживаются тысячи молодых сосен, но из-за большой сухости и бедности почв процессы лесовосстановления протекают слабо. На восстановление леса после пожара 2007 г., по оценкам специалистов, понадобится около 80 лет.

Во время пожара, особенно низового, у части деревьев повреждаются корни и стволы, но крона остается зеленой, деревья погибают через 1–2 года.

Цель задания – освоить методику обработки разновременных космических снимков на примере картографирования и определения площади лесных земель, пройденных огнем.

Материалы

1. Фрагменты разновременных космических снимков TM/Landsat-5 с пространственным разрешением 30 м в 5 каналах видимого и ближнего инфракрасного участков спектра. Съемка 10 сентября 2006 г., 29 сентября 2007 г. и 20 августа 2010 г.

2. Листы топографической карты масштаба 1:100 000 в цифровом виде.

Программное обеспечение – ILWIS.

Задание выполняется поэтапно. Вначале выполняется присвоение координат в системе СК-42 трем разновременным снимкам TM/Landsat-5. Следующий этап – контролируемая классификация снимков, в результате которой можно получить количественные оценки изменений в площади лесного массива. Для этого необходимо выделить его изображение на снимке путем создания и наложения маски на остальное изображение. На заключительном этапе составляются карты изменений в лесном массиве непосредственно после пожара и спустя три года.

Порядок выполнения задания

1. Выполнить предварительную подготовку космических снимков.

1.1. Создать многозональный снимок в виде списка зональных снимков (Map List), для последующего выполнения операций одновременно со всеми зональными снимками.

Действия в программе. В списках операций (Operation List или OperationTree) выбрать New Map List, в открывшемся окне задать имя нового файла (для каждого из разновременных снимков в имени указывать год съемки), из открывшегося слева списка выбрать файлы зональных снимков съемки 2006 г. и переместить их вправо, ОК.

Повторить операцию и создать файлы Map List снимков 2007 и 2010 гг.

1.2. Присвоить пространственные координаты СК-42 снимку TM/Landsat-5 2006 г.

Действия в программе. Открыть программу создания файла привязки (связи растровых и пространственных координат) New GeoReference. В открывшемся окне присвоить имя, аналогичное имени файла снимка, согласиться с предложенным методом присвоения координат «по точкам» (Georef Tiepoints) и системой координат – Unknown, ОК. Откроется окно GeoReference Editor.

В панели инструментов задать тип преобразования, в данном случае – аффинное. В таблице внизу в первых пяти колонках приведены номер точки, ее пространственные и растровые координаты. В следующей колонке (Active) замена True на False позволяет исключать точку из вычислений в случае ошибки. В последних двух колонках (DRow, DCol) показываются значения среднего квадратического отклонения между заданными и вычисленными растровыми координатами в данной точке. Среднее отклонение из всех значений фиксируется в правой части панели инструментов (Sigma).

В другом окне открыть один из листов топографической карты (рис. П18, Б), который перекрывает часть снимка. На снимке отметить курсором уверенно опознаваемую точку, при этом в таблице появляются значения ее растровых координат. На карте найти и отметить ту же точку, в таблицу добавятся значения ее пространственных координат. Выбрать на снимке не менее пяти точек, контролируя значения отклонений (DRow, DCol). Чтобы набрать опорные точки в других частях снимка, поочередно открыть два других листа топографической карты. Среднее квадратическое отклонение (Sigma) по всему снимку в этом конкретном случае не должно превышать 2,5 пикселей.

Выйти из редактора, файл привязки сохраняется автоматически.

1.3. Аналогичным способом создать файлы привязки (GeoReference) для двух других многозональных снимков Landsat-5 – съемки 2007 и 2010 гг.

2. Выполнить контролируемую классификацию разновременных изображений TM/Landsat-5.

2.1. Создать обучающую выборку для классификации объектов по снимку 2006 г.

Действия в программе. В списке программ (Operation List или Operation Tree) выбрать – New Sample Set (Новая обучающая выборка). В открывшемся окне задать имя выборки, выбрать в спадающем меню MapList многозональный снимок 2006 г. съемки и создать новую легенду (Domain). В открывшемся окне задать имя легенды, выбрать тип объектов – класс (Class), ОК. В окне создания легенды (Domain Class) значком + в панели инструментов или в меню Edit–Add Item (добавить класс) ввести краткие названия классов (лесная растительность, безлесные участки, гарь, водные объекты). После добавления классов последовательно закрыть окна, при закрытии последнего (Create Sample Set) выполняется переход в режим редактирования обучающей выборки (Sample Set Editor), где первым шагом является вывод на

экран цветного синтезированного изображения. По умолчанию одновременно открывается таблица статистических характеристик эталонов классов (Sample Statistics). Для контроля свойств классов в выборке открыть график двумерного поля признаков Edit–Feature Space, задать оси графика – имена двух зональных снимков, лучше в ближнем инфракрасном и красном участках спектра. В других окнах открыть листы топографической карты для использования их в качестве эталонных данных. Разместить на экране все окна.

Пользуясь картой как источником сведений о местности, инструментом  (Normal) выделить на снимке участок соснового леса в 1–2 десятка пикселей и присвоить имя класса (правая клавиша, в контекстном меню Edit–Class name, ОК). В разных частях изображения лесного массива выбрать еще несколько аналогичных участков, относящихся к тому же классу. Участки-эталонные для всех классов выбирать только в пределах изображения Инского бора, при этом контролировать компактность расположения пикселей одного класса и отсутствие пересечений разных классов по графику пространства признаков (Feature Space). После создания обучающей выборки закрыть окно, результаты будут сохранены.

2.2. Выполнить классификацию объектов по снимку 2006 г.

Действия в программе. В листе операций выбрать функцию Classify. В появившемся окне выбрать имя созданной обучающей выборки и метод классификации (Maximum Likelihood – максимального правдоподобия), присвоить имя новому файлу, для выполнения операции – Show.

2.3. Сформировать обучающую выборку и провести классификацию объектов по снимкам 2007 и 2010 гг.

Действия в программе. Повторить действия пп. 2.1 и 2.2 для снимков 2007 и 2010 гг., сформировать для каждого из них новую обучающую выборку, но при этом использовать перечень классов (Domain), который был создан для снимка 2006 г.

3. Создать маску и наложить ее на изображение, полученное в результате классификации.

3.1. Создать карту сегментов по снимку TM/Landsat-5 съемки 2006 г.

Действия в программе. Открыть снимок 2006 г., в меню открыть окно создания карты сегментов: File–Create–Segment Map, задать имя новой карты. Размер создаваемой карты и система координат задаются программой по углам снимка. Отказаться от предлагаемого типа домена и нажать значок создания нового (Create Domain), в открывшемся окне задать имя домена, тип объектов – класс (Class), ОК. В следующем окне значком + (Add Item) добавить названия классов сегментов, в данном случае достаточно двух – контур и рамка. Закрыть окно создания домена (легенды), в окне создания карты нажать ОК, в результате в окне со снимком появляется панель редактирования карты (Segment Editor). Инструмент  (Insert Mode) позволяет рисовать сегменты, а инструмент  (Move Points) – редактировать рисунок, передвигая отдельные точки сегментов. Класс сегмента (атрибуты) задается в окне Edit, которое открывается двойным щелчком левой клавиши при положении курсора на линии или в контекстном меню. Нарисовать границу лесного массива.

3.2. Создать карту полигонов

Действия в программе. После окончания рисовки сегментов, не выходя из режима редактирования, проверить сегменты на наличие ошибок (File–Check Segments). В спадающем меню последовательно запустить первые три программы – проверка частичного перекрытия одного сегмента (Self Overlap), замкнутость сегментов (Dead Ends) и пересечение сегментов без образования узлов (Intersections). В открывшемся окне отметить Mask и ввести имена только тех классов линий, которые будут участвовать в создании полигонов (в этом случае оба класса сегментов). При наличии ошибок указывается их место (меняется цвет узловой точки), а исправления делаются вручную.

После устранения ошибок создать карту полигонов: File–Polygonize. В открывшемся окне Polygonize Segment Map отметить Mask (по умолчанию появляются названные ранее имена классов сегментов) и Topology, задать имя новой карты и создать ее легенду (Domain) аналогично тому, как это делалось для сегментной карты. Добавить один класс полигонов (например, maska), закрыть окно Create Domain, ОК. В окне с изображением появляется панель редактирования полигонов (Polygon Editor). Инструментом  (Normal) выделить только один полигон, образованный рамкой и границей лесного массива, и отнести его к классу mask. Выйти из режима редактирования.

3.3. Растеризовать полигонную карту. Для наложения маски на изображение, полученное в результате классификации, нужно, чтобы оба изображения были растровыми и имели одинаковый файл привязки (GeoReference).

Действия в программе. Навести курсор на файл карты полигонов и вызвать контекстное меню: Polygon to Raster. В открывшемся окне задать имя файлу растровой карты и создать новый файл привязки (GeoReference). В окне Create GeoReference присвоить имя файлу привязки, в спадающем списке выбрать систему координат Unknown, в появившихся окошках задать размер пиксела (Pixel Size) 30 м, а координаты углов оставить по умолчанию, закрыть окно привязки, ОК и окно полигонизации, Show.

3.4. Наложить маску на классифицированное изображение TM/Landsat 2006 г.

Действия в программе. Запустить программу совмещения (Glue Raster Map). В открывшемся окне выбрать в качестве первого изображения (1st Map) результат классификации снимка 2006 г., а второго (2nd Map) – созданную растровую карту маски; отметить New Domain и присвоить имя новому домену; отметить (GeoReference) и выбрать файл привязки *маски*; присвоить имя новому, маскированному изображению классификации.

Вновь созданному изображению по умолчанию присваиваются основные цвета. Для редактирования оформления легенды необходимо предварительно закрыть полученное изображение и ликвидировать его зависимость от изображений, по которым он создан: File–Properties–Dependency–Break Dependency Link, ОК, а также изменить тип домена: выбрать его в списке файлов, открыть в контекстном меню окно Properties, а в нем Convert to classes, ОК.

3.5. Повторить действия п. 3.4 и создать маскированные результаты классификации снимков 2007 и 2010 гг., при этом использовать тот же файл привязки (GeoReference) маски, а домен создавать новый.

4. Определение площади, пройденной пожаром, по снимкам 2006, 2007 и 2010 гг. Вычисление площади выдела определенного класса на растровом изображении сводится к определению числа пикселей, отнесенных к этому классу, и умножению его на размер пиксела (рис. П17).

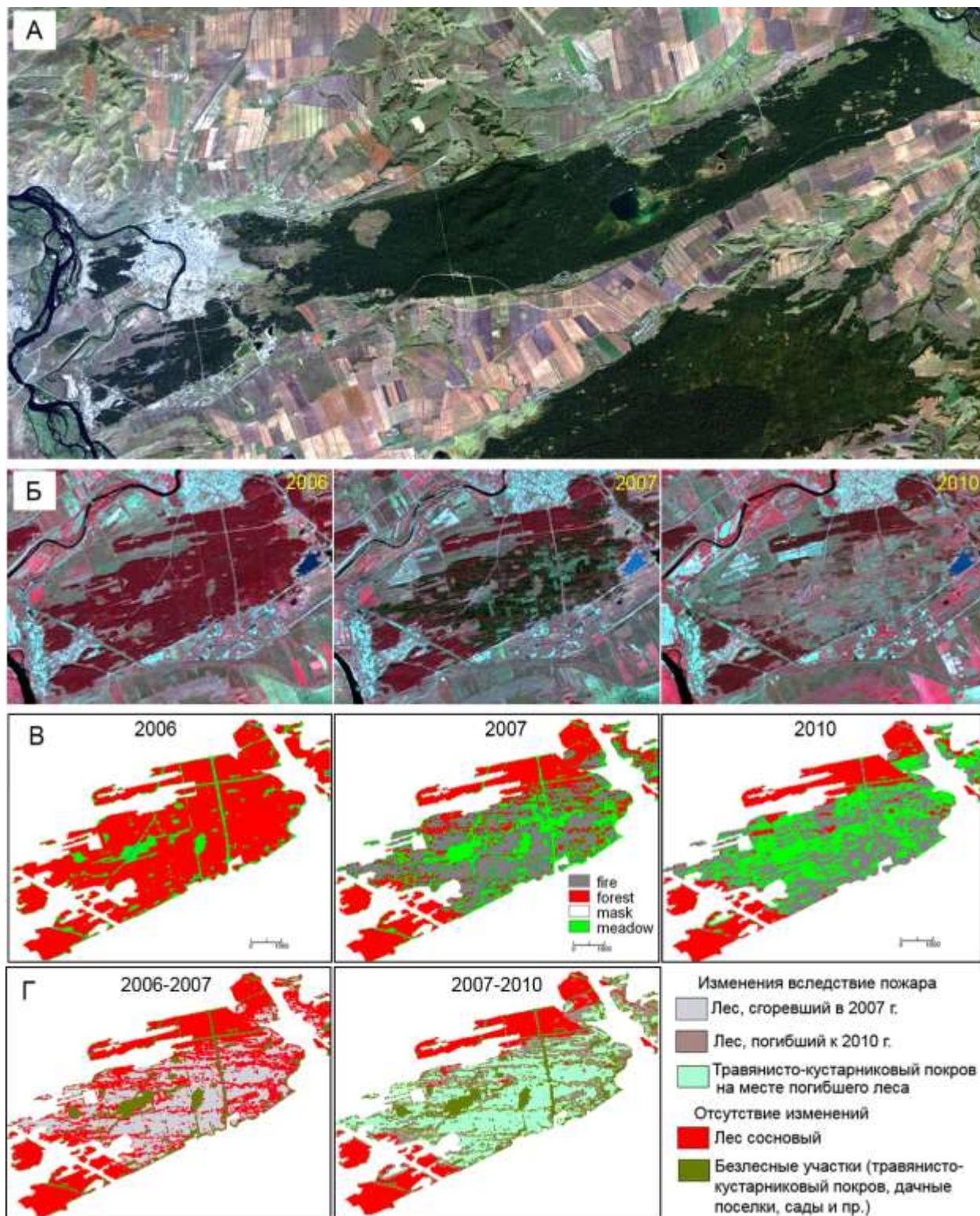


Рис. П17. Определение последствий лесного пожара в мае 2007 г. по космическим снимкам: А – космический снимок Инского бора со спутника TM/Landsat-5 10 сентября 2006 г.; Б – серия фрагментов разновременных снимков участка территории; В – результаты классификации по методу максимального правдоподобия; Г – изменения за два периода (результаты оверлея изображений)

Действия в программе. Запустить программу Histogram (вычисление гистограммы), в открывшемся окне Calculate Histogram ввести имя маскированного изображения классификации снимка 2006 г. (или выделить имя файла, в контекстном меню Statistics–Histogram–Calculate Histogram–Show). В открывшемся окне обратить внимание на два верхних поля – графическое представление распределения пикселей по классам и числовые характеристики, в том числе площадь классов в метрах (Area).

Повторить действия с маскированными изображениями классификации снимков 2007 и 2010 гг., заполнить табл. 4.4.

Таблица 4.4

Изменение площади лесного массива вследствие пожара

Годы	Площадь леса, тыс. га	Площадь погибшего леса,	
		тыс. га	% (от 2006 г.)
2006			
2007			
2010			

5. Создать карту изменений после пожара в Инском лесном массиве по результатам классификации разновременных снимков (сентябрь 2006–сентябрь 2007 г.).

Действия в программе. В списке операций (или в контекстном меню) выбрать программу оверлея Cross. В открывшемся окне в качестве первого изображения (1st Map) выбрать из спадающего списка файлов имя маскированного классифицированного снимка 2006 г., а в качестве второго (2nd Map) – аналогичное изображение снимка 2007 г., дать имя таблице (Output Table), отметить Output Map и присвоить имя карте изменений. После команды Show открывается таблица, в столбцах которой даны новые классы (сочетания исходных), названия классов первой и второй исходных карт, число пикселей и площадь каждого из классов.

Карта изменений, в легенде которой содержатся те же сочетания классов, что и в таблице, сохранила зависимость от двух исходных карт, что не дает возможности ее редактировать, необходимо ликвидировать зависимость: File–Properties–Dependency–Break Dependency Link, ОК, а также изменить тип домена: Properties–Convert to classes, ОК).

6. Отредактировать и оформить карту. Основная задача редактирования – создание логически правильной легенды, устранение фиктивных изменений, возникших в результате автоматического наложения слоев.

6.1. Последовательно присвоить цвета всем выделам, класс которых не изменился (например, лес*лес), а также классу погибшего леса (лес*гарь). Классу маска*маска присвоить белый или светло-серый цвет. Остальные классы – это фиктивные изменения, к каждому из них отнесено существенно меньшее количество пикселей, в чем можно убедиться, открыв таблицу. Этим классам можно присвоить цвет любого другого класса.

Действия в программе. Двойным щелчком на шашке легенды открыть окно Edit Representation, выбрать цвет (расширение цветовой палитры – Custom color), закрыть окно.

6.2. Создать макет карты в растровом формате.

Действия в программе. File–Create Layout, присвоить имя, во всплывающем окне задать масштаб карты 1:250 000. В окне макета развернуть лист (File–Page Setup) и расположить карту на листе. Пользуясь инструментами добавить рамку, числовой масштаб, координатную сетку и легенду. Параметры (кегель подписей и т. д.) выбирать по усмотрению. После окончания оформления создать файл для печати с разрешением 150 точек/дюйм: File–Export to Bitmap.

7. Создать карту изменений в лесном массиве вследствие пожара по результатам классификации разновременных снимков (сентябрь 2007–август 2010 г.).

Действия в программе. Повторить действия пп. 5 и 6. При редактировании легенды выделить цветом класс «лес, исчезнувший к 2010 г.» (например, лес*прочее). Добавить к картам общую легенду (рис. П17).

Вопросы

1. От чего зависит достоверность определения площади, пройденной огнем?
2. Какие последствия пожара можно выявить по снимкам?
3. Каковы основные причины появления фиктивных изменений (например, появления соснового леса на месте травянистой растительности за 1–3 года)?

Результат выполнения задания

1. Карты состояния лесного массива в 2006, 2007 и 2010 гг. по результатам классификации разновременных снимков.
2. Таблица изменения площади лесного массива вследствие пожара.
3. Карты изменения границ лесного массива в 2006–2007 и 2007–2010 гг.

5. ПОЛЕВАЯ ПРАКТИКА ПО ДЕШИФРИРОВАНИЮ*

Основной целью полевой учебной практики по дешифрированию является закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков полевого дешифрирования космических снимков и картографирования по материалам космических съемок. Полевое дешифрирование снимков заключается в сплошном или выборочном обследовании территории, изображенной на снимках, с опознаванием объектов и их свойств непосредственно на местности. На практике выполняется камеральная обработка снимков с использованием собранных материалов и составление карт на обследованную территорию. Предполагается ознакомление с современными приборами, применяемыми для ориентирования на местности и сбора тематической информации (преимущественно о рельефе и растительном покрове).

Для выполнения работ на разных этапах практики необходимо использование мобильных персональных компьютеров (ноутбуков) или работа в компьютерном классе.

5.1. Подготовительный камеральный этап

Подготовка к полевой практике начинается до выезда с проведения нескольких мероприятий.

Ознакомление с литературой о районе прохождения практики и объектах дешифрирования. Знание особенностей территории и объектов дешифрирования необходимо не только для распознавания объектов и их свойств на космических снимках, но и для успешного планирования рациональных и безопасных маршрутов полевых обследований. В результате изучения литературных источников составляется развернутая физико-географическая характеристика района практики, а также хозяйственных и/или охраняемых объектов территории. Знакомство с географическими особенностями территории служит основой для разработки предварительной легенды схемы дешифрирования, которую планируется создавать в поле.

Подбор съемочных и картографических материалов. Для знакомства с территорией и проведения дешифровочных работ подбираются снимки, отображающие исследуемую территорию в ближайшие ко времени проведения практики сроки, а также разносезонные снимки (для получения по ним дополнительного дешифровочного признака). Желательно подобрать снимки разного пространственного разрешения и охвата: как многозональные, так и панхроматические. Полезными разносезонными многозональными материалами служат находящиеся в открытом доступе снимки TM и ETM+/Landsat, ASTER/Terra. Общедоступные on-line сервисы космических изображений могут быть дополнительно использованы непосредственно в полевых условиях при наличии доступа в Интернет. Геопортал МГУ частично обеспечивает получение

*раздел написан при участии Н. А. Алексеенко

снимков высокого (SPOT-5) и сверхвысокого (например, GeoEye, WorldView) пространственного разрешения.

Планирование полевых маршрутов. В камеральных условиях до выезда к месту проведения практики или по приезде выполняется предварительное камеральное дешифрирование природных территориальных комплексов (ПТК) района прохождения практики. В результате просмотра всех снимков на одном из них рисуются выделы, визуально различающиеся по цвету, структуре изображения, геометрическим и другим признакам. Выявляются объекты или участки, неясные для дешифровщика, посещение которых обязательно. Составленная таким путем схема предварительного дешифрирования служит основой для прокладки маршрутов и выбора эталонных участков для полевого обследования (рис. П18, А).

5.2. Полевые работы

Полевое дешифрирование обеспечивает формирование комплекса дешифровочных признаков объектов, изображенных на снимках, позволяет получить представление о природных границах, что необходимо для создания по снимкам картографических материалов. По результатам полевого дешифрирования определяется содержание выделов, намеченных на схеме предварительного камерального дешифрирования.

В зависимости от особенностей и размеров территории, масштаба результирующих карт применяется несколько способов обследования территории: маршрутное (в том числе по профилю), выборочное (эталонное) и сплошное. Составленная на подготовительном камеральном этапе схема предварительного дешифрирования используется для прокладки маршрутов и выбора участков для эталонирования. Маршруты прокладываются с учетом дорожной сети, условий проходимости местности.

Выборочное дешифрирование предполагает посещение отдельных точек для распознавания трудно дешифрируемых объектов и участков, а также формирования эталонов для последующего камерального дешифрирования. При маршрутном дешифрировании сопоставление местности с изображением на снимке выполняется постоянно по ходу движения, а в пределах выделов, наилучшим образом различающихся на снимке, выбираются точки наблюдения, где составляется более подробное описание рельефа, растительности и т. д. Дешифрирование по профилю предполагает выбор самой линии профиля в зависимости от особенностей местности. Например, профиль может пересекать склон долины от уреза к водоразделу, или проходить от вершины к подножью склонов разной крутизны или экспозиции с целью выявления взаимосвязи компонентов ландшафта. В этом случае составляются описания в точках, расположенных через равные расстояния по заданной линии, в характерных точках рельефа или при смене растительных сообществ. Сплошное дешифрирование предполагает детальное обследование мест-

ности с распознаванием границ всех выделов, обозначенных на схеме предварительного дешифрирования, и нанесение границ природных контуров, не выявленных по снимкам на предварительном этапе.

Выявление и прослеживание на местности границ выделов, обозначенных на схеме предварительного дешифрирования или на самом снимке, особенно важно, так как позволяет получить представление о точности положения на картах границ природных и природно-антропогенных объектов.

Успех полевого дешифрирования, в частности правильное сличение снимка с местностью, во многом определяется точностью определения местонахождения исполнителя. Поэтому в ходе практики большое внимание уделяется координатной привязке снимков и ориентированию на местности с использованием современных навигационных приборов – GPS-приемников. Использование средств навигации не только помогает точно сопоставить местность и изображение, но и позволяет заранее наметить координаты точек, которые необходимо посетить, зафиксировать пройденные маршруты и точки наблюдений.

В начале полевых работ проводятся ознакомительные маршруты с преподавателем, в ходе которых устанавливаются основные ландшафтные закономерности территории, зависимость растительного покрова от рельефа местности, определяется характер границ природно-территориальных комплексов разного уровня, осуществляется знакомство с навигационными приборами, оценивается качество исходной координатной привязки космических снимков, собирается гербарий. При сопоставлении местности и используемых снимков определяются дешифровочные признаки объектов.

Знакомство с работой полевых навигационных приборов

Используемые системы координат. Главное свойство всех систем координат – положение любой точки однозначно определяется ее координатами. Возможен выбор одной из трех систем пространственных координат: географической (широта-долгота) или двух прямоугольных геодезических (СК-42 и WGS-84). При работе с данными в растровом формате можно использовать и географическую, и геодезические системы. Для карт в векторном формате предпочтительны прямоугольные геодезические системы координат, фиксирующие положение точек в метрах. Широко используемые в настоящее время системы приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Основные геодезические системы координат

Геодезическая система координат	Проекция	Эллипсоид
СК-42 (Пулково)	Гаусса-Крюгера	Красовского
WGS-84	UTM (поперечно-цилиндрическая Меркатора)	WGS-84

До недавнего времени большинство развитых стран с обширной территорией имели собственные системы координат. Появление съемочных космических систем и систем спутникового позиционирования (GPS и ГЛОНАСС) привело к необходимости иметь общую, всемирную систему координат WGS (World Global System). Космические цифровые снимки поставляются фирмами-распространителями уже преобразованными в систему координат WGS-84, в то время как отечественные топографические карты составлены в государственной системе координат СК-42.

В процессе полевой практики по дешифрированию предполагается использование всех трех систем пространственных координат и трансформирование данных из одной координатной системы в другую программными средствами, встроенными непосредственно в GPS-приемники, и компьютерными программами считывания данных из приемников (MapSource, OziExplorer и др.).

Навигационные приборы. Для полевого определения координат сейчас имеется возможность использовать разные приборы, развитие технологий приводит к появлению новых возможностей – компактные приемники спутникового позиционирования (GPS-модули) могут быть встроены в мобильные телефоны и прочие электронные устройства. Рассмотрим устройства, уже опробованные на полевой практике: наладонные приемники, планшетные устройства, внешние GPS-модули, подключаемые к полевым компьютерам.

Наладонные приемники, например Garmin, предназначены для автономной записи координат маршрутных точек, фиксации маршрутов в памяти приемника, занесения в память координат точек, которые необходимо посетить при полевом обследовании. Приемник Garmin eTrexLegend имеет 12 каналов и может отслеживать и использовать для вычисления координат до 12 спутников одновременно. Средняя ошибка определения координат на открытой местности – 5 м. В лесу ошибка возрастает из-за частичной потери сигнала со спутников. Приемники Garmin постоянно совершенствуются, существует множество модификаций, обладающих разными функциями и характеристиками. Например, приемник Garmin eTrex 20 оснащён новым GPS-модулем, поддерживающим обе полностью работающие на сегодняшний момент системы спутникового позиционирования – GPS и ГЛОНАСС, благодаря чему местоположение определяется быстрее и с более высокой точностью, чем при использовании только одной системы. Этот приемник допускает загрузку карт и космических снимков, что упрощает ориентацию, но не обеспечивает возможности дешифрирования из-за малого размера экрана. Записанные в память приемника координаты точек при камеральной обработке считываются из него в компьютер в любой требуемой системе координат (СК-42 в проекции Гаусса-Крюгера, WGS-84 в проекции UTM, как в метрах, так и в градусах).

Планшетные устройства работают в режиме использования мобильного интернета (при наличии SIM-карты любого из операторов сотовой связи), что обеспечивает повышение точности определения координат точек в условиях плохой видимости спутников за счет наличия сотовой сети. Например, интернет-планшет ViewSonic ViewPad 7, работающий в операционной системе Android, обеспечивает выполнение обычной для GPS-приемника функции запоминания точек маршрута. При работе планшета в режиме подключения к сети Интернет (on-line) для ориентирования на местности можно использовать общедоступные картографические сервисы (например, GoogleMaps, Яндекс.Карты, OpenStreetMap). При отсутствии сети (работа в режиме off-line) те же данные могут быть использованы после их предварительной загрузки в память устройства. Запись положения точек осуществляется в любой из предварительно выбранных систем координат. Планшет позволяет связать с зафиксированной точкой дополнительные сведения, например, текстовые описания с использованием сенсорной клавиатуры, или фотоизображения местности, полученные встроенной фотокамерой. Для записи маршрутных точек используется программа OrixMaps. Она позволяет экспортировать записанные координаты точек наблюдений в форматы .kml и .gpx, для их последующего использования в различных ГИС-пакетах. При загрузке в планшет космических снимков можно проводить их полевое дешифрирование на экране размером 8x15 см.

Внешние, подключаемые к компьютеру GPS-приёмники, определяют координаты местоположения и передают их через интерфейс Bluetooth на полевой компьютер. Например, портативный GPS-приемник GlobalSat BT-821 может быть подключен без проводов к любому мобильному компьютеру или другому устройству с Bluetooth-модулем. Встроенный GPS-модуль позволяет принимать сигнал по 32 каналам одновременно с 14 спутников, что обеспечивает высокую точность определения местоположения даже в самых трудных условиях (под плотным пологом леса, в глубоких оврагах). По паспортным данным точность определения местоположения составляет 3 м. Передача навигационных данных происходит на любое устройство, оснащенное Bluetooth-каналом приема информации, в радиусе 10 м (рис. 5.1, А). Подключение к принимающим устройствам происходит автоматически, с момента подключения приемник передает все данные о своем местоположении на компьютер (рис. 5.1, Б).

Особенно эффективно применение для полевого дешифрирования защищенного (предназначенного для работы в неблагоприятных внешних условиях) планшетного компьютера, например, Panasonic CF-U1. Как и в случае работы с планшетом возможна загрузка и отображение на экране компьютера космических снимков, что позволяет проводить опознавание объектов местности на снимке непосредственно в поле при одновременном точном определении координат местонахождения. Возможность точно соотнести местонахождение с изображением местности на снимке существенно упрощает установление дешифровочных признаков объектов.

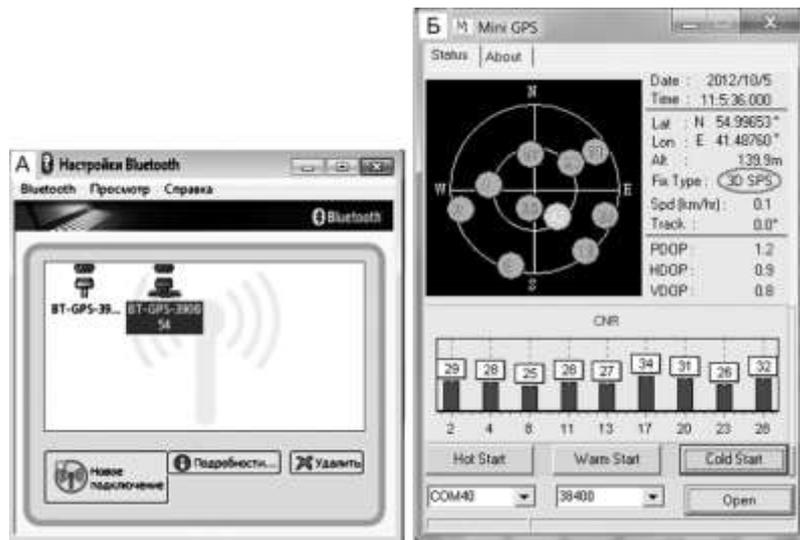


Рис. 5.1. Окна подключения GPS-приемника по каналу Bluetooth (А) и передачи данных на компьютер (Б)

Все операции с принятыми координатами осуществляются средствами установленного на компьютере специализированного программного обеспечения. При работе в среде ГИС, например ArcPad, обеспечивается выполнение полного цикла работ по полевому геоинформационному картографированию как путем непосредственной рисовки контуров в результате дешифрирования снимка на экране, прослеживания изменений по топографической карте, сопоставления с местностью результатов обработки многозональных снимков, так и на «чистом листе» в любой заданной координатной системе и проекции. В частности, при использовании этого устройства возможно прослеживание и нанесение на снимок границ растительных сообществ нижнего яруса леса, дешифрирование которых по снимку невозможно из-за того, что они полностью скрыты верхним ярусом древостоя.

Самостоятельные маршруты. Порядок работы на точке наблюдений

Самостоятельные маршруты прокладываются и проводятся в соответствии со схемой предварительного дешифрирования. При проведении работ на территории с хорошо выраженным рельефом целесообразно строить маршруты профилированием, поскольку при движении по профилю есть возможность проследить постепенную смену растительных ассоциаций и их приуроченность к элементам рельефа. В высокогорных районах при этом можно зафиксировать смену высотных поясов. Ориентирование в маршруте и определение местонахождения осуществляются при сличении местности с ее изображением на снимке и с применением навигационных приборов.

Необходимо посетить все обозначенные на схеме выделы для подтверждения их границ и сбора фактической информации о характеристиках картографируемых объектов. Дополнительно выявляются и описываются объекты, которые трудно определить по снимкам (например, доминирующие породы на разных участках леса, состав луговых сообществ), или объекты, не видимые на снимках (наличие и состав подлеска или травяного яруса в лесу), уточняются де-

шифровочные признаки природных территориальных комплексов. Результаты обследований фиксируются в полевых дневниках и на схеме дешифрирования или на осветленном отпечатке. При наличии мобильного компьютера с загруженным снимком обследуемой территории и возможностью определения координат местоположения непосредственно в процессе полевого обследования может выполняться рисовка границ выделов.

Независимо от особенностей местности и используемого оборудования выполняются следующие операции:

- ориентирование по снимку, определение координат точки стояния с использованием любого из охарактеризованных выше средств навигации;
- выбор хорошо заметных на снимке и уверенно опознаваемых на местности точек и определение их координат для уточнения координатной привязки снимка;
- опознавание объектов и определение их состояния, нанесение объектов, не изобразившихся на снимке, но существенных для содержания создаваемой карты;
- составление описания природно-территориальных комплексов на участках, выбранных в качестве эталонов, и в характерных точках обследуемой местности.

Уточнение координатной привязки снимков по полевым точкам иногда оказывается необходимым по той причине, что точность первичной привязки снимков, выполненной по орбитальным данным, может оказаться недостаточной для полевых работ. Качество привязки снимков неодинаково у разных съемочных систем и поставщиков данных. Например, отличаются высокой точностью пространственных координат съемочные материалы спутников Landsat, а космические снимки съемочной системы Cartosat/IRS-P5 или ASTER/Terra и некоторые другие, наоборот, привязаны по орбитальным данным неточно. В качестве необходимой и достаточной точности привязки принимается размер пиксела снимка, то есть расхождения в значениях координат точки на снимке и на местности (определенные GPS-приемником) не должны превышать размера пиксела снимка.

Подробность и качество геоботанических описаний, составленных на маршрутных точках, во многом определяют эффективность последующей камеральной обработки собранной в поле информации и качество итоговых картографических материалов. Отмеченные на снимке участки, для которых составлены подробные геоботанические описания, служат эталонами при камеральной обработке снимков обследованной территории. Описание растительного покрова обычно составляется для относительно однородной площадки размером 10x10 м на открытом пространстве и 20x20 м в лесу. Если важный для создаваемой карты выдел имеет небольшие размеры (меньше указанной площади), то его описывают в пределах естественных границ с указанием размеров. Примерный план детального описания точек приведен в Приложении 2.

Помимо подробных описаний участков, которые впоследствии используются как эталоны для камерального дешифрирования и при составлении итоговых карт, необходимо отмечать точки, соответствующие смене типов растительных сообществ, невыраженных на снимке.

Совокупность маршрутных описаний после систематизации позволяет уточнить легенду схемы дешифрирования (или карты), составленную на предварительном этапе, и разработать ее окончательный вариант по результатам полевых работ и дешифрирования снимков.

Полевое наземное спектрометрирование

Спектрометрирование – измерение спектральной отражательной способности природных объектов. Полевое спектрометрирование проводится для определения спектральных коэффициентов яркости отдельных типичных поверхностей в районе практики. Его результаты помогают уточнить дешифровочные признаки растительных сообществ и прочих объектов, необходимые для их распознавания по спектральным признакам на многозональных снимках. На использовании спектральной яркости объектов основаны различные способы обработки космических снимков, в том числе компьютерная классификация. Результатом полевого наземного спектрометрирования в зависимости от типа применяемого прибора могут быть графики спектральной яркости объектов или рассчитанные по значениям коэффициентов яркости вегетационные индексы.

Двухканальный полевой спектрометр SpectroSense2, изготовленный компанией Skye Instruments (Уэльс Великобритания), позволяет выполнить измерения, необходимые для вычисления нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI, использующего отношение разности и суммы значений яркости в ближней инфракрасной и красной зонах спектра. Яркость растительности в этих зонах связана с содержанием хлорофилла в листьях и величиной фотосинтетически активной биомассы. Чем больше объем зеленой массы, тем меньше значение отраженной радиации в красной зоне спектра (области поглощения хлорофилла) и больше – в ближней инфракрасной (области максимального отражения внутренними тканями листа). Характерное соотношение яркостей в красной и ближней инфракрасной зонах спектра является надежным признаком растительности, в том числе и при распознавании ее по многозональным снимкам (см. Задание 7).

Полевое спектрометрирование предполагает следующие работы:

- знакомство с устройством и принципом действия полевого спектрометра SpectroSense2;
- выбор площадок спектрометрирования с учетом характерных особенностей изучаемой территории, которые позволят выявить закономерности изменения вегетационного индекса;
- измерение спектральных яркостей и документирование проведенных измерений;
- камеральная обработка полученных данных (вычисление вегетационных индексов и разделение видов спектрометрированных площадок на группы по полученным значениям вегетационного индекса);

- выявление и анализ закономерностей изменения значений вегетационного индекса в зависимости от различных факторов;

- сопоставление значений вегетационного индекса, определенных при наземных измерениях, и полученных в результате обработки многозональных космических снимков.

Устройство и принцип работы спектрометра. Спектрометр состоит из двух сенсоров, каждый из которых имеет по два датчика, измеряющих излучение в красном и ближнем инфракрасном участках спектра: длины волн – 650 и 800 нм. Один из сенсоров обращен вверх и закрыт рассеивающей насадкой, которая позволяет регистрировать солнечное излучение, падающее в пределах полусферы над насадкой. Второй сенсор открыт и обращен вниз, он регистрирует отраженное от поверхности Земли солнечное излучение в пределах узкого поля зрения – 25°. Сенсоры смонтированы в верхней части штатива-штанги и соединяются проводами с регистрирующим блоком. Регистрирующий блок – портативный электронный компьютер – принимает, обрабатывает и отображает измеренные значения. Программное обеспечение содержит несложное меню, позволяющее снимать показания с сенсоров, выбирать режим и каналы съемки, единицы измерения. Обычно используются микромоли*сек/м², то есть сенсор регистрирует количество фотонов в единицу времени с единицы площади (1 моль – 6,02 • 10²³ частиц). Точность калибровки сенсоров составляет ±3–5%, поэтому при записи отсчета достаточно учитывать 2 десятичных знака.

Размер исследуемой площадки определяется высотой инструмента над уровнем растительности или открытой почвы на площадке. Изменяя высоту прибора, можно получить спектральные характеристики для участков, различающихся по площади в 20 раз. Зависимость размера измеряемого участка от высоты прибора определяется по табл. 5.2.

Таблица 5.2.

Размер измеряемой спектрометром площадки в зависимости от высоты инструмента

Высота инструмента, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
Диаметр площадки, м	0,22	0,27	0,31	0,35	0,40	0,44	0,49	0,53	0,58	0,62	0,66	0,71	0,75	0,80	0,84	0,89	0,93	0,98	1,02
Площадь участка м ²	0,04	0,06	0,08	0,10	0,13	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,56	0,62	0,68	0,75	0,82

Работа на точке спектрометрирования включает следующие этапы.

- Сборка и установка спектрометра. Штатив спектрометра устанавливается у выбранной площадки и ориентируется так, чтобы плоскость, в которой находятся вертикальная и горизонтальная штанги спектрометра располагались в плоскости солнечного вертикала (солнце находится перед наблюдателем). Сенсоры размещаются над измеряемой площадкой, их вертикальность проверяется по круглому уровню. Высота прибора измеряется от штанги крепления датчиков до поверхности земли и до растительности рулеткой вдоль отвеса.

- Собственно измерения и запись отсчетов производятся при открытом нижнем сенсоре. Важно, чтобы не было затенения площадки. Прибор включается нажатием кнопки On, кнопкой Enter выбирается режим показа отсчетов всех четырех датчиков. После приведения уровня в центральное положение нажатием кнопки Hold показания прибора фиксируются. Ведомость для записи результатов спектрометрирования приведена в Приложении 3. Целесообразно повторить измерения на каждой площадке 3 раза для исключения случайных ошибок.

- Документирование измерений предполагает помимо записи отсчетов фиксацию пространственных координат точки, размера площадки спектрометрирования, ее фотографирование и составление геоботанического описания. Описание площадки составляется с указанием преобладающих видов растительности и характеристикой их обилия по системе Друде, степени проективного покрытия почвы растениями и аспекта.

После завершения измерений прибор выключают двумя нажатиями кнопки Off, либо для выполнения нового измерения на небольшом расстоянии – кнопкой Hold. При необходимости длительного перемещения прибора, его нужно разобрать и уложить в кейс.

Камеральная обработка результатов спектрометрирования заключается в занесении полученных значений в электронную ведомость спектрометрирования в программе MS Excel, с одновременным расчетом NDVI для каждой площадки. Полученные значения затем необходимо упорядочить, выявить свойства спектрометрированных поверхностей, влияющие на величину вегетационного индекса, проанализировать зависимость значения вегетационного индекса от различных факторов (размер и однородность площадки, состав, густота, высота растительного покрова, влажность, время наблюдений, условия наблюдений – ясно/облачно, высота солнца при измерениях и пр.).

Значение вегетационного индекса может служить дополнительным дешифровочным признаком при разделении по многозональному снимку некоторых типов растительных сообществ.

5.3. Камеральная обработка полевых материалов

Камеральная обработка результатов полевого дешифрирования осуществляется на месте прохождения практики и состоит из работ, которые выполняются регулярно после каждого маршрута, например: наложение полевых точек на снимок, перенос в память компьютера результатов полевого дешифрирования, проверка и уточнение привязки дешифрируемых снимков, установление дешифровочных признаков объектов, составление и оформление итоговых схем дешифрирования. В конце практики составляется итоговый текст отчета по всем видам проведенных работ.

Работа с определенными в поле координатами точек

Содержание и особенности выполнения этого этапа в значительной степени зависит от используемого для навигации прибора. При наличии связки внешний GPS-приёмник и компьютер

с программами, обеспечивающими прием сигнала и работу в среде ГИС, в полевых условиях могут быть определены дешифровочные признаки наблюдаемых на местности объектов, зафиксированы точки геоботанических описаний, обрисованы контуры. Этот способ имеет ограничения. Помимо относительно слабой распространенности такого оборудования и программного обеспечения небольшой размер экрана и недостаточная освещенность при ярком солнце затрудняют работу с космическим снимком в полевых условиях.

Рассмотрим доступный способ обработки зафиксированных наладонным GPS-приемником координат, который предусматривает наложение точек на снимок или карту средствами программ пакета ILWIS.

Основные этапы работ по привязке снимков. При использовании проекции Гаусса Крюгера (СК-42 Пулково) первым этапом является привязка изображения *топографической карты*.

Привязка средствами ILWIS заключается в создании файла привязки (GeoReference), определяющего зависимость между растровыми координатами (строками и столбцами) элемента изображения и его пространственными координатами в выбранной системе. Изображение карты изначально не имеет координатной привязки, но содержит все необходимые элементы для нее в географической системе координат (обозначенные в углах карты отрезки параллелей и меридианов) и в проекции Гаусса-Крюгера (подписанные линии километровой сетки).

Действия в программе

1. Импортировать и открыть топографическую карту: File–Import–Import Map, указать растровый формат (TIF или BMP) и выбрать из списка исходный файл карты.

2. Задать параметры формирования файла привязки: File–Create–GeoReference. В открывшемся окне задать название файла привязки (совпадающее с названием файла изображения), способ привязки – по связующим точкам (GeoRef Tiepoints), выбрать вид координатной системы (все прямоугольные системы относятся в ILWIS к категории Unknown), выбрать из списка название файла привязываемого изображения (Background Map). В ответ откроется окно с изображением карты, совмещенное с таблицей для записи соответствия номеров строк и столбцов значениям пространственных координат (рис. 5.2).

3. Указать курсором точку, лежащую на пересечении линий координатной сетки, в ответ появится окно для записи соответствия координат Add Tie Point. В пустые клетки, соответствующие координатам X и Y, ввести значения (в метрах), подписанные на карте у концов соответствующих линий координатной сетки. Повторить операцию для задания нескольких точек (5–7 оптимально) по всей площади карты. После задания первых трех точек появляется возможность контроля качества привязки, в частности, выявления грубых промахов по величине среднеквадратического отклонения (Sigma), вычисляемого программой после задания каждой новой точки. Программа записывает данные сразу на жёсткий диск, поэтому, когда распределение точек равномерно, а значение Sigma не превышает 1,5–2, добавление прекращается. Файл привязки сохраняется автоматически.

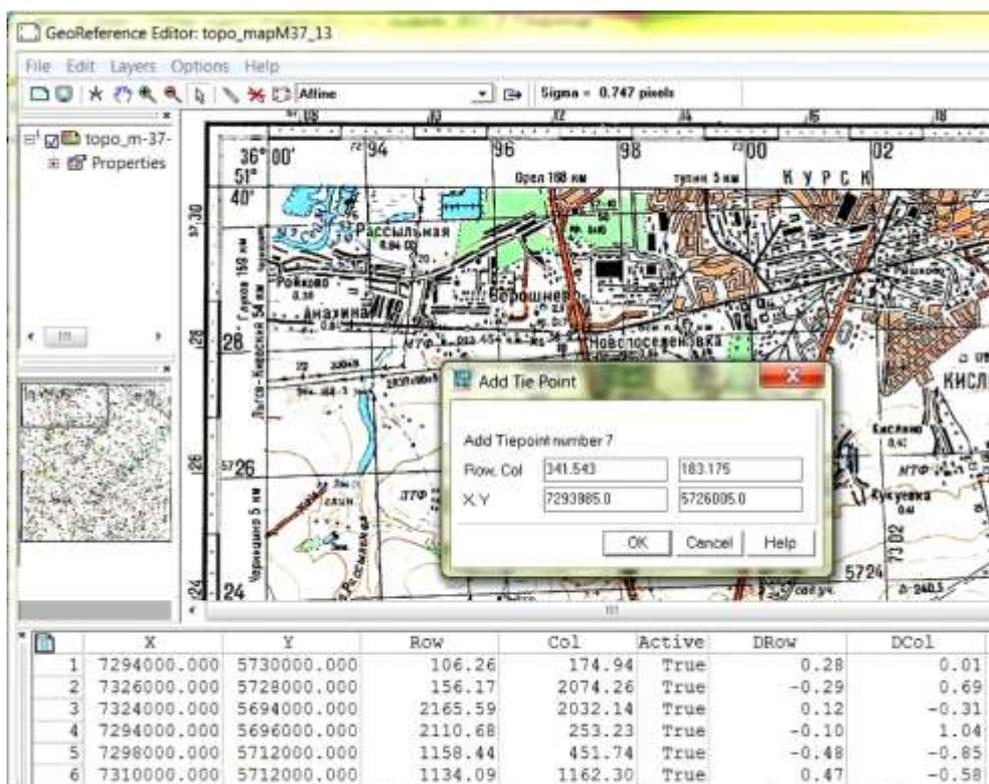


Рис. 5.2. Окно задания координат

После обеспечения системой координат изображения топографической карты на ее основе выполняется привязка космических снимков.

Процедура установления соответствия растровых координат изображения пространственным координатам повторяется, но в этом случае на экран выводятся и привязываемый снимок, и карта, имеющая координатную привязку (рис. П18, Б). На снимке находят объекты, однозначно определяемые на снимке и карте: пересечения или повороты дорог, середины мостов, небольшие здания, мысы, характерные изгибы русел рек, иногда горные вершины. Указание курсором точки на привязываемом снимке вызывает окно добавления точки, в котором записаны ее растровые координаты, а при указании той же точки на карте в то же окно добавляются ее пространственные координаты. На этом этапе необходимо набрать не менее 10 точек, равномерно распределенных по площади снимка, контролируя значения отклонений (DRow, DCol) и Sigma, они не должны превышать 1,5–2 пикселей.

Наложение маршрутных точек на снимок. После считывания точек из GPS-приемника, файл с точками необходимо сохранить в текстовом формате .txt («Текстовые файлы (с разделителями табуляции)» при использовании программы Microsoft Office). Для использования в программе ILWIS файл должен содержать только числовые данные: номера и координаты точек.

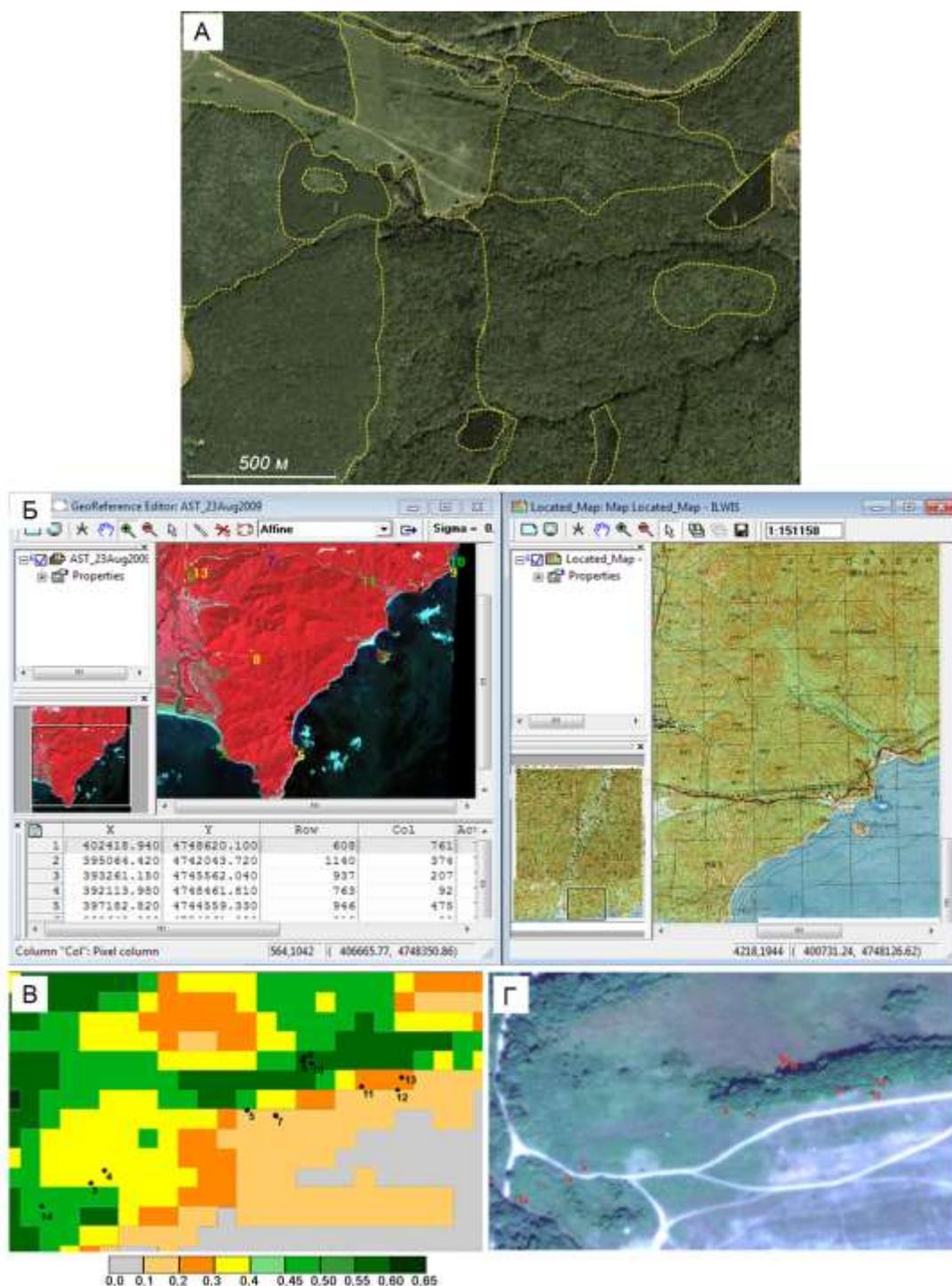


Рис. П18. Некоторые этапы полевой практики: А – предварительное дешифрирование, разделение лесной растительности по цвету и структуре изображения; Б – привязка снимка к карте в программе ILWIS; В – наложение точек спектрометрирования на изображение вегетационного индекса (NDVI), рассчитанное по снимку ASTER (разрешение 15 м); Г – сопоставление NDVI со снимком высокого разрешения

Эта таблица вводится в программу ILWIS (подробно в задании 8): File–Import–Table. После выбора требуемого файла в последующем диалоге указываются параметры импорта таблицы. В окне Import Table Wizard–Edit Column Details важно удостовериться, что тип данных во всех колонках таблицы (Domain Type) – числовой («value»), иначе таблица не будет импортирована

корректно. Созданная в программе ILWIS таблица автоматически сохраняется в папку, где находился исходный текстовый файл.

Визуализация местоположения маршрутных точек и их наложение на изображение осуществляется после создания точечной карты по таблице, импортированной в ILWIS. В главном меню выбирается Operations–Table Operation–Table to PointMap. В открывшемся окне задается название будущей карты, выбираются номера колонок таблицы, содержащих координаты X и Y точек, указывается координатная система, в которой будет построена точечная карта. Таким способом создается новый слой, который посредством функции Add Layer может быть наложен на изображение в той же системе координат, например, космический снимок или результат его обработки.

При наложении на снимок маршрутных точек возможна ситуация, когда они не точно совпадают с изображением. В этом случае необходима корректировка привязки путем добавления опорных точек, координаты которых были определены GPS-приемником в поле.

Точное совмещение описанных в поле точек и изображения местности обеспечивает возможность сопоставить составленную характеристику участка с его дешифровочными признаками на космическом снимке или с цветом на результате его обработки, что является необходимым этапом картографирования по снимкам с опорой на собранные материалы полевых обследований. Составленные описания участков, местоположение которых точно определяется на снимке, могут использоваться для корректировки предварительно проведенных границ контуров и содержания легенды. При опоре на тщательно составленные описания характерных точек – эталонных участков – можно установить особенности изображения, соответствующие выявленным видам объектов или их состоянию. На следующем этапе камерального дешифрирования возможна интерполяция или экстраполяция выявленных свойств территории на участки с аналогичными свойствами изображения, посещение которых невозможно – таким способом осуществляется принцип эталонного дешифрирования.

Аналогичным путем следует наложить точки местоположения площадок наземного спектрометрирования, для которых вычислены значения вегетационного индекса, на индексное изображение, полученное по многозональному снимку обследованной территории (рис. П18, В, Г). Результат сравнения полученных значений вегетационного индекса в соответствующих точках служит основой для выявления их сходства и различий, которые необходимо объяснить при составлении отчета.

Создание схем дешифрирования по результатам полевых и камеральных работ

Основными результатами полевых обследований местности являются уточненные контуры выделов на схеме предварительного дешифрирования, описания точек в сочетании с их пространственными координатами и комплекс дешифровочных признаков объектов, выработанный

на основе сличения местности и снимков. Эти данные служат источником при составлении итоговых картографических материалов на территорию прохождения практики (рис. П19).

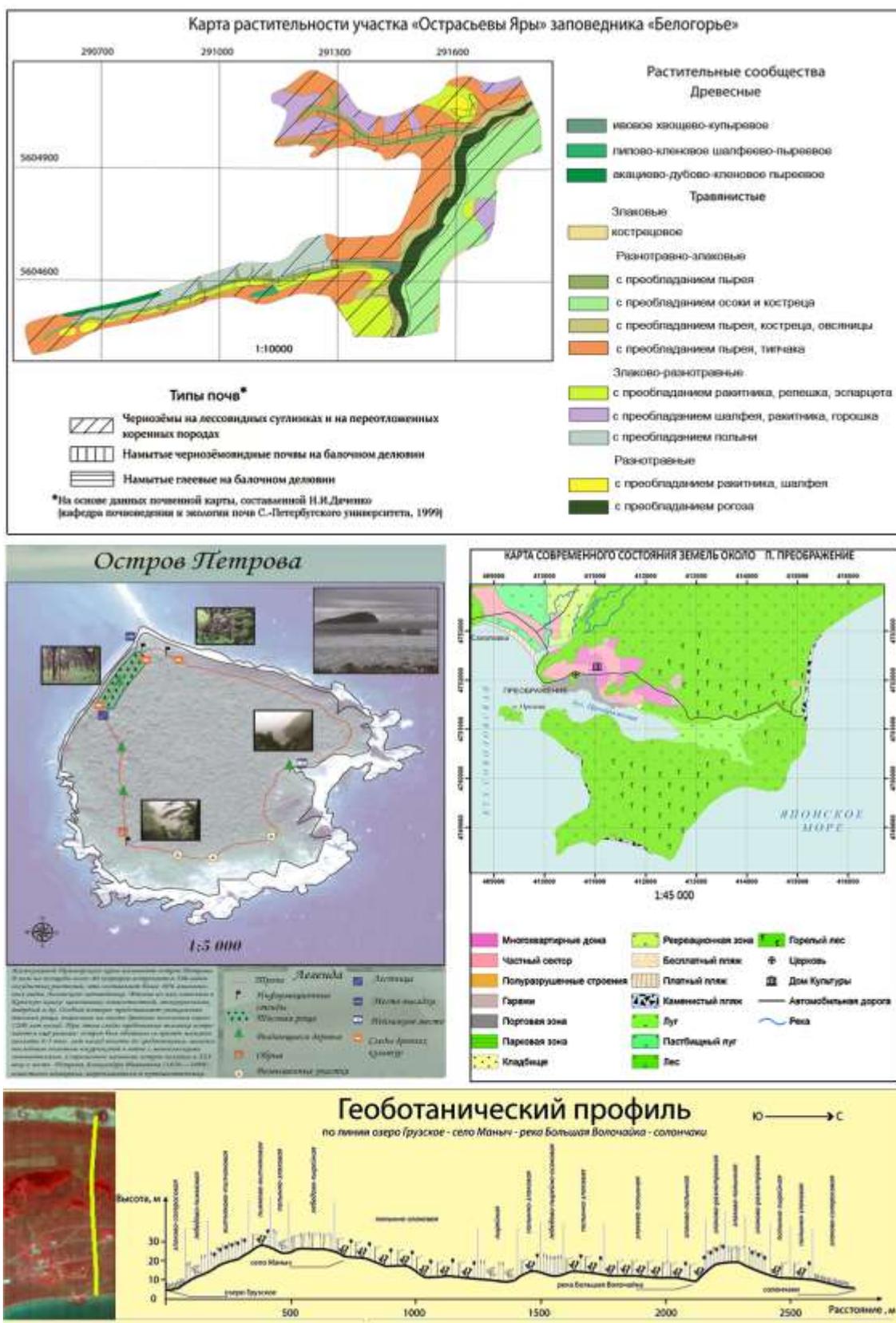


Рис. П19. Примеры итоговых материалов, составленных на полевой практике в разные годы

Тематика, масштаб и другие особенности создаваемых в результате полевой практики картографических материалов в значительной степени определяются условиями и размерами тер-

ритории, на которой проходит практика, особенностями предоставляемых для практики материалов космических съемок, доступным программным обеспечением.

Кратко охарактеризуем основные этапы, которые являются необходимыми во всех случаях.

После завершения полевых работ проводится систематизация описаний природно-территориальных комплексов на эталонных участках, собранных в процессе обследований территории, и с опорой на предварительно составленную географическую характеристику местности уточняется легенда создаваемой карты. Создание карты предусматривает уточнение предварительной схемы дешифрирования и рисовку границ выделов в соответствии с легендой. Окончательное проведение границ выделов осуществляется как на основе результатов полевых обследований и зафиксированных в поле координат точек или линий, так и по результатам камеральной обработки снимков.

Обработка снимков предполагает выполнение компьютерной кластеризации и/или классификации изображений или их небольших фрагментов с использованием полевых эталонных данных для обучения или для оценки качества и информативности промежуточных результатов. Возможно выполнение и других преобразований, информативность которых оценивается при сопоставлении с результатами полевого дешифрирования.

Для проведения границ выделов используются исходные снимки и результаты их обработки в сочетании с материалами полевого дешифрирования. Здесь важно иметь в виду особенности границ природных и природно-антропогенных объектов, выявленные в ходе полевых обследований местности и полевого дешифрирования, и их соотношение с масштабом картографирования. При возможности для уточнения границ используется цифровая модель рельефа территории.

В окончательном варианте готовые картографические материалы оформляются с использованием доступных графических программ или средств ГИС (рис. П19).

При составлении итогового текстового отчета важно иллюстрировать его фрагментами использованных на практике снимков и результатов их обработки, собственными наземными фотографиями ландшафтов и их компонентов. Примерный план отчета, составляемого бригадой, приведен в Приложении 3.

Литература

Основная

Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. Аэрокосмические методы географических исследований – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 416 с.

Кравцова В. И. Космические методы исследования почв: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Аспект Пресс, 2005 – 190 с.

Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Аспект Пресс, 2004 – 184 с.

Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. 2-е изд. – М.: КДУ, 2010 – 424 с.

Сератинас Б. Б. Математическая картография. М.: Академия, 2005 – 336 с.

Сератинас Б. Б. Основы спутникового позиционирования: Учебное пособие, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Географический факультет МГУ, 2012 – 256 с.

Дополнительная

Альбом образцов топографического дешифрирования аэроснимков. Труды ЦНИИГАиК, вып 180, М.: 1967.

Верещака Т. В. Топографические карты: научные основы содержания – М.: МАИК "Наука/Интерпериодика", 2002. – 319 с.

Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Методика и результаты (атлас). – М.: Наука – Берлин: Академи-Ферлаг. Т. 1. 1982 – 84 с.; Т. 2. 1988 – 124 с.

Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. – М.: МГУ, 1991 – 206 с.

Космические методы геоэкологии (атлас) / Под ред. В. И. Кравцовой. – М.: Географический факультет МГУ, 1998 – 104 с.

Лабутина И. А., Балдина Е. А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие – М.: WWF (Всемирный фонд дикой природы) России, 2011. – 88 с., <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/490>

Jensen J. R. Remote sensing of the environment: an Earth perspective. – Prentice Hal, 2000. – 544 p

План геоботанического описания маршрутных точек

- Дата и номер описания точек необходимы для систематизации геоботанических описаний.
- Название ассоциации дается по В. Н. Сукачеву (Сукачев В.Н. Растительные сообщества (введение в фитосоциологию) 4-е изд. - Л. -М.: "Книга", 1928. - 232 с.). Ассоциация характеризуется двойным названием с указанием примесей. Второе название характеризует доминантное растение, а первое – субдоминантное.
 - Географическое положение площадки – указываются координаты исследуемой поверхности X и Y, определенные GPS-приёмником и расстояние от первой точки маршрута.
 - Формы рельефа – необходимо определить макрорельеф и мезорельеф территории, микрорельеф и нанорельеф самой площадки.
 - Макрорельеф – горизонтальные размеры в десятки или сотни километров, вертикальные – метры и десятки метров (водораздел между двумя речками, надлуговая терраса реки и т.д.). В распределении растительного покрова этих территорий имеет значение экспозиция и крутизна склонов. Южные склоны в основном более теплые и сухие, чем северные. Крутизна склона определяет обеспеченность растений почвенной влагой;
 - Мезорельеф – горизонтальные размеры в десятки или сотни метров, вертикальные измеряются метрами (небольшие гривы, гряды и лощины).
 - Микрорельеф – горизонтальные размеры от 2 до 50 м, вертикальные – не свыше 1 м (западины, невысокие бугры). Микрорельеф может служить причиной мозаичности растительности на небольшом пространстве, поскольку вызывает перераспределение влаги, что хорошо выделяется на снимках
 - Нанорельеф – горизонтальные размеры до 2 м, вертикальные – до 0,5 м, часто имеет фитогенный характер.
- При определении формы рельефа можно придерживаться следующих параметров: равнина (угол наклона менее 0,5°); склон пологий (2–7°); склон покатый (7–15°); склон крутой (15–40°); склон обрывистый (более 40°); холм (до 200 м относительной высоты); гора (более 200 м). Например, макроформа – пологий склон, мезоформа – водосбор оврага.
 - Характеристика почвенного покрова – по возможности указывается цвет поверхности почвы, механический состав и условия увлажнения почвы. По условиям увлажнения, почвы делят на влажные, сухие, высохшие (с трещинами). Например, серо-коричневая, суглинистая, сухая (растрескавшаяся) почва.
 - Хозяйственное использование характеризуется при наличии следов деятельности человека: пашня, сенокос, выпас скота, рекреация и т.п.
 - Состояние биоценоза исследуемой площадки напрямую связано с интенсивностью хозяйственного использования. Различают сильно нарушенное, нарушенное и ненарушенное состояние биоценоза. Например, поверхность, на которой идет активный выпас скота, является сильно нарушенной.

- Цветовой аспект – это цвет растительного сообщества, зависящий от состояния вегетации растительных доминантов и субдоминантов. Например, ярко-зеленый, серо-зеленый, желто-зеленый и т.п.

- Проективное покрытие площадки (для открытых участков) или сомкнутость древостоя (для лесов) – это площадь, занятая горизонтальной проекцией надземных частей растений на поверхность почвы. Оно определяется визуально и выражается в процентах.

- Доминанты – указываются доминирующие на исследуемой площадке растения, которые дают название ассоциации.

- Описание флористического состава включает определение названий растений, их ярус, высоту в сантиметрах, обилие и фенофазу. Ярусность – важный признак растительного сообщества. В сложном лесном сообществе геоботаники различают обычно четыре основных яруса: древесный, подлесок, состоящий из кустарников, травяной покров и мохово-лишайниковый покров. Важно отмечать и наличие подроста – молодых деревьев основных лесобразующих пород. В отличие от подлеска, подрост – это деревья, которые со временем войдут в состав верхнего яруса леса. Очень часто древесный ярус состоит из деревьев разной высоты, и его приходится делить на 2–3 подъяруса. То же относится и к травяному покрову в степи и на лугах.

Обилие растений – это количество экземпляров какого-либо вида в пределах пробной площадки. Оценка обилия растений определяется по шкале Друде (1890 г.): **Un.** (unicum) – единственный экземпляр, **Sol.** (solitariae) – единично, **Sp.** (sparsae) – редко, **Cop₁** (copiosae) – довольно обильно, **Cop₂** (copiosae) – обильно, **Cop₃** (copiosae) – очень обильно, **Soc.** (sociales) – сплошь.

Фенологическая фаза растения – это фаза сезонного развития. При записи фенологических фаз можно пользоваться значками, разработанными В. В. Алехиным (Методика полевого изучения [растительности](#) и флоры / В. В. Алехин – М.: Наркомпрос. 1938. 203 с.).

Фенологические фазы развития растения:

- вегетирует;
- ^выкинуло стебель или стрелку, заметны бутоны;
-) зацветает;
- 0** в полном цвету;
- (отцветает;
- + отцвело, но семена не созрели и не высыплются
- # семена или плоды созрели и высыплются
- ~ вегетирует после цветения и высыпания семян

ЖУРНАЛ ПОЛЕВОГО СПЕКТРОМЕТРИРОВАНИЯ

Модель спектрометра: *Skye Instruments SpectroSense 2*

с/н датчиков: 33213 – нижний

33214 – верхний

Район работ _____

Дата: _____

Коэффициент калибровки o2/o1 с учетом наблюдения поверхности Земли без рассеивающей насадки: $k=1,4$

Наблюдатель: _____

Номер п/п	Время	Координаты		Название площадки	Высота инструмента, м до растит. /до земли	Отсчет o1	Отсчет o2	Отсчет o3	Отсчет o4	Положение Солнца относит. спектрометра
		Х, м	У, м			Канал К	Канал ИК	Канал К	Канал ИК	
1						Нижний сенсор (без насадки)	Нижний сенсор (без насадки)	Верхний сенсор (с насадкой)	Верхний сенсор (с насадкой)	
2										
3										

Примерный план отчета бригады

Введение (основные задачи практики)

Глава 1. Физико-географическая характеристика района места практики

(Геологическое строение и рельеф, гидрография, климат, почвы, растительность, хозяйственное использование, отличительные особенности местности)

Глава 2. Оборудование и его использование во время проведения полевых работ

GPS-приемники, спектрометр, прочее оборудование

Глава 3. Характеристика используемых материалов

3.1. Космические снимки (SPOT, ASTER, Landsat, QuickBird GeoEye и др.)

3.2. Картографические источники

3.3. Цифровая модель рельефа

3.4. Текстовые материалы

Глава 4. Полевые работы

4.1. Дешифрование: прокладка маршрутов, установление дешифровочных признаков объектов, описание контуров

4.2. Спектрометрирование: выбор площадок, работа на точке, обработка результатов измерений

Глава 5. Камеральная обработка собранных результатов обследований и снимков

5.1. Привязка снимков, кластеризация и классификация космических снимков;

5.2. Вычисление вегетационного индекса по космическим снимкам и сопоставление его с результатами наземного спектрометрирования

Глава 6. Создание картографических материалов (общее количество, содержание и масштаб итоговых картографических материалов зависит от особенностей района прохождения практики и условий ее проведения)

Заключение: решенные задачи

Список использованных источников