



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра морских информационных систем

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА**

На тему: «Использование систем дистанционного зондирования Земли при управлении прибрежными территориями»

Исполнитель: Чистяков Михаил Андреевич

Руководитель: кандидат технических наук, доцент

Попов Николай Николаевич

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____

кандидат географических наук, доцент

Фокичева Анна Алексеевна

«14» июня 2017 г.

Санкт-Петербург

2017



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

БАКАЛАВРА

На тему: «Использование систем дистанционного зондирования Земли при управлении прибрежными территориями»

Исполнитель: Чистяков Михаил Андреевич

Руководитель: кандидат технических наук, доцент

Попов Николай Николаевич

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____

кандидат географических наук, доцент

Фокичева Анна Алексеевна

« ____ » _____ 2017 г.

Санкт-Петербург

2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

«УТВЕРЖДАЮ»

и.о. заведующего кафедрой

_____ к.г.н. А.А. Фокичева

«___» _____ 2017 года

Задание

на выпускную квалификационную работу

студента Чистякова М.А.

1. Тема «Использование систем дистанционного зондирования Земли при управлении прибрежными территориями».

закреплена приказом ректора Университета от «___» _____ 201__ года,
№ ____.

2. Срок сдачи законченной работы «___» _____ 2017 года.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: учебная литература по теме «Системы дистанционного зондирования».

4. Перечень вопросов, подлежащих разработке (краткое содержание работы (проекта):

Введение. Актуальность темы, цели и задачи выпускной квалификационной работы.

- Глава 1. Анализ систем дистанционного зондирования;

В данной главе необходимо рассмотреть следующие вопросы:

1. Общие сведения о системах дистанционного зондирования.
2. Виды систем дистанционного зондирования.

-Глава 2. Использование возможностей применения данных дистанционного зондирования:

В данной главе необходимо рассмотреть следующие вопросы:

1. Форматы данных.
2. Методы улучшения изображения.
3. Методы интерпретации изображения.

-Глава 3. Методика работы с базой данных снимков LandSat;

В данной главе необходимо рассмотреть следующие вопросы:

1. Формулирование методики работы с данными дистанционного зондирования.

5. Перечень материалов, представляемых к защите: диплом, презентация

6. Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов работы: _____

7. Дата выдачи задания: «___» _____ 2017 года

Руководитель выпускной квалификационной работы

Доцент кафедры информационных технологий и систем безопасности, к.т.н.

_____Попов Н.Н._____

Задание принял к исполнению «___» _____ 2017 года

Студент Чистяков М.А., КВ-Б-13-2

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. АНАЛИЗ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	5
1.1 Физические основы дистанционного зондирования	5
1.2 Методы съемки и характеристики съемочной аппаратуры	13
1.3 Оптико-электронные системы	20
1.6 Радиолокационные системы	29
Выводы	31
2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ	35
2.1 Формат данных и предварительная обработка	35
2.2 Методы улучшения изображения	44
2.3 Методы интерпретации данных	50
Выводы	60
3. МЕТОДИКА РАБОТЫ С БАЗОЙ ДАННЫХ СНИМКОВ LandSat	63
3.1 Методика измерения с использованием данных дистанционного зондирования	63
Выводы	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	74

ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем развития морской деятельности обозначенной в Распоряжение Правительства РФ от 8 декабря 2010 г. № 2205-р, О Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года является, недостаточный уровень развития информационного обеспечения. В связи с этим целью работы является создание метода получения информации о водном объекте с использованием возможностей дистанционного зондирования.

Объектом работы выступают системы дистанционного зондирования земли.

Предметом работы является методика получения информации с помощью данных дистанционного зондирования земли.

Цель работы – Анализ данных дистанционного зондирования Земли для получения информации о водных объектах внутри суши.

Решаемые задачи:

- Анализ систем дистанционного зондирования;
- Использование возможностей применения данных дистанционного зондирования для управления прибрежными территориями;
- Методика работы с базой данных снимков LandSat;

1. АНАЛИЗ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

1.1 Физические основы дистанционного зондирования

Система сбора данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) состоит из четырех основных частей: источника электромагнитного (ЭМ) излучения, пути излучения в атмосфере, объекта и датчика. Под ЭМ энергией понимается энергия в диапазоне длин волн 10^{-10} мкм (космические лучи) до 10^{10} мкм (радиоволны).

Существует три основных источника ЭМ волн: собственное излучение Земли, излучение Солнца и искусственное излучение, отраженные от поверхности Земли. Собственное излучение Земли связано с внутриземным тепловым потоком, геохимическими и биохимическими процессами и состоит из гамма-лучей и теплового излучения.

Энергия первичного источника излучения Солнца распределена по всему ЭМ спектру. При распространении через атмосферу ее интенсивность и спектральное распределение изменяются атмосферой. Затем это излучение взаимодействует с объектом и отражается и/или поглощается им. Отраженная/излученная энергия проходит обратно через атмосферу и опять претерпевает изменения в спектральном распределении и интенсивности, после чего излучение достигает датчика, где оно измеряется и превращается в данные для последующей обработки. Способ отражения и/или поглощения и излучения объектом падающей энергии - это сигнал, который необходимо зарегистрировать и преобразовать в количественную форму представления. Отраженное излучение характеризует отражательную способность объекта, представляемую значениями спектральной плотности энергетической яркости, которую измеряют посредством дистанционного датчика. Получаемые в результате величины переводятся в дискретные цифровые значения, соответствующие характеристикам отражательной способности. В отечественной литературе они называются коэффициентами спектральной яркости или спектральной яркостью (СЯ). Далее будем считать, что форма представления данных ДЗЗ - цифровые данные, пригодные для машинной обработки.

Отраженное от поверхности солнечное излучение регистрируется в ближнем ультрафиолетовом, видимом (0,38-0,72 мкм), ближнем (0,72— 1,3 мкм), среднем (1,3—3 мкм) и дальнем (тепловом, 7,0—15,0 мкм) инфракрасным (ИК) диапазонах спектра с учетом прозрачности атмосферы. Атмосферные явления затрудняют интерпретацию данных излучения в ультрафиолетовой области ЭМ спектра и в диапазоне 3,0—7,0 мкм и фактически ограничивают использование указанных диапазонов для ДЗЗ.

Видимый диапазон занимает небольшую часть ЭМ спектра, представляющего интерес при исследовании поверхности Земли. Обычно для увеличения информативности видимый диапазон разбивается на три зоны:

- синюю (0,4—0,5 мкм);
- зеленую (0,5—0,6 мкм);
- красную (0,6—0,7 мкм).

Это связано с тем, что различные типы подстилающей поверхности (снег, почва, растительность) по-разному "проявляются" в этих зонах. Данные видимого участка спектра полезны для количественной оценки цвета и текстуры изображений объектов. Эти параметры особенно эффективно используются при решении задач определения площадей погибших и поврежденных посевов, содержания хлорофилла в листьях, гумуса в почвах и т. д.

Изображение объектов в ближнем ИК диапазоне мало отличается от видимого. Более того, для многих задач характерно комбинированное использование этих диапазонов.

Для контроля состояния сельскохозяйственных культур в различные периоды их вегетации, оценки качества почв, биологических ресурсов морей и океанов наиболее информативными являются видимый и ближний ИК диапазоны. Именно здесь проявляется поглощающая способность большинства растительных пигментов.

Средний ИК диапазон часто используют при распознавании и идентификации типов поверхности.

Тепловые съемки основаны на регистрации собственного излучения Земли (максимум сосредоточен в диапазоне 8—14 мкм), отраженного солнечного излучения или их суммарного эффекта в среднем и дальнем ИК или микроволновом диапазонах.

Для повышения информативности и достоверности съемок выбор спектральных диапазонов осуществляется с учетом минимизации рассеивающего и трансформирующего эффектов атмосферы. Атмосфера может влиять на данные двумя способами: путем рассеяния и поглощения энергии. Рассеяние имеет место, когда излучение в атмосфере отражается или преломляется молекулами газов, составляющих атмосферу, частицами пыли, водяными каплями. Поглощение включает преобразование энергии падающего излучения в энергию движения молекул атмосферы. Из-за наличия водяного пара в атмосфере имеются узкие полосы сильного поглощения на длине волны 1,4 и 1,9 мкм. Образующие атмосферу газы, водяной пар, озон и аэрозоли сильно искажают сигнал и являются источниками различных помех, поэтому системы ДЗЗ нацелены в так называемые окна прозрачности атмосферы - спектральные области, где излучение проходит с относительно малым ослаблением и которые в основном расположены в видимом и ИК диапазонах:

- 0,3-1,3 мкм;
- 1,5-1,8 мкм;
- 2,0-2,6 мкм;
- 3,0-3,6 мкм;
- 4,2-5,0 мкм;
- 7,0-15,0 мкм.

В системах сбора данных ДЗЗ спектральные диапазоны обычно выбираются из атмосферных окон 1, 2, 3 и 6, так как в этих областях влияние отражения и излучения отчетливо различимы.

РЛС работают в микроволновом радиодиапазоне длин волн от 1 мм до 1 м, при этом наиболее употребительными являются $Ka(0,81,1 \text{ см})$ -, $X(2,4-3,8 \text{ см})$ - и $L(15-30 \text{ см})$ -диапазоны.

Практически все методы ДЗЗ базируются на анализе специфических особенностей объектов отражать, поглощать и излучать ЭМ волны в различных спектральных диапазонах. Изучение характеристик отражательной способности дает теоретическую основу для интерпретации объектов по набору СЯ или их соотношениям. В этой области классическими являются исследования Е.Л. Кринова, разработавшего спектрометрическую классификацию природных образований в видимой области ЭМ, которые затем были продолжены в ИК область. Все многообразие объектов в ландшафте он разделил на четыре класса, каждый из которых отличается своеобразной кривой СЯ:

- 1 класс (горные породы и почвы) характеризуется увеличением СЯ по мере приближения к красной зоне ЭМ спектра.
- 2 класс (растительный покров) отличается характерным максимумом отражательной способности в зеленой, минимумом - в красной и резким увеличением отражения в ближней ИК зонах.
- 3 класс (водные поверхности) характеризуется монотонным уменьшением отражательной способности от сине-зеленой к красной зоне спектра, поскольку волны с увеличением длины сильнее поглощаются водой.
- 4 класс (снеговые поверхности и близкие к ним облака) обладает наиболее высокими значениями СЯ с небольшим понижением в ближней ИК зоне. Понижение резко увеличивается при насыщении снега водой.

Спектральные характеристики растений в основном определяются способностью их листы пропускать, поглощать и отражать солнечное излучение и существенно зависят от длины волны. Наиболее отчетливо характерные особенности отражательной способности растений проявляются при переходе от видимого диапазона спектра к ближней ИК зоне. В видимом диапазоне происходит довольно сильное поглощение с большим максимумом отражательной способности в зеленой части спектра. При этом только небольшая часть солнечной энергии отражается от поверхности листа, которая практически прозрачна для видимого солнечного излучения. Поглощение и отражение происходят в хлорофилле. Хлорофилл поглощает солнечное излучение синей и крас-

нойчастей спектра, а зеленые лучи в основном отражает. Этим объясняется зеленый цвет листы и локальный максимум спектральной кривой в этой зоне. В ближнем ИК диапазоне наблюдается максимум отражательной способности растительности. Величина отражения в основном зависит от вида растительности. Для волн этого диапазона поверхность листа и хлоренхима являются прозрачными. Отражение происходит в другом слое мезофилла - губчатой паренхиме, содержащей вакуоли воздуха, и обусловлено ее внутренней структурой. Важную роль при этом играют число, размер и форма клеток мякоти листа, так как эти параметры определяют суммарную поверхность, на которой происходят процессы рассеяния и отражения лучей. Многократно повторяясь, они порождают сильное результирующее отражение потока солнечного излучения в ближнем ИК диапазоне.

С увеличением длины волны (1,3-2,5 мкм) отражательная способность зеленой растительности опять снижается. Поток солнечной энергии этой части спектра поглощается содержащей воду мягкой тканью листа. При этом имеются два характерных минимума - около 1,43 и 1,93 мкм, совпадающие с аналогичными полосами поглощения для воды. В целом содержание воды в листьях оказывает существенное влияние на конфигурацию кривой спектрального отражения. Чем оно ниже, тем сильнее отражательная способность в видимом диапазоне и тем меньше в ближнем ИК диапазоне.

Рассмотренные особенности спектральных характеристик зеленой растительности проявляются как в отдельном листе, так и в растительных сообществах в целом независимо от их вида. Важно, что при качественном совпадении характеристик различные виды растительности имеют характерные особенности как в положении пика спектра, так и в общей конфигурации кривой спектрального отражения. Эти особенности совместно с другими характеристиками (текстура, цвет и т. д.) позволяют идентифицировать различные виды растений.

Спектральные характеристики растительности, как правило, изменяются в течение вегетационного сезона. При этом различные виды растений имеют свои временные периоды, когда особенности их спектральных образов появляются

наиболее четко. Именно в эти периоды целесообразно использовать данные ДЗЗ для их распознавания.

Растительность является наиболее чувствительной компонентой природных экосистем. На состав, развитие и физиологическое состояние растительности, а, следовательно, и на ее спектральные характеристики сильное влияние оказывают как долговременные природные факторы (климатическая зона, ландшафт, тип почвы и т. п.), так и краткосрочные погодные (осадки, колебания температуры, солнечная радиация и т. п.). Обилие осадков и тепло способствует быстрому росту биомассы, недостаток осадков угнетает ее.

Растения реагируют на изменения внешних условий изменением пигментации, структуры мезофилла, содержания влаги в листьях и т. д. Такая реакция особенно ощутима в экстремальных ситуациях, например, при резком изменении уровня грунтовых вод, засолении или загрязнении почвы, засухе. Недостаток осадков приводит, в частности, к высыханию губчатой паренхимы и уменьшению поставляемой ею влаги для компенсации потерь на дыхание и испарение. Следствием этого будет резкое падение отражательной способности растений в ближней ИК части спектра.

Физиологический стресс у растений приводит также к вырождению хлорофилла. В результате уменьшается поглощение и, соответственно, увеличивается отражение солнечного излучения в синей и красной частях спектра. При этом почти исчезает локальный максимум в зеленой части спектра и растения теряют зеленый цвет. Таким образом, кривая спектрального отражения у растений, находящихся в неблагоприятных условиях, приобретает более плавный вид. А порог изменения отражательной способности, при переходе от красной к ближней ПК зоне спектра, заметно уменьшается.

Указанные выше закономерности лежат в основе методов дистанционной индикации физиологического состояния растительности и раннего распознавания стрессовых ситуаций.

Структура системы дистанционного зондирования. Любая современная система ДЗЗ предусматривает совместное функционирование двух сегментов:

космического (орбитального) и наземного. Упрощенная схема системы ДЗЗ приведена на рис. 1.1.

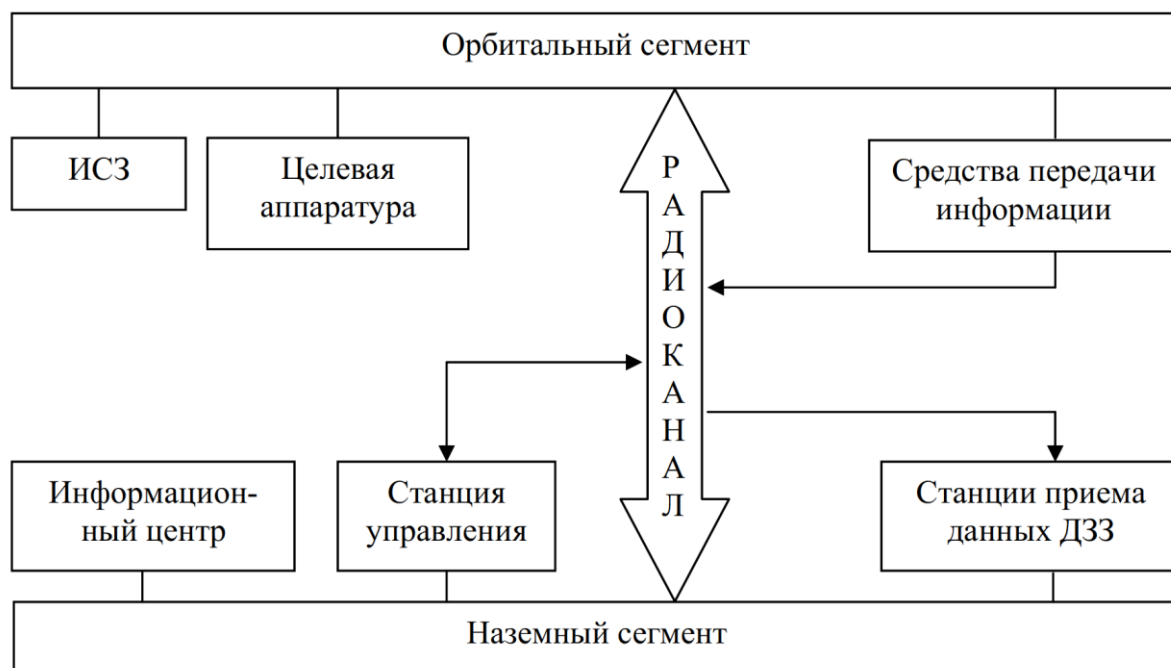


Рисунок 1.1 - Упрощенная схема системы ДЗЗ

Орбитальный сегмент включает собственно базовую платформу с установленной на ней целевой аппаратурой ДЗЗ и бортовые средства передачи информации на Землю по радиоканалу.

Наземный сегмент обеспечивает управление полетом космических спутников, регулирование режимов работы целевой аппаратуры и аппаратуры передачи данных, прием результатов ДЗЗ, их хранение, первичную и тематическую обработку, распространение и продажу продуктов различных уровней обработки, сбор заявок от потребителей.

Наземный сегмент включает следующие структурные элементы:

- центр управления работой орбитального сегмента, объединяющий ряд специальных станций;
- распределенную сеть региональных и локальных приемных станций для сбора данных ДЗЗ;
- информационный центр: центры обработки данных ДЗЗ, централизованные и локальные архивы для хранения и учета данных, службы,

обеспечивающие распространение информационных продуктов и обслуживание потребителей.

Сеть приемных станций располагается таким образом, чтобы обеспечить оперативное получение результатов съемки для как можно большей территории. Это позволяет снизить нагрузку на бортовые запоминающие устройства. Региональные станции приема, как правило, находятся в ведении национальных или международных космических служб, а локальные могут принадлежать организациям или частным лицам. Оборудование региональных станций, кроме приема данных в режиме реального времени, обеспечивает полную разгрузку данных с бортовых запоминающих устройств, их предварительную обработку и архивацию.

В качестве примера современной наземной приемной станции рассмотрим станцию УниСкан, созданную Инженерно-техническим центром «СканЭкс». Одна такая станция позволяет получать оптические данные с разрешением от 1 км до 0,7 м и радиолокационные изображения с разрешением от 100 м до 8 м о территории в радиусе около 2,5 тыс. км. Комплекс УниСкан предназначен для приема и обработки информации, передаваемой с низкоорбитальных ИСЗ по радиоканалам диапазона 8 ГГц с темпом до 170 Мбит/с в одном канале. В настоящее время комплекс УниСкан позволяет принимать и обрабатывать данные со спутников Terra, Aqua, SPOT4, IRS-P5, IRS-P6, Radarsat-1, Envisat-1 и др.

Со станцией поставляется программное обеспечение для управления станцией и приемом данных, ведения электронного архива данных, генерации продуктов-изображений.

Качественно новые возможности удаленного доступа к спутниковым данным появились в связи с развитием сети Интернет. Сегодня практически во всех ведущих центрах функционируют средства оперативного удаленного доступа пользователей к данным ДЗЗ.

Данные, полученные датчиками, необходимо передать в то место, где они будут проанализированы. Когда системы получения данных работают на спут-

никах, находящихся на орбите несколько лет, возможны три способа передачи данных.

Самый простой и широко распространенный способ передачи данных ДЗЗ - непрерывная радиосвязь с принимающими станциями, к которым предъявляются повышенные требования по надежности приема радиосигнала. Наиболее успешный прием данных возможен при расположении приемной станции на линии прямой видимости со спутником и эту линию ничто не должно затенять. Линия прямой видимости должна быть расположена высоко над горизонтом, чтобы свести к минимуму влияние атмосферы. Все эти требования объединяются понятием маскиприемной станции - области поверхности Земли, внутри которой осуществляется прием данных со спутника. Предположим, что поверхность Земли - это сфера с радиусом R , h - высота орбиты спутника и на линии прямой видимости нет препятствий.

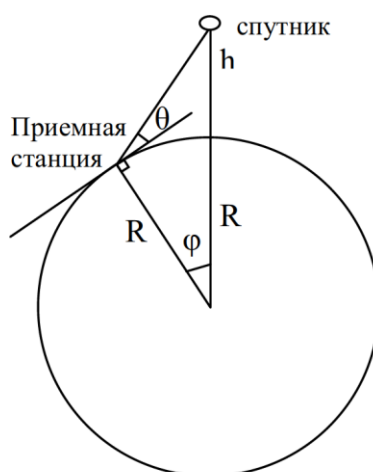


Рисунок 1.2- Схема расположения спутника относительно приемной станции

1.2 Методы съемки и характеристики съемочной аппаратуры.

В настоящее время разработано много различных приборов ДЗЗ. Главное преимущество современных систем ДЗЗ состоит в том, что регистрируемое ЭМ излучение сразу преобразуется в цифровой вид. Такие изображения доступны для компьютерной обработки, их проще размножить и архивировать. Цифровые

системы ДЗЗ позволяют передавать данные в режиме реального времени, что существенно повышает оперативность сбора данных.

Один из главных признаков классификации систем ДЗЗ состоит в подразделении их на пассивные системы (сканирующие оптикоэлектронные), регистрирующие естественное излучение, и активные (радиолокационные, лазерные), сами генерирующие излучение и затем анализирующие его отраженную часть. Лазерные установки (лидары) в основном используются для зондирования атмосферы и океана.

Среди пассивных можно выделить системы, регистрирующие отраженную солнечную радиацию, и системы, регистрирующие тепловое излучение от объектов, температура которых не равна абсолютному нулю. Активные системы могут использовать любой тип излучения, однако на практике любая активная система должна функционировать в одном из спектральных окон прозрачности атмосферы.

Сканирующие оптико-электронные системы появились в середине 70-х годов и к концу 80-х почти полностью вытеснили традиционные фотографические и телевизионные системы. Сегодня они являются основными поставщиками данных ДЗЗ при решении задач природноресурсного и экологического мониторинга.

В оптико-электронных системах излучение попадает на соответствующие датчики, которые генерируют электрический сигнал, зависящий от интенсивности излучения. В качестве одноэлементных датчиков оптико-электронных систем выступают фотоумножители или фотодиоды. Чтобы получить изображение, необходимо соединить большое количество одноэлементных датчиков или сканировать цель одним датчиком. Первый вариант можно реализовать на основе фотодиодов. Устройство такого типа называется прибором с зарядовой связью (ПЗС). Конструктивно ПЗС представляет собой матрицу из идентичных фотодиодных элементов. ПЗС могут быть линейными и плоскими (планарными).

Одноэлементный датчик при формировании изображения вращается для сканирования строки. Для получения изображения с использованием линейного ПЗС линейка, ориентированная поперек направления движения спутника, перемещается вместе с ним, последовательно считывая сигнал, пропорциональный освещенности различных участков поверхности и облаков.

Планарный ПЗС формирует плоское изображение. Необходимо обеспечить достаточное время, чтобы определенное количество фотонов попало на датчик. Если датчик находится в движении относительно цели, то применяется пошаговое формирование изображения, чтобы предотвратить размывание.

Радиолокационные системы в отличие от пассивных систем ведут активное зондирование Земли. Они посылают к земной поверхности в перпендикулярном к полету спутника направлении узконаправленные высокочастотные импульсные пучки ЭМ волн. Отраженные от земной поверхности пучки (радиоэхо) вновь принимаются антенной радара, преобразуются в видеосигнал и записываются в цифровой форме на носитель информации. Интенсивность и характер радиоэха зависят от структуры поверхности и вещественного состава природных объектов. Особенности радиоэха передаются на радиолокационных снимках (РЛС) градиациями тонов и текстурой изображения. Длина волны, используемой в РЛС, определяет вместе с рядом других параметров (угол визирования,

структура поверхности, ее диэлектрические свойства и др.) проникающую способность излучения, которая тем выше, чем больше длина волны. Данные, получаемые в радиодиапазоне, наиболее перспективны для получения сведений о почве и геологических структурах, при изучении водоемов, льдов на суше и воде, в океанологии, при изучении растительности.

К средствам радиолокационного зондирования относят также высотомеры и скаттерометры (измерители характеристик рассеяния). Радиолокационные высотомеры применяют для измерения высотного профиля подстилающей поверхности с точностью 2-8 см, а также для получения информации о форме

морской поверхности, гравитационных аномалиях, высоте волн, скорости ветра, уровнях приливов, скорости поверхностных течений и т. д.

Принцип действия скаттерометров основан на зависимости эффективной площади рассеяния морской поверхности и ее анизотропии от скорости и направления ветра. Основным их назначением является определение синоптического поля ветра, что не требует высокого пространственного разрешения.

К достоинствам радиолокационных систем относится следующее:

- Результаты радарной съемки не зависят от погоды и естественной освещенности, поэтому они незаменимы там, где облачный покров постоянно или продолжительное время препятствует съемкам другими методами.
- Возможность получения изображения земной поверхности, скрытой растительностью.
- Возможность определения диэлектрических свойств поверхностного слоя.

Для ДЗЗ чаще всего используются радары бокового обзора с реальной апертурой антенны (SLR) и радары с синтезированной апертурой (SAR). SLR-системы в основном используют на авиационных платформах, так как азимутальное разрешение зависит от высоты, на которой работает такая система, поэтому разрешение спутниковых SLR низкое.

Для улучшения азимутального разрешения нужно применять антенну большей длины. Вместо физического удлинения антенны SAR-системы используют движение платформы. В течение некоторого интервала времени T антенна проходит расстояние vT , где v - скорость платформы. Если за это время на антенну поступил сигнал, то это равноценно приему сигнала антенной длиной vT . Эта идея и называется синтезированной апертурой. Таким образом, более высокое азимутальное разрешение достигается за счет когерентной обработки отраженных сигналов, принимаемых по мере движения спутника. Все современные космические РЛС - это SAR-системы.

Сдерживающими факторами развития РЛС были габариты, сложность и высокая стоимость. С 90-х годов прошлого века наблюдается повышение интереса

к разработке и использованию радиолокационных методов. К наиболее известным космическим системам, оснащенным радиолокационной аппаратурой ДЗЗ, относятся ERS, Envisat(Европа), Alos(Япония), Radarsat(Канада) и др.

Характеристики съемочной аппаратуры

Важнейшими характеристиками съемочной аппаратуры и формируемого изображения являются:

- пространственное разрешение;
- радиометрическое разрешение (РР);
- спектральное разрешение;
- временное разрешение (ВР).

Основными геометрическими характеристиками получаемых изображений являются пространственное разрешение и ширина полосы обзора.

Пространственное разрешение(РР) определяет линейные размеры минимально регистрируемого элемента (пикселя) изображения, т. е. представляет собой минимальную линейную величину изобразившегося объекта местности, зафиксированного пикселем.

РР зависит от длины волны принимаемого излучения λ , высоты орбиты космического аппарата H , диаметра объектива D (в случае радиолокационного наблюдения - апертуры антенны): $R \sim \lambda H / D$.

РР снимков, получаемых оптико-электронными сканерами, вычисляется по формуле: $R \sim \lambda H / f$,

где w - линейный размер датчика;

H - высота орбиты;

f - фокусное расстояние оптической системы.

Объекты, меньшие размера пикселя, например, дороги, могут быть выделены на изображении, если они контрастируют с фоном. С другой стороны, объекты, сопоставимые по размеру с пикселем или крупнее, не могут быть выделены, если рядом находятся более яркие или доминирующие объекты.

Чем выше ПР, тем меньше его числовое значение. Например, пространственное разрешение в 79 м является более грубым, чем ПР в 10 м. Различают системы:

- низкого ($R > 1$ км);
- среднего ($100 \text{ м} < R < 1 \text{ км}$);
- высокого ($R < 100 \text{ м}$) пространственного разрешения.

Границы показателей ПР в указанной градации в настоящее время имеют тенденцию к уменьшению. Так, к КС среднего ПР относят снимки с разрешением от 20-30 м до 500 м, к КС высокого ПР - снимки с разрешением менее 20 м. Выделяют также снимки сверхвысокого разрешения (ПР менее 2 м).

Низкое ПР не всегда является недостатком. Такие системы обычно характеризуются широкой полосой обзора, непрерывностью сбора информации и малым временным циклом повторной съемки. КС низкого ПР значительно дешевле, поэтому при мониторинге больших территорий их использование может быть более предпочтительным.

Ширина полосы обзора зависит от высоты спутника и максимального отклонения луча зрения камеры от направления в надиr. Как правило, чем шире полоса обзора, тем ниже пространственное разрешение.

Радиометрическое разрешение цифровых КС определяется шириной динамического диапазона используемого датчика, т. е. количеством уровней дискретизации, соответствующих переходу от яркости абсолютно черного к абсолютно белому цвету. ПР указывается числом бит. ПР 8 бит соответствует 256 уровням градации яркости. Для обнаружения элементарного объекта должно выполняться условие: $I_{об} S / R^2 > m$, где $I_{об}$ - яркость объекта;

S- его площадь;

R- пространственное разрешение;

AI- радиометрическое разрешение.

Спектральное разрешение соответствует количеству диапазонов ЭМ спектра и размеру зон съемки, регистрируемых съемочной аппаратурой. В зависимости от количества спектральных диапазонов, в которых регистрируется изображе-

ние, съемочная аппаратура и, соответственно, КС, получаемые с ее помощью, делятся на:

- монохроматические (однозональные, интегральные или панхроматические);
- мультиспектральные (от 2 до 10 регистрируемых диапазонов);
- гиперспектральные (может быть более 100 зон).

Панхроматические снимки используют одну более или менее широкую зону спектра и обычно имеют более высокое ПР. Многозональные включают несколько зональных снимков, одновременно регистрируемых в разных узких участках ЭМ спектра. Требуемое количество диапазонов обеспечивается применением фильтров, призм, дифракционных решеток. Гиперспектральные используют более узкие зоны.

Мультиспектральные (многозональные) КС позволяют идентифицировать объекты с уникальными спектральными характеристиками, поэтому их использование более предпочтительно, т. к. характерные особенности природных объектов разных классов наиболее четко проявляются в разных участках ЭМ спектра. При тематических исследованиях следует выбирать тот диапазон, который наиболее обособляет изучаемый объект. Для отображения многозональных КС используют различные комбинации зон, подчеркивающие те или иные особенности объектов. Поскольку такие изображения, в основном, предназначены для визуализации на экране дисплея в палитре RGB, то комбинации строят с использованием трех зон, порядок которых соответствует красной, зеленой и синей цветовым пушкам монитора, а процесс называют синтезированием. Обычно используют три стандартных комбинации зон:

- красная, зеленая и синяя зоны создают композицию истинного цвета, в которой объекты выглядят так, как они должны были бы восприниматься невооруженным глазом.
- ближняя ИК, красная и зеленая зоны создают композицию ложного цвета;
- средняя ИК, ближняя ИК и зеленая зоны создают композицию псевдоцвета, позволяющую подчеркнуть цветом различия объектов, что удобно для визуального дешифрирования снимков.

Временное разрешение определяет, как часто датчик получает изображение определенной области на поверхности Земли. ВР является важным при изучении и обнаружении изменений поверхности и зависит от высоты орбиты, ширины полосы обзора, количества спутников, одновременно находящихся на орбите. Landsat имеет ВР 16 дней, SPOT- 1 день, NOAA- несколько часов. Некоторые космические системы оснащены специальными устройствами, позволяющими отклонять аппаратуру ДЗЗ от направления в нади́р и проводить боковую съемку под углом к трассе пролета. В результате можно не только сократить периодичность повторной съемки заданного района земной поверхности, но и расширить суммарную полосу обзора.

1.3 Оптико-электронные системы

Метеорологическая система на базе полярно-орбитальных КА серии NOAA(США) используется Национальным управлением по исследованию океана и атмосферы (NOAA- National Oceanic and Atmospheric Administration) при решении задач, связанных с прогнозированием погоды, а также для получения информации в интересах сельского и лесного хозяйства, климатологии и океанологии, мониторинга состояния окружающей среды, при изучении околоземного космического пространства, озонового слоя и содержания аэрозолей в атмосфере, при съемке снежного и ледового покровов Земли.

Первые метеорологические космические аппараты (КА) по программе NOAA, известные также под названием TIROS (Television and Infrared Observation Satellite), запускались в интересах NASA и министерства обороны США в период с 1960 по 1965 гг. Следующими сериями запускаемых спутников были TOS, ITOS, T1ROS-N, ATN. По состоянию на 2009 г. на орбите находились КА NOAA-15(K), 16(L), 17(M), 18(N), NOAA-N-PR1ME (19).

КА NOAA были выведены на низкие приполярные солнечно-синхронные орбиты и позволяют осуществлять съемку всей поверхности Земли, включая районы с полярными широтами. Спутники NOAA оснащены приборами AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), обеспечивающими непрерывные ря-

ды наблюдений в видимом и НК диапазонах ЭМ спектра. В настоящее время на спутниках NOAA устанавливается усовершенствованный радиометр AVHRR/3. Получаемые данные имеют следующие характеристики:

- рабочие диапазоны: 0,58-0,68 мкм; 0,725-1,1 мкм; 3,55-3,93 мкм; 10,3-11,3 мкм; 11,4-12,4 мкм;
- ПР в надире 1,1 км;
- повторяемость съемки одной и той же территории - один раз в сутки;
- РР 1024 уровня;
- ширина полосы обзора около 2600 км;
- поворот камеры - 55,4°.

Данные ДЗЗ, предоставляемые системой NOAA, согласно концепции Всемирной метеорологической организации можно принимать на некоммерческой основе всем пользователям, имеющим персональные станции приема спутниковой информации ДЗЗ.

Под руководством Министерства обороны США, NASA и NOAA разрабатывается Национальная спутниковая система США по наблюдению за окружающей средой NPOESS (National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System). Спутники серии NPOESS придут на смену спутникам серии Landsat. Система NPOESS должна объединить военную и гражданскую программы США в единую систему, что поможет улучшить прогнозы погоды и предсказания изменения климата, а также повысит оперативность оповещения об угрозе стихийных бедствий.

IKONOS (США)

Таблица 1.1- Характеристики системы IKONOS (США)

Дата запуска	24 сентября 1999 г.
Оператор	DigitalGlobe (США)
Масса, кг	728
Орбита	солнечно-синхронная, 680 км, 98,1 град.

Расчетный срок функционирования, лет	7 лет (фактический 15 лет)
Режим съемки	моно и стерео съемка
Пространственное разрешение (в надири), м	0.82 (панхроматический); 3.2 (VI, NIR)
Радиометрическое разрешение, бит на пиксел	11
Ширина полосы съемки, км	11,3
Периодичность съемки, сутки	1 раз в 3 суток
Возможность получения стереопары	+
Формат поставляемых данных	GeoTIFF

Таблица 1.2 - Спектральные характеристики системы IKONOS (США)

Номер канала	Спектральный диапазон, мкм	Спектральное разрешение, мкм
Панхроматический	0,45-0,90	0,45
Голубой	0,45-0,52	0,07
Зеленый	0,52-0,60	0,08
Красный	0,63-0,70	0,07
Ближний инфракрасный	0,76-0,85	0,09

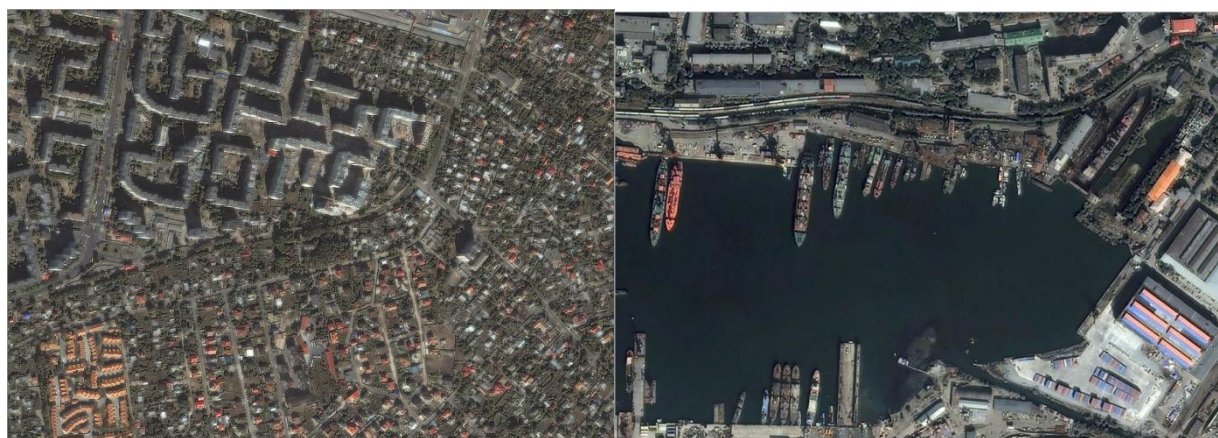


Рисунок 1.3 - Примеры изображений данных спутника IKONOS

Область применения:

- создание и обновление топографических и специальных карт и планов вплоть до масштаба 1:10 000;
- создание цифровых моделей рельефа с точностью 1–2 м по высоте;
- выполнение лесоустроительных работ, инвентаризация и оценка состояния лесов;
- обновление топографической подосновы для разработки проектов генеральных планов перспективного развития городов, схем территориального планирования муниципальных районов;
- инвентаризация и мониторинг состояния транспортных, энергетических, информационных коммуникаций;
- широкий круг задач в области охраны окружающей среды.

Deimos-1 (Испания)

Таблица 1.3 - Характеристики системы Deimos-1 (Испания)

Дата запуска	29 июля 2009 г.
Оператор	Airbus Defence and Space (Франция)
Масса, кг	91
Орбита	солнечно-синхронная, 620 км, 97,9 град.
Расчетный срок функционирования, лет	5 лет
Режим съемки	Моно съемка
Пространственное разрешение (в надире), м	22
Радиометрическое разрешение, бит на пиксел	10
Ширина полосы съемки, км	от 80 до 600
Периодичность съемки, сутки	1 раз в 3 суток
Возможность получения стереопары	-

Формат поставляемых данных	GeoTIFF
----------------------------	---------

Таблица 1.4 - Спектральные характеристики системы Deimos-1 (Испания)

Номер канала	Спектральный диапазон, мкм	Спектральное разрешение, мкм
Зеленый	0,52-0,60	0,08
Красный	0,63-0,69	0,06
Ближний инфракрасный	0,77-0,90	0,13

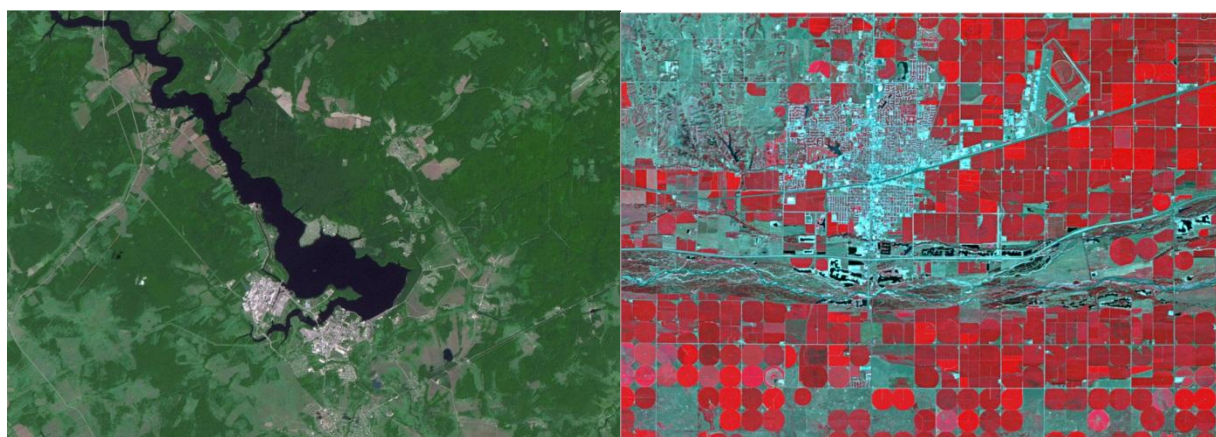


Рисунок 1.4 - Примеры изображений данных спутника Deimos-1

Область применения:

- составление и обновление топографических карт;
- контроль загрязнения окружающей среды;
- инвентаризация лесных ресурсов и сельскохозяйственных угодий;
- информационное обеспечение рационального природопользования и хозяйственной деятельности;
- оперативная съемка районов чрезвычайных ситуаций.

Метеор-М №1 (Россия)

Таблица 1.5 - Характеристики системы Метеор-М №1 (Россия)

Дата запуска	17 сентября 2009 г.
Оператор	НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы» (Россия)
Масса, кг	2900 кг
Орбита	Солнечно-синхронная, 832 км, 98,8 град
Расчетный срок функционирования, лет	5 лет
Режим съемки	Мультиспектральный
Пространственное разрешение (в надире), м	54
Радиометрическое разрешение, бит на пиксел	116
Ширина полосы съемки, км	473, 943
Периодичность съемки, сутки	1 раз в 3 суток
Возможность получения стереопары	-
Формат поставляемых данных	GeoTIFF

Таблица 1.6 - Спектральные характеристики системы Метеор-М №1 (Россия)

Номер канала	Спектральный диапазон	Спектральное разрешение, мкм

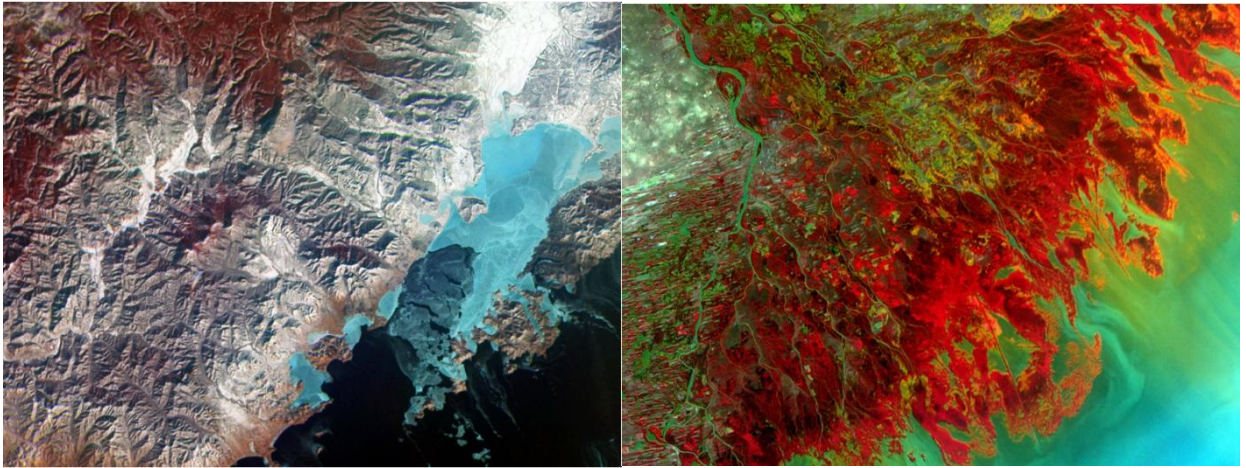


Рисунок 1.5 - Примеры изображений данных спутника Метеор-М №1

Область применения:

- анализ и прогноз погоды в региональном и глобальном масштабах;
- анализ и прогноз состояния акватории морей и океанов, включая контроль ледовой обстановки;
- анализ и прогноз условий для полета авиации;
- анализ и прогноз гелиогеофизической обстановки в околоземном космическом пространстве (ОКП), состояния ионосферы и магнитного поля Земли;
- мониторинг климата и глобальных изменений;
- контроль чрезвычайных ситуаций;
- экологический мониторинг окружающей среды.

Landsat

Система дистанционного зондирования Landsat создавалась специально для природно-ресурсного мониторинга. Первые три КА Landsat-1, 2, 3, известные так же под названием ERTS (Earth Resources Technology Satellites), были оснащены телевизионными камерами RBV (Return Beam Vidicon Camera) и мультиспектральным сканирующим устройством MSS. Особенностью КА второго поколения Landsat-4, 5 явилась замена телевизионной камеры на оптикоэлектронную камеру ТМ и модернизация сканера MSS. Landsat-5 функционирует в настоящее время. Камера ТМ позволяет формировать изображение в семи участках ЭМ спектра с ПР 30 м в видимом и ПК диапазонах, 120 м в тепловом ПК диапазоне,

РР 8 бит, ширина полосы обзора 185 км. Запуск шестого спутника был неудачен.

КАLandsat-7 был выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 705 км. Установленная на спутнике Landsat-7 съемочная аппаратура ETM+ (Enhanced-ThematicMapperPlus - усовершенствованный тематический картограф), обеспечивает съемку земной поверхности в шести каналах с РР 30 м, в тепловом ПК канале с РР 60 м и панхроматическую съемку с РР 15 м. Ширина полосы обзора для всех каналов составляет около 185 км. Периодичность съемки 16 дней, РР 8 бит. В настоящее время, из-за сбоев в работе аппаратуры, космическая съемка на заказ со спутника Landsat-7 не ведется. Однако обширные накопленные архивные данные распространяются практически бесплатно и могут быть использованы при изучении динамики земной поверхности.

Для идентификации и упорядочения снимков Landsatвведена мировая координатная система, которая носит название "Всемирная система координат" и представляет собой сетку, образуемую пересечением «проходов» (совокупность сцен вдоль трассы полетов, Row,) и «рядов» (совокупность сцен, выстроенных поперек соседних трасс на одной географической широте, Path). Запись числа Pathувеличивается с востока на запад, беря начало с Path= 1 и заканчивая Path= 233. Запись числа Rowувеличивается с севера на юг, а Row= 60 совпадает с экватором. Запись дат происходит в формате Месяц/Число/Год.

На рисунке 1.7 приведены области применения данных, получаемых со спутников Landsatв различных спектральных диапазонах.

На борту космического аппарата установлены многоканальный сканирующий радиометр OLI (OperationalLandImager), позволяющий получать изображения земной поверхности с максимальным разрешением 15 м с использованием усовершенствованных технологийкосмической съемки, и сканирующий двухканальный ИК-радиометр TIRS (ThermalInfraredSensor), который предназначен для получения «теплого изображения земной поверхности с разрешением 100 м, и преобразованного к разрешению как у остальных каналов - 30 м.

Таблица 1.7 - Спектральные характеристики систем Landsat

Landsat-1-4		
Каналы	Спектральные диапазоны, мкм	Применение
1	0,50 – 0,60	Картографирование растительности, водных объектов.
2	0,60 – 0,70	Картографирование типов растительности, определение границ почвенных и геологических контуров
3	0,70 – 0,80	Используется для оценки биомассы растительности и в приложениях, связанных с сельским хозяйством
4	0,80 – 1,10	Картографирование растительности
Landsat-5, 7		
1	0,45 – 0,52	Полезен для картографирования прибрежных водных поверхностей (изучение подводной растительности, мутности воды, водных осадков и загрязнения воды), дифференциации между почвой и растительностью, типами леса. Наиболее чувствителен к атмосферным газам. Полезен для выявления дымовых факелов. Хорошо отличает облака от снега и горных пород
2	0,52 – 0,60	Канал соответствует зеленой части спектра здоровой растительности, полезен при классификации различных объектов, в том числе растительности
3	0,63 – 0,69	Один из наиболее важных каналов для картографирования типов растительности, а так же для определения границ почвенных и геологических контуров
4	0,76 – 0,90	Используется для оценки биомассы растительности, определения породного состава растительного покрова, в ряде приложений связанных с сельским хозяйством
5	1,55 – 1,75	Позволяет детектировать количество воды в растениях, что полезно при оценке урожая и при проведении анализа состояния растительности. Позволяет проклассифицировать пиксели между облаками, снегом, льдом
6	10,40 – 12,50	Канал, позволяющий проводить определение термального загрязнения и геотермальной активности. Подходит для анализа влажности почв, типов горных пород.
7	2,08 – 2,35	Используется для определения типов геологических структур и почвенных границ, а так же содержания влаги в растительности и почве
8 (Landsat-7)	(2,3,4,5,7 каналы)	Наиболее типичная комбинация каналов, используемая в ДЗЗ для анализа растительности, зерновых культур, землепользования и водно-болотных угодий

1.6 Радиолокационные системы

ENVISAT

Таблица 1.8 - Характеристики системы ENVISAT

Дата запуска	1 марта 2002 г.
Оператор	EuropeanSpaceAgency (Евросоюз)
Масса, кг	8211
Орбита	солнечно-синхронная, 790
Расчетный срок функционирования, лет	5 лет (фактический 10 лет 1 мес.)
Режим съемки	7 режимов съемки
Пространственное разрешение (в надире), м	от 30 до 1000 в зависимости от режима съемки
Радиометрическое разрешение, бит на пиксел	
Ширина полосы съемки, км	от 5 до 400 в зависимости от режима съемки
Периодичность съемки, сутки	от 1 до 3 суток в зависимости от режима и типа съемки
Возможность получения стереопары	при съемке на разных витках

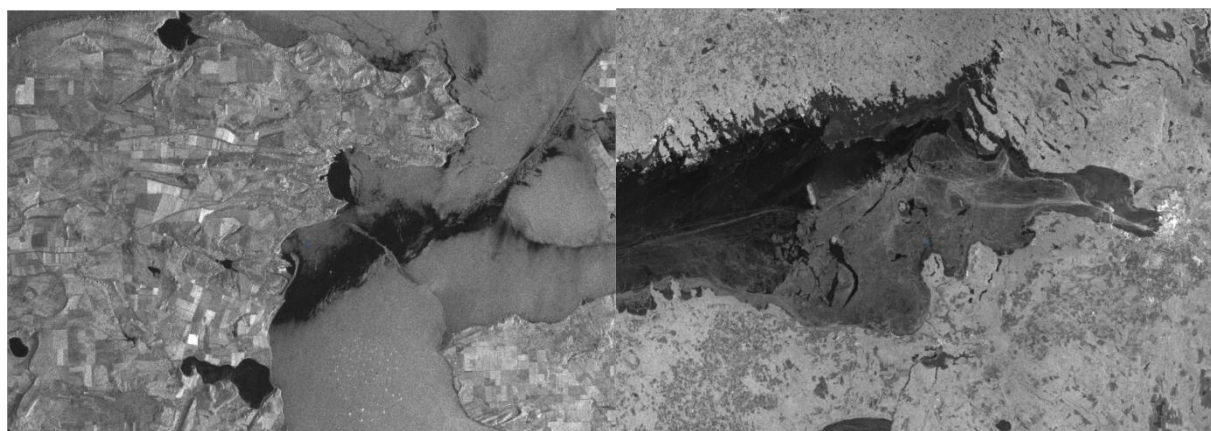


Рисунок 1.7 - Примеры изображений данных спутника ENVISAT

Область применения:

Программа ENVISAT осуществлялась Европейским Космическим Агентством (European Space Agency – ESA) и была направлена на исследование и мониторинг земной поверхности, атмосферы, океанов и ледового покрова. Название программы само говорит о ее предназначении: ENViroment – природная среда, SATellite – искусственный спутник. В соответствии с глобальной миссией изучения Земли на борту КА ENVISAT было установлено 10 различных приборов, работавших в широком диапазоне волн электромагнитного спектра: от микроволновых до ультрафиолетовых. В том числе, ENVISAT был оснащен радиолокатором бокового обзора с синтезированной апертурой ASAR, позволявшим получать данные с пространственным разрешением от 30 м до 1 км в полосе съемки шириной от 5 до 400 км вне зависимости от облачности и условий освещенности. Съемка выполнялась в С-диапазоне длин волн (5.6 см).

В марте 2007 г. компания «СКАНЭКС» подписала лицензионное соглашение с итальянской компанией Eurimage S.p.A. на прямой прием радиолокационных данных ENVISAT на станции в Москве и Магадане и их коммерческое распространение. В настоящее время доступны архивные данные ENVISAT.

ALOS-2 (Япония)

Таблица 1.9 - Характеристики системы ALOS-2 (Япония)

Дата запуска	
Оператор	JAXA (Япония)
Масса, кг	24 мая 2014 г.
Орбита	солнечно-синхронная, 628
Расчетный срок функционирования, лет	
Режим съемки	9 режимов съемки
Пространственное разрешение (в надири), м	от 1 до 100 в зависимости от режима съемки

Радиометрическое разрешение, бит на пиксел	
Ширина полосы съемки, км	от 25 до 490 в зависимости от режима съемки
Периодичность съемки, сутки	1 раз в 1-6 суток в зависимости от режима и типа съемки
Возможность получения стереопары	при съемке на разных витках

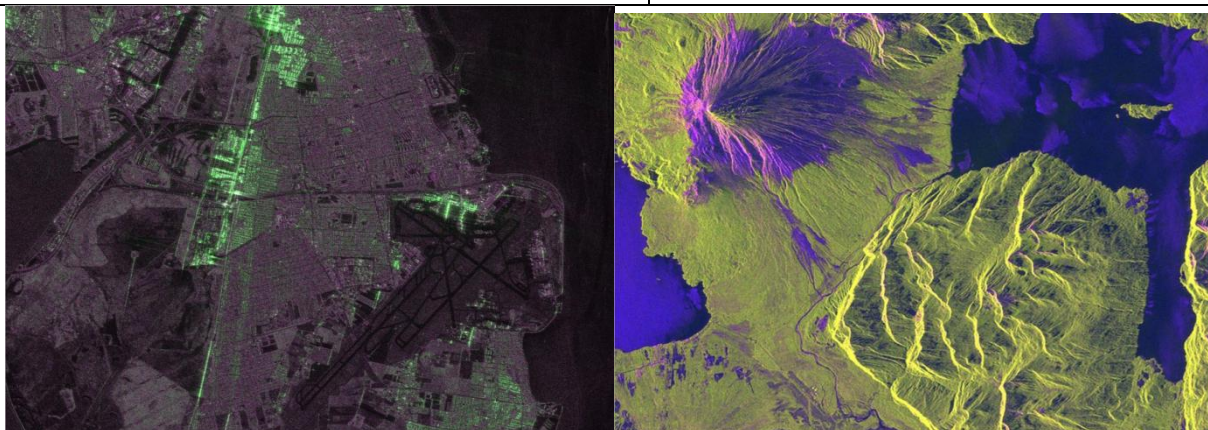


Рисунок 1.8 - Примеры изображений данных спутника ALOS-2

Область применения:

На спутнике ALOS-2 установлен радар с синтезированной апертурой PALSAR-2 (PhasedArray L-bandSyntheticApertureRadar), который способен снимать вне зависимости от погодных условий и при любой освещенности в L-диапазоне (рабочая частота 1.27 ГГц) с пространственным разрешением от 1 м до 100 м.

ALOS-2 продолжает миссию программы ALOS, отличаясь от своего предшественника увеличенной полосой захвата и улучшенным пространственным разрешением. На сегодняшний день это единственная радарная система с коммерчески доступными данными L-диапазона, которые имеют преимущества перед данными других диапазонов при решении ряда тематических задач.

Выводы

Один из главных признаков классификации систем ДЗЗ состоит в подразделении их на пассивные системы (сканирующие оптико-электронные), регистрирующие естественное излучение, и активные(радиолокационные, лазерные),

сами генерирующие излучение и затем анализирующие его отраженную часть. К достоинствам радиолокационных систем относительно оптико-электронных относится следующее:

- Результаты радарной съемки не зависят от погоды и естественной освещенности, поэтому они незаменимы там, где облачный покров постоянно или продолжительное время препятствует съемкам другими методами.
- Возможность получения изображения земной поверхности, скрытой растительностью.
- Возможность определения диэлектрических свойств поверхностного слоя.

Важнейшими характеристиками съемочной аппаратуры и формируемого изображения являются:

- пространственное разрешение;
- радиометрическое разрешение (РР);
- спектральное разрешение;
- временное разрешение (ВР).

Основными геометрическими характеристиками получаемых изображений являются пространственное разрешение и ширина полосы обзора.

Пространственное разрешение (ПР) определяет линейные размеры минимально регистрируемого элемента (пикселя) изображения, т. е. представляет собой минимальную линейную величину изобразившегося объекта местности, зафиксированного пикселем.

Ширина полосы обзора зависит от высоты спутника и максимального отклонения луча зрения камеры от направления в надир. Как правило, чем шире полоса обзора, тем ниже пространственное разрешение.

Радиометрическое разрешение цифровых КС определяется шириной динамического диапазона используемого датчика, т. е. количеством уровней дискретизации, соответствующих переходу от яркости абсолютно черного к абсо-

лютно белому цвету. PP указывается числом бит. PP 8 бит соответствует 256 уровням градации яркости.

Спектральное разрешение соответствует количеству диапазонов ЭМ спектра и размеру зон съемки, регистрируемых съемочной аппаратурой.

Отраженное от поверхности солнечное излучение регистрируется в ближнем ультрафиолетовом, видимом (0,38-0,72 мкм), ближнем (0,72— 1,3 мкм), среднем (1,3—3 мкм) и дальнем (тепловом, 7,0—15,0 мкм) инфракрасным (ИК) диапазонах спектра с учетом прозрачности атмосферы. Атмосферные явления затрудняют интерпретацию данных излучения в ультрафиолетовой области ЭМ спектра и в диапазоне 3,0—7,0 мкм и фактически ограничивают использование указанных диапазонов для ДЗЗ.

Видимый диапазон занимает небольшую часть ЭМ спектра, представляющего интерес при исследовании поверхности Земли. Обычно для увеличения информативности видимый диапазон разбивается на три зоны:

- синюю (0,4—0,5 мкм);
- зеленую (0,5—0,6 мкм);
- красную (0,6—0,7 мкм).

Это связано с тем, что различные типы подстилающей поверхности (снег, почва, растительность) по-разному "проявляются" в этих зонах. Данные видимого участка спектра полезны для количественной оценки цвета и текстуры изображений объектов.

Изображение объектов в ближнем ИК диапазоне мало отличается от видимого. Более того, для многих задач характерно комбинированное использование этих диапазонов.

Средний ИК диапазон часто используют при распознавании и идентификации типов поверхности.

Для отображения многозональных КС используют различные комбинации зон, подчеркивающие те или иные особенности объектов. Поскольку такие изображения, в основном, предназначены для визуализации на экране дисплея в палитре RGB, то комбинации строят с использованием трех зон, порядок кото-

рых соответствует красной, зеленой и синей цветовым пушкам монитора, а процесс называют синтезированием. Обычно используют три стандартных комбинации зон:

- красная, зеленая и синяя зоны создают композицию истинного цвета, в которой объекты выглядят так, как они должны были бы восприниматься невооруженным глазом.
- ближняя ИК, красная и зеленая зоны создают композицию ложного цвета;
- средняя ИК, ближняя ИК и зеленая зоны создают композицию псевдоцвета, позволяющую подчеркнуть цветом различия объектов, что удобно для визуального дешифрирования снимков.

Временное разрешение определяет, как часто датчик получает изображение определенной области на поверхности Земли. ВР является важным при изучении и обнаружении изменений поверхности и зависит от высоты орбиты, ширины полосы обзора, количества спутников, одновременно находящихся на орбите. LandSat имеет ВР 16 дней, SPOT- 1 день, NOAA- несколько часов.

Для разрабатываемой методики лучше всего подходят данные системы LandSat. Поскольку данная система имеет многолетнюю и наибольшую базу данных, доступ к которой предоставляется бесплатно.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

2.1 Формат данных и предварительная обработка

Обработка данных ДЗЗ включает предварительную обработку и улучшение изображений. В процессе предварительной обработки изображения из данных удаляются систематические радиометрические и геометрические ошибки. Улучшение изображения позволяет преобразовать его в форму, наиболее удобную для визуального или машинного анализа и используется для того, чтобы подчеркнуть важнейшие признаки изображения и в дальнейшем облегчить задачу интерпретации данных. Для улучшения изображения обычно используют изменение яркости и контрастности, а также пространственную фильтрацию и преобразование Фурье. Обработка данных ДЗЗ является подготовительным этапом перед извлечением из изображения тематической информации.

Обработка изображений - это, как правило, обработка цифровых данных, т. к. именно в этом формате получают данные ДЗЗ в настоящее время. В цифровом формате проще производить обработку и хранение информации. Двумерное изображение в одном спектральном диапазоне можно представить в виде решетки чисел, каждое из которых представляет интенсивность излучения, принятого датчиком от элемента поверхности Земли, которому соответствует один пиксель изображения.

Изображение состоит из $n \times m$ пикселей, каждый пиксель имеет координаты (i, j) - номер строки и номер колонки. Число $I(i, j)$ - целое и называется уровнем серого (или спектральной яркостью) пикселя (i, j) . Если изображение получено в нескольких диапазонах электромагнитного спектра, то его представляет трехмерная решетка, состоящая из чисел $I(i, j, k)$, где k - номер спектрального канала. С математической точки зрения нетрудно обработать цифровые данные, полученные в таком виде.

Для того чтобы правильно воспроизвести изображение по цифровым записям, поставляемым пунктами приема информации, необходимо знать формат

записи (структуру данных), а также число строк и столбцов. Используют четыре формата, которые упорядочивают данные как:

- последовательность зон (BandSequential, BSQ);
- зоны, чередующиеся по строкам (Band Interleaved by Line, BIL);
- зоны, чередующиеся по пикселям (BandInterleavedbyPixel, BIP);
- последовательность зон со сжатием информации в файл методом группового кодирования (например, в формате jpg).

В **BSQ-формате** каждый зональный снимок содержится в отдельном файле. Это удобно, когда нет необходимости работать сразу со всеми зонами. Одну зону легко прочитать и визуализировать, зональные снимки можно загружать в любом порядке по желанию.

В **BIL-формате** зональные данные записываются в один файл строка за строкой, при этом зоны чередуются по строкам: 1-ая строка 1-ой зоны, 1-ая строка 2-ой зоны, ..., 2-ая строка 1-ой зоны, 2-ая строка 2-ой зоны и т. д. Такая запись удобна, когда выполняется анализ одновременно всех зон.

В **BIP-формате** зональные значения спектральной яркости каждого пикселя хранятся последовательно: сначала значения первого пикселя в каждой зоне, затем значения второго пикселя в каждой зоне и т. д. Такой формат называют совмещенным. Он удобен при выполнении по-пиксельной обработки многозонального снимка, например, в алгоритмах классификации.

Групповое кодирование используют для уменьшения объема растровой информации. Такие форматы удобны для хранения больших снимков, для работы с ними необходимо иметь средство распаковки данных.

Файлы изображений обычно снабжаются следующей дополнительной информацией, относящейся к снимкам:

описание файла данных (формат, число строк и столбцов, разрешение и т. д.); статистические данные (характеристики распределения яркостей - минимальное, максимальное и среднее значение, дисперсия); данные о картографической проекции.

Дополнительная информация содержится либо в заголовке файла изображения, либо в отдельном текстовом файле с именем, совпадающим с именем файла изображения.

По степени сложности различаются следующие уровни обработки КС, предоставляемых пользователям:

1А- радиометрическая коррекция искажений, вызванных разницей в чувствительности отдельных датчиков.

1В- радиометрическая коррекция на уровне обработки 1Аи геометрическая коррекция систематических искажений сенсора, включая панорамные искажения, искажения, вызванные вращением и кривизной Земли, колебанием высоты орбиты спутника.

2А- коррекция изображения на уровне 1Ви коррекция в соответствии с заданной геометрической проекцией без использования наземных контрольных точек. Для геометрической коррекции используется глобальная цифровая модель рельефа (ЦМР, DEM) сшагом на местности 1 км. Используемая геометрическая коррекция устраняет систематические искажения сенсора и проектирует изображение в стандартную проекцию (UTMWGS-84), с использованием известных параметров (спутниковые эфемеридные данные, пространственное положение и т. д.).

2В- коррекция изображения на уровне 1Ви коррекция в соответствии с заданной геометрической проекцией с использованием контрольных наземных точек;

3 - коррекция изображения на уровне 2Вплюс коррекция с использованием ЦМР местности (ортотрансформирование).

S- коррекция изображения с использованием контрольного изображения.

Методы предварительной обработки. Радиометрическая коррекция имеет дело с варьированием значений яркостей пикселей, которое определяется сбоем или неисправностью детекторов, влиянием рельефа, атмосферными эффектами.

Измерительная аппаратура природоведческих спутников Земли перед запуском тщательно калибруется и проверяется, кроме того, информация со спутни-

ка в течение некоторого времени проходит верификацию. В результате данные ДЗЗ могут быть надежно использованы для решения различных практических задач. За время функционирования спутников на орбите измерительная аппаратура деградирует, поэтому показания датчиков сканеров необходимо подвергать радиометрической коррекции.

Радиометрическая коррекция в оптических и ИК системах производится в два этапа. На первом этапе устанавливается взаимосвязь между значением пикселя и соответствующим физическим параметром излучения, попадающего на датчик. Обычно эту процедуру выполняет внутренний калибратор датчика. Калибровка первого этапа заключается в определении максимального и минимального значения пикселя (значения пикселя устанавливаются 0-255 для 8-битных данных). Таким образом, значение принимаемого излучения преобразуется в значение пикселя. На втором этапе радиометрической коррекции учитываются эффекты распространения, чтобы величина принимаемого излучения трактовалась как излучение исследуемой поверхности. Например, необходимо учитывать процессы рассеяния в атмосфере (атмосферные помехи), корректировать геометрию освещенности. В результате радиометрической коррекции показателей датчиков также устраняются погрешности съемочной системы (смещение строчек и т. д.).

Радиолокационные системы часто калибруются по площади активного сечения обратного отраженного излучения.

Методы радиометрической коррекции показателей датчиков обычно предоставляют разработчики съемочной аппаратуры.

Задача атмосферной коррекции является одной из самых сложных задач обработки данных ДЗЗ. Особенностью ДЗЗ из космоса является то, что излучение от земной поверхности должно пройти через атмосферу прежде, чем будет зафиксировано датчиками, установленными на спутнике. Поэтому данные ДЗЗ включают не только информацию о поверхности Земли, но и о состоянии атмосферы. Для тех, кто занимается количественным анализом поверхностного от-

ражения, устранение влияния атмосферы является важным шагом предварительной обработки.

Как было указано ранее, состояние атмосферы влияет на значения яркости, регистрируемые съемочной системой, двумя способами: путем рассеяния и поглощения энергии. В ДЗЗ при наличии рассеяния часть энергии выходит за пределы поля зрения камеры. Если поле зрения значительное, часть рассеянного излучения все же будет восприниматься датчиком, однако, если поле зрения небольшое, фактически все рассеянное излучение будет теряться. В первом случае происходит усиление сигнала, во втором изображение получается тусклым.

Для устранения влияния состояния атмосферы необходимо знать такие параметры, как количество водяного пара, распределения аэрозолей и видимость сцены. Поскольку прямое измерение этих атмосферных свойств доступно редко, разрабатываются методы их получения из спектральных значений данных. Полученные коэффициенты используются для создания высокоточных моделей атмосферной коррекции, чтобы получить истинные коэффициенты отражения.

Существуют различные алгоритмы выполнения атмосферной коррекции:

- стандартная абсолютная коррекция;
- стандартная относительная коррекция;
- исправления на основе заданных моделей.

Стандартная абсолютная коррекция может выполняться способами эмпирической коррекции линий или вычитания абсолютно темных объектов.

Эмпирическая коррекция линий предусматривает:

- вычисление спектральных характеристик объектов на выбранном участке;
- построение кривых спектрального образа для этих объектов;
- определение истинного значения коэффициента отражения для каждого пикселя.

Недостатком этого способа является отсутствие в большинстве случаев информации об истинных значениях коэффициентов отражения.

Способ вычитания абсолютно темных объектов включает следующие действия:

- нахождение по гистограммам на снимке абсолютно темных объектов (участки тени в видимой части ЭМ спектра, глубокие и чистые водоемы в ближней ПК части спектра);
- присвоение таким объектам значения коэффициента отражения равным нулю. Предполагается, что расхождение значений яркости пикселей темных объектов с нулем связано с влиянием атмосферы;
- вычитание полученной разности от значений яркости каждого пикселя снимка для получения скорректированных значений.

Недостатком способа является возможное появление переисправленных данных.

Стандартная относительная коррекция может выполняться с помощью калибровки по плоской области и внутреннего среднего относительного коэффициента отражения.

Для реализации способа калибровки по плоской области необходимо наличие на изображении плоских участков хода спектральной кривой. Участок спектральной кривой для такой области разбивается на отдельные значения яркости пикселей. Затем значения всех пикселей нормализуются в пределах плоского участка кривой. В результате получают относительные коэффициенты отражения. Недостатком этого способа является то, что он не выполним, если на сцене отсутствуют плоские участки спектральной кривой.

Во втором способе среднее значение отражения изображения делят на значения яркости отдельных пикселей. В результате получают относительные коэффициенты отражения. Недостатком способа является то, что присутствие растительности на изображении уменьшает точность относительных коэффициентов отражения.

Алгоритм исправления на основе заданных моделей позволяет получать более точную информацию из изображений. Для устранения влияния различных

атмосферных явлений (водяного пара, кислорода, углекислого газа, метана, озона, рассеивания молекулами аэрозолей и частицами пыли) используется программа переноса излучений MODTRAN. В MODTRAN реализовано несколько моделей атмосферы (лето в средних широтах, зима в средних широтах) и состава аэрозолей (для сельской местности, города, морских территорий), по которым рассчитывается уникальное решение для каждого снимка.

Для термальных ИК радиометров, измеряющих яркостную температуру излучения, попадающего на датчик, погрешность определения температуры составляет 10 К и более из-за влияния атмосферы на распространение теплового ИК излучения. Для корректировки термального ИК изображения применяют три метода.

В качестве первого метода выступает математическое моделирование с использованием программных комплексов LOWTRAN и MODTRAN. Такие модели можно применять только после получения детальной характеристики атмосферы.

Вторым методом является метод разделенного окна. В этом методе, который широко применяется, яркостные температуры T_{b1} и T_{b2} измеряются в двух разных, но близко расположенных спектрах, например, 11 и 12 мкм. Яркостная температура на исследуемой поверхности определяется по формуле $T_{bo} = a_0 + a_1 T_{1A} + a_2 T_{2A}$. Коэффициенты a_0 , a_1 , a_2 определяются эмпирически и имеют разное значение для ночных и дневных наблюдений. Данный метод характеризуется достаточно высокой точностью, если исследуемая поверхность имеет постоянную излучательную способность. Таким свойством обладает морская поверхность. Применение данного метода при исследовании суши ограничено.

Третий метод называется двойным обзором. Каждая точка обзора измеряется дважды под разными углами, например по надиру и под углом к надиру. Влияние атмосферы при измерении под углом будет больше. В результате сравнения двух полученных яркостных температур можно установить необходимую величину поправки на влияние атмосферы.

Геометрическая коррекция исправляет искажения, определяемые съёмочной системой, а также независимые от съёмочной системы пространственные и масштабные ошибки, происходящие от изменения высоты, скорости полета или пространственного положения съёмочной платформы. Систематические искажения устраняются на станциях приема данных ДЗЗ. Искажения в относительном позиционировании пикселей, причиной которых являются погрешности датчика, проявляются в виде полосчатости и выпадения значений отдельных строк в цифровой записи.

Полосчатость имеет место, когда какой-то из детекторов теряет настройку и записывает значения большие или меньшие, чем другие детекторы в той же зоне съёмки и над той же поверхностью Земли. Для геометрической коррекции данного дефекта используют методы линейной фильтрации, многократную фильтрацию, преобразование главных компонент.

Выпадение строк образуется, когда детектор выходит из строя или временно перенасыщается (эффект вспышки). В результате получается строка или часть строки с более высокими значениями, создающими горизонтальную полосу на изображении. Выпадение строк обычно корректируется заменой искаженной строки значениями из строк выше или ниже данной или созданными на основе их комбинаций (может быть использован медианный фильтр).

К геометрической коррекции также относится установление связи между пространственными координатами каждого пикселя изображения с пространственными координатами на поверхности Земли (координатная привязка, геокодирование). Если данные, получаемые от датчика, содержат сведения о положении и направлении луча датчика в определенный момент времени, то этого бывает достаточно для определения необходимых зависимостей. Также используют контрольные (реперные) точки на поверхности Земли. Процедуру геометрической коррекции в данном случае выполняют для того, чтобы изображение земной поверхности было правильно представлено на плоскости и имело свойства карты.

Процедура геокодирования заключается в построении модели, устанавливающей связь между координатами (x, y) каждой точки изображения и координатами (u, v) соответствующей точки на местности. Математически такие связи обычно описываются полиномиальными уравнениями n -го порядка и $u = f(x, y)$, $v = g(x, y)$. Обычно порядок полиномов не превышает третьей степени, так как применение полиномов более высокого порядка может приводить к чрезмерному увеличению ошибок вычисления, превышающих изначальные величины искажений.

Аффинные (линейные) способы трансформирования используют для выполнения операций параллельного переноса, изменения масштаба, поворота, зеркального отражения или их комбинаций, а также для проектирования исходных изображений в картографическую проекцию и преобразования картографических проекций. Аффинные преобразования выполняют с помощью полиномов первой степени с 6 неизвестными коэффициентами по 3 для каждой координаты: $u = a_0 + a_1x + a_2y$, $v = b_0 + b_1x + b_2y$,

где (x, y) - координаты пикселей до преобразования в исходной системе координат;

(u, v) - координаты пикселей после преобразования.

Нелинейные способы трансформирования изображений позволяют корректировать произвольные искажения изображений (нелинейные, несистематические). Нелинейные способы трансформирования реализуются полиномами 2-ой степени и выше. Полиномы 2-ой степени можно использовать для трансформирования изображений больших по площади территорий с учетом кривизны земной поверхности, в случае искажений данных, вносимых камерой, при преобразовании географических координат в систему координат любой картографической проекции. Полиномы 3-ой степени используют в случаях привязки отсканированных деформированных карт. Полиномы 4-ой степени применяются редко, в основном в случаях сильно искаженных аэрофотоснимков. Основным недостатком полиномиального преобразования проявляется в чрезмерном искривлении линий, резко усиливающимся по мере удаления от опорных точек.

2.2 Методы улучшения изображения

К улучшающим спектральным преобразованиям относят методы, связанные с модификацией контрастности изображения, заключающейся в изменении формы гистограммы изображения посредством изменения значений пикселей. При спектральном преобразовании каждый пиксель изменяется индивидуально, независимо от значений пикселей контекста.

Под контрастом обычно понимают разность максимального и минимального значений яркости. Низкий контраст изображений может быть следствием плохого освещения, излишне большого диапазона сенсора или неверно установленной диафрагмы объектива при съемке. Усиление контраста достигается увеличением динамического диапазона яркостей на обрабатываемом изображении. Гистограмма - это график, показывающий количество пикселей в изображении, имеющих значение спектральной яркости I . Обычно изменение формы гистограммы представляется графиком передаточной функции, который показывает, как значение выходного пикселя зависит от значения входного пикселя.

В качестве примера этого метода служит широко применяемая модификация контрастности, которая называется выравниванием (линеаризацией или эквализацией) гистограммы. Целью такого преобразования является получение пологой гистограммы, в которой значения пикселей появляются с равной частотой. Для упрощения допустим, что $n_1 = n_2 = \dots$ и $N_1 = N_2 = N$

В каждом конкретном случае выбирают ту процедуру преобразования гистограмм, которая приводит к наилучшему, с точки зрения пользователя, результату.

Пространственная фильтрация является локальной или попиксельной операцией, т. е. изменяет значение каждого пикселя в наборе данных согласно значениям соседних пикселей.

Пространственная фильтрация используется при обработке растровых изображений для:

- выделения границ;
- подавления шумов;

- подчеркивания структурных особенностей снимка и т. д.

Базовой операцией пространственной фильтрации является анализ информации в пределах скользящего по изображению окна, представляющего из себя матрицу размером 3×3 , 5×5 и т. д. Операция применяется к пикселю, находящемуся в центре окна. Его значение пересчитывается в зависимости от значений окружающих ближайших соседей. Затем окно сдвигается на 1 пиксель вдоль строки до достижения конца, затем сдвигается на одну строку. В математике такая операция известна как двумерная свертка. Скользящее окно называется матрицей, маской, ядром свертки или фильтром. Значения элементов матрицы принято называть коэффициентами.

Важным вопросом при реализации пространственной фильтрации по окрестности является рассмотрение ситуации, когда фильтр приближается к границам изображения. Рассмотрим маску размером $n \times n$. Когда эта маска находится на расстоянии $(n-1) / 2$ элемента от границы изображения, то, как минимум, одна сторона маски будет находиться на его краю. Если же центр маски приближается к границе, то одна или несколько строк или столбцов маски будут находиться вне изображения. Единственный способ получить достоверный результат фильтрации сводится к тому, чтобы ограничить перемещение центра маски - не ближе, чем $(n-1) / 2$ элементов от края. Результирующее изображение после фильтрации будет по размерам меньше оригинала, зато все его точки будут обработаны полной маской.

Пространственные фильтры работают путем удаления некоторых спектральных или пространственных частот для выделения специфических особенностей и улучшения изображения. При цифровой обработке изображений операция свертки реализует разные приемы фильтрации яркости изображения, которая представляет собой процесс взвешенного усреднения значений пикселей в некотором окне.

Пространственные улучшения имеют дело с так называемой пространственной частотой, представляющей собой разницу между наивысшим и наиболее низким значениями яркостей смежных наборов пикселей. Простран-

ственная частота определяет величину изменения значений яркости данных на единицу расстояния на любой части изображения. Резкое изменение яркости на участке в несколько пикселей рассматривается как высокая частота, плавное изменение яркости на достаточно большом участке - как низкая частота. Соответствующие участки называют областями высокой и низкой частоты. К области с низкой частотой можно отнести изображение гладкой поверхности озера. Области с городской застройкой с дорожными сетями являются областями высокой пространственной частоты. Нулевая пространственная частота соответствует однородному изображению, в котором яркости всех пикселей имеют одинаковое значение.

Реальные изображения состоят из участков с разной пространственной частотой. Методы фильтрации направлены на такие преобразования изображения, чтобы объекты были четко различимы глазом.

Пространственные фильтры могут быть разделены на три категории:

- фильтры низкой частоты - подчеркивают детали низкой частоты, чтобы сгладить шум и уменьшить ступенчатость изображения (сглаживающие, усредняющие фильтры);
- фильтры высокой частоты - подчеркивают детали высокой частоты, выделяют и подчеркивают линейные особенности - дороги, границы земля/вода, увеличивают детализацию без воздействия на элементы низкой частоты (фильтры резкости);
- фильтры подчеркивания границ - подчеркивают границы, окружающие объекты изображения, чтобы сделать их более различимыми. Результатом является изображение с серым тоном и черно-белыми линиями, окружающими границы объектов на изображении.

Наиболее часто в программных пакетах используются фильтры: среднеарифметический, медианный, адаптивный, модальный, высокочастотный, лапласиан, оператор Собеля и др.

Сглаживающие фильтры применяются для расфокусировки изображения и подавления шумов. Расфокусировка может быть использована как предвари-

тельный шаг обработки изображения для удаления мелких деталей перед обнаружением больших объектов или для устранения разрывов в линиях. Для подавления шумов может применяться расфокусировка с применением линейной или нелинейной фильтрации.

Среднеарифметический фильтр - самый простой линейный сглаживающий фильтр или низкочастотный фильтр (НЧФ). Значения центрального пикселя заменяется средним арифметическим всех значений в пределах окна. Замена исходных значений изображения на средние значения по маске фильтра приводит к уменьшению резких переходов уровней яркости. Наиболее очевидным применением сглаживания является подавление шумов, т. к. случайный шум характеризуется резкими скачками яркости. Однако контуры, которые обычно представляют интерес на изображении, также характеризуются резкими перепадами яркости, поэтому негативной стороной применения сглаживающих фильтров является расфокусировка контуров. Главное использование НЧФ - подавление несущественных деталей на изображении. Под несущественными здесь имеются в виду совокупности пикселей, которые малы по сравнению с маской фильтра.

Если все весовые коэффициенты фильтра равны, то фильтр называется однородным усредняющим фильтром. Фильтр, показанный на рис. 9, а, дает обычное среднее значение по маске. Маска на рис. 9, б дает так называемое взвешенное среднее, т. е. значение пикселей умножаются на разные коэффициенты, что позволяет присвоить им разные веса по сравнению с другими. На рис. 9, б коэффициент в центре маски имеет наибольшее значение, тем самым давая соответствующему элементу наивысший вес при вычислении среднего. Значения остальных коэффициентов в маске уменьшаются по мере удаления от центра маски. Основная стратегия присвоения центральному пикселю наибольшего веса, а остальным - обратно пропорционально расстоянию, имеет целью уменьшение расфокусировки при сглаживании.

Таким образом, низкочастотные фильтры дают эффект устранения шумов, но приводят к размытости изображения, резкие края сглаживаются, контрастность между темными и светлыми участками уменьшается.

Фильтры, основанные на порядковых статистиках, относят к нелинейным сглаживающим фильтрам. В рассматриваемых ниже медианном, адаптивном, модальном и др. фильтрах, называемых также статистическими, матрица фильтра не создается. Значение пикселя в центре окна заменяется числом, определяемым путем анализа распределения значений в окне. Использование указанных фильтров приводит к подавлению шумов при меньшей расфокусировке, поэтому статистические фильтры используют для подавления шумов на изображении с сохранением границ объекта.

Наиболее популярным статистическим фильтром является медианный фильтр. Медианный фильтр заменяет значение центрального пикселя на значение медианы распределения яркостей всех пикселей в окрестности, включая и исходный. Медиана набора чисел есть такое значение, что половина чисел из набора меньше или равна, а другая половина - больше или равна ему. Чтобы выполнить медианную фильтрацию, необходимо сначала упорядочить по возрастанию значения пикселей внутри окрестности, затем найти значение медианы и присвоить полученное значение обрабатываемому пикселю. Так для окрестности размером 3×3 медианой будет пятое значение по величине. Если несколько элементов в окне имеют одинаковые значения, то эти значения будут сгруппированы. Основная функция медианного фильтра заключается в замене отличающегося от фона значения на другое, более близкое к его соседям. Изолированные темные или светлые по сравнению с окружающим фоном кластеры пикселей размером $n^2 / 2$ (половина площади маски фильтра) будут удалены медианным фильтром с маской размером $n \times n$. Примером применения медианного фильтра является устранение полосчатости изображения, полученной при сбое одного из детекторов при съемке.

Фильтр, основанный на замене значения обрабатываемого пикселя на максимальное значение в окрестности (фильтр максимума), полезен при обнаружении наиболее ярких точек на изображении.

Фильтр, основанный на замене значения обрабатываемого пикселя на минимальное значение в окрестности (фильтр минимума), приводит к обнаружению наиболее темных точек на изображении.

При использовании адаптивного фильтра определяется стандартное отклонение значений яркости от значения в центральном пикселе. Яркость в центральном пикселе заменяется на нуль, если стандартное отклонение меньше заданного пользователем порога, и средним из значений остальных пикселей, если стандартное отклонение выше.

В результате использования модального фильтра значение каждого пикселя заменяется на наиболее часто встречающееся в окне - моду гистограммы.

Фильтры повышения резкости или высокочастотные фильтры (ВЧФ) применяют, чтобы удалить медленно меняющиеся значения и подчеркнуть высокочастотные локальные изменения, выделить области резких переходов на фоне постепенных изменений. ВЧФ увеличивают резкость изображений, недостатком является увеличение шумов. При использовании ВЧФ увеличивается контрастность между отдельными пикселями и фоном. Это могут быть фильтры с нулевой суммой коэффициентов ($F = 1$), которые приводят к получению выходных значений:

- равных нулю в областях, где исходные значения равны (нет границ);
- низких в областях низкой частоты;
- экстремальных, когда высокие значения становятся еще выше, низкие - еще ниже в областях высокой пространственной частоты.

Высокочастотные фильтры подчеркивают или выделяют контуры, не исключая значения других пикселей объектов. При применении такого фильтра к набору пикселей с относительно низким значением в окружении более высоких низкое значение становится еще ниже, если высокое значение находится в ок-

ружении низких значений, то оно становится еще выше. Пространственная частота при этом повышается в обоих случаях.

Фильтры выделения границ. Выделение границ является важной операцией в обработке изображений, например, при выделении линий разломов в геологии. Алгоритмы выделения границ рассматривают изменение яркости как некоторую непрерывную функцию и используют операции с первой и второй производными. Если функция в некоторой точке имеет скачок, то первая производная в этой точке равна максимуму по абсолютной величине. Если функция имеет экстремум, то первая производная равна нулю, а вторая равна максимуму. Для дискретных снимков значение производных вдоль строк и столбцов - это разности или разности разностей приращений яркости двух соседних пикселей, т. е. $L_x = 1$ и $L_y = 1$.

Фильтры, отклик которых не зависит от направления неоднородностей на обрабатываемом изображении, называются изотропными. Изотропные фильтры являются инвариантными к повороту, т. е. поворот изображения и последующее применение фильтра дает тот же результат, что и применение фильтра к первоначальному изображению с последующим поворотом.

2.3 Методы интерпретации данных

Решение задач тематической обработки является этапом анализа (интерпретации) изображения, прошедшего предварительную обработку, и конечной целью ставит реализацию процесса обнаружения и распознавания обнаруженных объектов, называемого на практике дешифрированием изображения. Конечным результатом дешифрирования является тематическая карта территории, представленной на снимке, с нанесенными на ней дешифрированными распознанными объектами, которые были предварительно определены разработанной легендой карты, т. е. заранее было установлено, какого вида объекты должны быть выделены на исходном изображении. Тематические карты, как правило, представляются в векторном формате с целью их использования для прове-

дения пространственного анализа в ГИС.В качестве примеров тематических проектов на основе данных ДЗЗ можно указать:

- построение ландшафтных карт;
- построение карт нарушенности растительного покрова;
- построение карт почвенного покрова;
- изучение геологического строения территорий, выявление геологических структур;
- выявление загрязненных территорий и акваторий и многие др.

Дешифрирование может производиться визуальным и автоматизированными методами.

Визуальные методы применяются при ручном анализе снимков. Основным инструментом проведения визуального дешифрирования являются знания и интуиция дешифровщика, т. е. способность обнаруживать сходство или различие между данным образом и образами, хранящимися в памяти, более или менее часто встречаемыми в прошлом опыте. Существенную роль в процессе визуального дешифрирования играет ассоциативное мышление. Визуальные методы дешифрирования подразумевают наличие большого опыта у проводящего дешифрирование специалиста, конечной задачей которого является точное выявление дешифровочных признаков анализируемых объектов с целью их достоверного обнаружения. В зависимости от характера объектов и особенностей природной обстановки визуальное дешифрирование может производиться двумя различными способами.

Первый способ основан на том, что многие объекты могут быть выявлены и опознаны на снимках по признакам, которые присущи самому изображению объектов, и называется прямым дешифрированием. Фотографическая модель местности сохраняет геометрические, тоновые и другие признаки, свойственные зрительным образам этих объектов, полученным при визуальном наблюдении. Такой метод может применяться к объектам, непосредственно изображенным на космическом снимке: растительность, формы рельефа, водотоки, антропогенные объекты.

Второй способ является более сложным, предусматривает включение в процедуру дешифрирования промежуточного звена (индикатора) и называется индикационным- дешифрированием. Данный метод основан на том, что часть объектов и явлений, не изображенных на снимке и недоступная для прямого дешифрирования, связана причинными зависимостями с теми или иными внешними компонентами ландшафта или элементами его структуры и отвечает им территориально. Индикационное дешифрирование опирается на ландшафтно-индикационный метод исследования. В данном случае дешифрирование осуществляется в две стадии:

- Выявление индикаторов.
- Индикаторы используются для дешифрирования объектов или явлений.

В частности, изменение растительного покрова может служить указанием на развитие процессов подтопления и заболачивания, снижение уровня грунтовых вод, изменение температурного режима грунтов и т. д. В основном это касается естественного развития ландшафтов, т. к. в антропогенно преобразованных местах естественные связи могут быть нарушены и их индикационное значение утеряно.

Дешифровочные признаки делятся на прямые, косвенные и комплексные признаки.

Прямыми признаками называют признаки, присущие самим объектам дешифрирования - рельефу, растительности, водным объектам и другим компонентам природного комплекса. К их числу относятся геометрические и оптические характеристики объектов, отбрасываемые тени, структура изображения. Геометрические характеристики объединяют форму объектов, размеры в плане, а при стереоскопическом изучении - высоту и уклоны поверхностей, образующих объекты. Например, термокарстовые озера имеют характерную округлую форму. Для иллюстрации на рис. 13 приведен фрагмент космического снимка территории Ямало-Ненецкого автономного округа, на котором термокарстовые озера выделены более темным цветом.

К оптическим характеристикам относятся цвет или тон. Отбрасываемые тени облегчают дешифрирование рельефа и растительности. Структура изображения связана с пространственной сменой и взаимным расположением участков снимка, различающихся по оптическим свойствам, и в большой степени зависит от разрешения используемых снимков.

Косвенные признаки (индикаторы) характеризуют объект дешифрирования опосредствованно через какой-либо компонент природного комплекса или определенные сочетания. Например, сфагновый мох является косвенным индикатором мерзлого болота.

Среди косвенных признаков большое значение имеют геоморфологические, к которым относятся типы, форма и части форм рельефа, а также различные морфологические и морфометрические характеристики. Геоморфологические индикаторы позволяют судить о строении и составе отложений, свойствах пород, глубине залегания грунтовых вод, проявлениях современных геологических процессов и имеют большое значение для дешифрирования проявлений различных геологических процессов: карста, оползней, заболачивания и др.

Второе место в системе ландшафтных индикаторов принадлежит растительности. Она является компонентом ландшафта, тесно связанным, с одной стороны, с климатом, а с другой стороны, с почвами, породами и подземными водами. Так, неглубокое залегание грунтовых вод обычно приводит к формированию влаголюбивых растительных сообществ, что позволяет не только установить их наличие, но и достаточно точно оконтурить площадь распространения. В данном случае влаголюбивые растительные сообщества являются индикатором неглубоко залегающих грунтовых вод.

Вопросами изучения указанных выше связей и возможностей использования их для индикации элементов природной среды, в том числе геологических и гидрологических условий, занимается индикационная геоботаника. Геоботанические методы имеют большие возможности, но требуют от исследователя глубоких знаний, как в области систематики, так и в области экологии растений, без которых невозможны уверенные прогнозы в отношении геологических и

гидрологических особенностей местообитания. В практическом применении этих методов могут оказать помощь специальные справочники.

Определенное значение для инженерно-геологических изысканий имеют почвенные индикаторы. Дешифрирование почв может дать определенную информацию о подстилающих породах, поскольку состав почв, их структура, мощность, химический состав и влажность в большой степени зависят от состава материнских пород.

Существенную информацию о геологическом строении дают гидрографические индикаторы. Связь между водными объектами и геологическим строением наиболее отчетливо проявляется в закономерностях строения гидрографической сети.

Отдельные частные индикаторы (рельеф, растительность, водные объекты) образуют в совокупности сложные пространственные структуры, называемые физиономическими комплексами. Такие комплексные индикаторы являются наиболее надежным дешифровочным признаком инженерно-геологических условий, отражающим одновременно состав отложений, гидрологические условия и развитие различных геологических процессов. Комплексные признаки учитывают различные сочетания компонентов, образующих физиономические комплексы, т. е. внешние, доступные для наблюдения части природно-территориальных комплексов разных рангов.

Представление снимков в цифровом формате дало широкие возможности для развития методов автоматизированного дешифрирования. Проблема автоматизации дешифрирования в условиях возросшего количества данных и повышения требований к скорости анализа и интерпретации остается актуальной. Относясь к более общей проблеме распознавания образов, большинство методов сводится к машинной классификации объектов на основе формализованных дешифровочных признаков.

Распознавание образов - раздел информатики, разрабатывающий принципы и методы классификации и идентификации предметов, явлений, процессов, сигналов, ситуаций, т. е. всех тех объектов, которые могут быть описаны ко-

нечным набором некоторых признаков или свойств, характеризующих объект. Распознавание образов наиболее применимо, когда целью является отнесение каждого элементарного наблюдения к одному из ограниченного числа дискретных классов.

При обработке многозональных снимков многие методы используют признаки спектральной яркости, поэтому в ходе реализации методов автоматизированного дешифрирования решается задача определения количественных связей между СЯ и характеристиками объектов. Распределение пикселей по классам происходит в спектральном пространстве.

Задача классификации земных ландшафтов и акваторий заключается в разбиении некоторой группы объектов на классы на основе определенных требований. К одному классу при этом относятся объекты, обладающие объективно общими свойствами (отражательными характеристиками):

- лес;
- сельхозугодия;
- водные поверхности;
- антропогенные объекты и др.

Для решения этой задачи используются различные алгоритмы теории распознавания образов, математической статистики, кластерный анализ. Следует отметить, что для получения предметно-качественной информации требуется интеграция методов машинной классификации и визуальных методов.

Итак, машинная классификация основывается на том, что любой исследуемый объект характеризуется совокупностью количественных признаков его изображения, составляющих образ или сигнатуру. Изображение разбивается на элементы, для каждого из которых определяются численные значения признаков, образующих многомерный (по количеству признаков) вектор. Задача классификации состоит в разделении пространства признаков на локальные области, соответствующие одному классу объектов. Такой процесс называют также сегментацией изображения. Машина выполняет достоверную классификацию при однозначном соответствии признаков объекту.

В действительности соответствие зачастую носит вероятностный характер, образы объектов перекрываются, поэтому выполняемая классификация не может быть строго определенной. Для повышения ее достоверности идут по пути увеличения числа признаков, например, используя большее количество каналов при многозональной съемке или используя разновременные снимки. В дополнение к спектральным признакам используют текстурные, учитывают форму и расположение объектов, информацию об окружающих объектах. Эти признаки, дополняя спектральные, повышают надежность классификации.

Для машинной классификации существуют алгоритмы, реализующие различные правила классификации:

- с обучением (контролируемая классификация);
- без обучения (неконтролируемая классификация).

Контролируемая классификация требует больше машинных ресурсов и значительного быстродействия, является более трудоемкой, но выполняется с большей точностью. Обучение проводится с использованием наземных данных, применение которых требует учета влияния атмосферы, пространственно-временной изменчивости признаков, смещения информации о различных объектах в пределах элемента разрешения. Обучение может проводиться непосредственно по обрабатываемому изображению, на котором необходимо иметь эталонные участки с известными объектами, однотипными с классифицируемыми.

Неконтролируемая классификация позволяет формально расчленить изображение, выполняя его кластеризацию, т. е. объединение элементов изображения в группы - кластеры по формальному признаку без учета их содержательного значения.

Для проверки правильности интерпретации информации, полученной на основе показаний приборов, необходимы наземные данные, так как для оценки точности полученных результатов необходимо знать фактическое состояние наблюдаемых участков. Априорная информация обязательна для проведения как контролируемой, так и неконтролируемой классификации, чем выше тре-

буемая точность классификации, тем значительнее должен быть ее объем. Априорную информацию получают путем полевого дешифрирования или при полевой проверке камерального дешифрирования.

Алгоритмы неконтролируемой классификации реализуют часто применяемые в различных многомерных исследованиях методы кластеризации. В основе алгоритмов кластеризации лежит объединение пикселей в группы, называемые кластерами, в зависимости от установленного дешифровщиком порога близости их характеристик. Тот факт, что функция плотности вероятностей имеет моду в некоторой области пространства измерений, означает, что большая часть векторов измерений стремится расположиться в этой области, а не в прилегающих областях. Векторы измерений имеют тенденцию группироваться вблизи моды. Анализ набора векторов измерений, имеющий целью выявить эту тенденцию, называется кластерным анализом или кластеризацией.

Кластерами называют элементы изображения (совокупности пикселей), в чем-то схожие между собой (по яркости, текстуре и т. п.). Выбор меры сходства лежит в основе правила отнесения элементов к области, характеризующей центром некоторого кластера.

Методы кластеризации разрабатывались с целью выявления естественной структуры данных. Чтобы проиллюстрировать понятие «естественная структура», предположим, что нам необходимо отразить в двухмерном пространстве измерений рост и массу множества случайно выбранных взрослых людей (рис. 18, а). Не имея никакой дополнительной информации об измеренных индивидуумах, мы бы заключили, что получившиеся кластеры отвечают соответственно мужчинам (в среднем выше и тяжелее) и женщинам (в среднем ниже и легче).

В действительности, если бы у нас были на то основания, мы могли бы провести границу решения между кластерами и последовательно классифицировать всех индивидуумов, измерения которых оказываются по одну сторону от границы как мужчин, а по другую - как женщин. Разумеется, такая классификация иногда будет ошибочной, но мы будем иметь некоторую, вполне оправдан-

ную уверенность в том, что наша классификация в большинстве случаев будет правильной. Заметим, что при такой стратегии классификации не используются ОБ в смысле, описанном ранее. Это значит, что при построении границы решения не используются априорные данные об истинной классификации каждого отдельного набора измерений. Однако использовались другие данные и предположения об измеряемых объектах: мы знали, что они взрослые и предполагали, что среди них есть мужчины и женщины.

Теперь предположим, что мы располагаем набором мультиспектральных обучающих образов, о которых известно из наземных наблюдений, что они относятся к пшеничным полям. Предположим далее, что рис. 18, 6 представляет графическое отображение этих данных в видимом и ближнем ИК диапазонах длин волн. Применяя наши знания о пшеничных полях, времени года и физиологии пшеницы, можно предположить, что естественная структура этого множества данных отображает совершенно разные стадии зрелости сельскохозяйственных культур и, возможно, еще различия сортов. В любом случае класс «пшеница» имеет многомодальную функцию плотности вероятностей. Это один из случаев, когда один многомодальный класс должен быть разбит на одномодальные подклассы.

В двух рассмотренных примерах структура данных определена визуально с помощью наглядного представления данных. Кластерный анализ позволяет делать то же самое на ЭВМ. Более того, машинная реализация позволяет выйти за пределы двух- или трехмерного пространства, которыми ограничивается визуальный анализ. Чтобы реализовать процесс кластеризации на ЭВМ, необходимо определить понятие кластера в математической форме.

Конкретизируем понятие кластера с помощью трех вспомогательных определений: расстояние между точками в пространстве признаков, расстояние между наборами точек (предполагаемыми кластерами) и критерий кластеризации.

Прежде всего, существует много способов измерения расстояния между точками. Наиболее известной мерой расстояния между точками является евклидово расстояние. Имеются и другие меры межточечного расстояния, некото-

рые из них придают различные веса разным компонентам (например, расстояние Махаланобиса). Евклидово расстояние вычисляется наиболее просто и широко используется в алгоритмах кластеризации, принятых для анализа данных дистанционных измерений.

Существует много способов и для определения и измерения расстояния между группами точек. Предположим, нам необходимо найти расстояние между группой, имеющей метку А, и другой группой с меткой В (группы А и В могут быть кандидатами в кластеры). Простейший путь определения расстояния между А и В - вычислить среднее расстояние между всеми парами точек, для которых один элемент каждой пары принадлежит группе А, а другой - группе В. Могут быть использованы другие межгрупповые меры расстояния, включая дивергенцию, расстояние J-M, преобразованную дивергенцию, выраженные через функции распределения вероятностей групп. Преимущество статистических мер в том, что они учитывают внутригрупповую изменчивость в процессе вычисления межгруппового расстояния, т. е. они являются нормализованными мерами расстояния.

Критерий кластеризации связывает меру качества с каждым назначением точек данных в кластеры. Без такой меры невозможно обнаружить преимущество одного назначения перед другим, достоинство одного метода относительно другого. Обычно критерии кластеризации отражают назначение точек в кластеры таким образом, что расстояния между точками внутри кластера минимальны, а расстояния между кластерами максимальны. Посмотрим, как это связывается с предыдущим обсуждением межточечных и межгрупповых расстояний. Для этого очень кратко остановимся на двух критериях кластеризации.

Другими словами, СКО - это совокупное расстояние между каждой точкой набора данных и математическим ожиданием кластера, к которому точка приписана. Таким образом, при минимизации СКО в качестве критерия кластеризации стремятся отнести точки к кластерам так, чтобы кластеры имели наибольшую возможную плотность.

Выводы

Обработка данных ДЗЗ включает предварительную обработку и улучшение изображений. В процессе предварительной обработки изображения из данных удаляются систематические радиометрические и геометрические ошибки. Улучшение изображения позволяет преобразовать его в форму, наиболее удобную для визуального или машинного анализа и используется для того, чтобы подчеркнуть важнейшие признаки изображения и в дальнейшем облегчить задачу интерпретации данных. Обработка данных ДЗЗ является подготовительным этапом перед извлечением из изображения тематической информации.

Радиометрическая коррекция имеет дело с варьированием значений яркостей пикселей, которое определяется сбоем или неисправностью детекторов, влиянием рельефа, атмосферными эффектами. Задача атмосферной коррекции является одной из самых сложных задач обработки данных ДЗЗ. Особенностью ДЗЗ из космоса является то, что излучение от земной поверхности должно пройти через атмосферу прежде, чем будет зафиксировано датчиками, установленными на спутнике. Поэтому данные ДЗЗ включают не только информацию о поверхности Земли, но и о состоянии атмосферы. Для тех, кто занимается количественным анализом поверхностного отражения, устранение влияния атмосферы является важным шагом предварительной обработки.

К улучшающим спектральным преобразованиям относят методы, связанные с модификацией контрастности изображения, заключающейся в изменении формы гистограммы изображения посредством изменения значений пикселей. При спектральном преобразовании каждый пиксель изменяется индивидуально, независимо от значений пикселей контекста. Под контрастом обычно понимают разность максимального и минимального значений яркости. Низкий контраст изображений может быть следствием плохого освещения, излишне большого диапазона сенсора или неверно установленной диафрагмы объектива при съемке. Усиление контраста достигается увеличением динамического диапазона яркостей на обрабатываемом изображении.

Дешифрирование может производиться визуальным и автоматизированными методами. Визуальные методы применяются при ручном анализе снимков. Основным инструментом проведения визуального дешифрирования являются знания и интуиция дешифровщика, т. е. способность обнаруживать сходство или различие между данным образом и образами, хранящимися в памяти, более или менее часто встречаемыми в прошлом опыте.

Представление снимков в цифровом формате дало широкие возможности для развития методов автоматизированного дешифрирования. Проблема автоматизации дешифрирования в условиях возросшего количества данных и повышения требований к скорости анализа и интерпретации остается актуальной. Относясь к более общей проблеме распознавания образов, большинство методов сводится к машинной классификации объектов на основе формализованных дешифровочных признаков.

Распознавание образов - раздел информатики, разрабатывающий принципы и методы классификации и идентификации предметов, явлений, процессов, сигналов, ситуаций, т. е. всех тех объектов, которые могут быть описаны конечным набором некоторых признаков или свойств, характеризующих объект. Распознавание образов наиболее применимо, когда целью является отнесение каждого элементарного наблюдения к одному из ограниченного числа дискретных классов.

При обработке многозональных снимков многие методы используют признаки спектральной яркости, поэтому в ходе реализации методов автоматизированного дешифрирования решается задача определения количественных связей между СЯ и характеристиками объектов. Распределение пикселей по классам происходит в спектральном пространстве.

Для машинной классификации существуют алгоритмы, реализующие различные правила классификации:

- с обучением (контролируемая классификация);
- без обучения (неконтролируемая классификация).

Контролируемая классификация требует больше машинных ресурсов и значительного быстродействия, является более трудоемкой, но выполняется с большей точностью. Обучение проводится с использованием наземных данных, применение которых требует учета влияния атмосферы, пространственно-временной изменчивости признаков, смещения информации о различных объектах в пределах элемента разрешения. Обучение может проводиться непосредственно по обрабатываемому изображению, на котором необходимо иметь эталонные участки с известными объектами, однотипными с классифицируемыми.

Неконтролируемая классификация позволяет формально расчленить изображение, выполняя его кластеризацию, т. е. объединение элементов изображения в группы - кластеры по формальному признаку без учета их содержательного значения.

3. МЕТОДИКА РАБОТЫ С БАЗОЙ ДАННЫХ СНИМКОВ LandSat

Современные геодезические компании, проводя измерение площади, пользуются такими методами расчетов:

1. Самым точным считается аналитический метод – площадь участка рассчитывается исходя из измерений непосредственно на местности. С помощью вычислительных формул на основании полученных данных вычисляется точная площадь территории. Особое значение при этом имеют именно геодезические работы, их точность.
2. Графическим методом пользуются, выполняя измерение площади по плану или карте участка. Все данные – расстояния между поворотными точками, углы – берутся из картографического материала. Точность таких вычислений зависит от точности составленной ранее карты.
3. Способ механический – площадь определяется по плану, пользуясь специальным прибором – планиметром.

3.1 Методика измерения с использованием данных дистанционного зондирования

Методика будет описана на примере расчета площади водного объекта внутри суши. В работе будут использованы данные LandSat. Получить данные можно следуя данной пошаговой инструкции:

1. Использовать интернет ресурс <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Необходима регистрация.

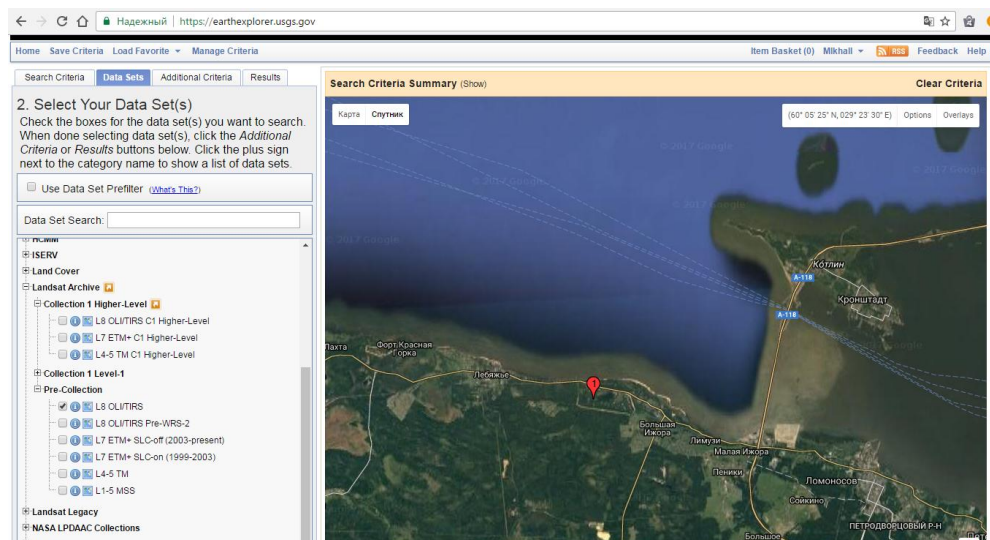


Рисунок 3.1 - Использование сайта <http://earthexplorer.usgs.gov/>

2. Выбрать территорию, на которую необходимо скачать данные:
 - С помощью выбора полигоном (для этого нужно отметить вершины полигона на карте кликом мыши)
 - С помощью ввода названия места или адреса в адресной строке (после нажатия Show появляется таблица с результатами вашего запроса; клик по адресу в таблице отображает на карте маркер)
3. Ниже критерия территориального запроса располагаются критерии временного запроса. Заполните поле диапазона даты (DataRange), за который вы хотите получить данные (месяцы можно выбирать отдельно; по умолчанию выбраны все).

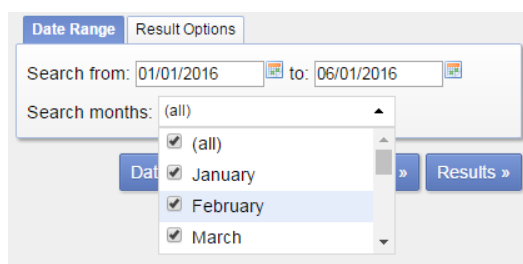


Рисунок 3.2 - Задаем период съемки

4. Перейти на закладку DataSets (или нажмите аналогичную кнопку внизу). В списке данных найти группу LandsatArchive и развернуть список. В зависимости от того, какие данные вам нужны, выделяйте ту или иную строку списка (одну или несколько):
 - Landsat 1-4 – L1-5 MSS;
 - Landsat 4-5 – L4-5 TM;
 - Landsat 7 – L7 ETM+ SLC – on (1999-2003) {данные – L7 ETM+ SLC – off (2003-present) “битые”, снимкиповрежденные, счёрнымиполосками};
 - Landsat 8 – L8 OLI/TIRS. 7.
5. Перейдите на закладку AdditionalCriteria (или нажмите аналогичную кнопку в самом низу).Также в этой закладке можно указать

дополнительные критерии запроса. Например, допустимую облачность на снимке – CloudCover. Обратите внимание, что критерии (в нашем примере это CloudCover) распространяются только на те данные, что выбраны в графе DataSets. Если вы выбрали из архива несколько типов данных (например, Landsat 7 и 8) и хотите, чтобы критерии запроса распространялись на все типы, то необходимо последовательно выставить критерии для каждого из них. При этом из выпадающего списка DataSets нужно последовательно менять типы данных (т.е. в нашем примере, выбрали Landsat 7 и выставили облачность меньше 10%, затем выбрали Landsat 8 и ещё раз поставили облачность меньше 10%).

The screenshot shows a web-based search interface with several dropdown menus and input fields. At the top, 'Data Sets' is set to 'L8 OLI/TIRS'. Below it, 'Sensor ID' is set to 'All', 'Data Type Level1' is set to 'All', and 'Cloud Cover' is set to 'Less than 20%'. There are also fields for 'Date L1 Generated (Ex. YYYY/MM/DD)' and 'Day/Night Indicator' set to 'All'. At the bottom, there are buttons for 'Clear All Criteria' and 'Results »'.

Рисунок 3.3 - Выбор процента покрытия облачностью ниже 20%

6. Нажать кнопку Results или перейти в аналогичную вкладку. Появится список данных отобранных по установленному вами запросу. Опять же снимки отфильтрованы по типам данных (Landsat 7, Landsat 8...). Меняем через выпадающий список DataSets. Отдельное поле списка найденных снимков включает следующую метаинформацию:

- Entity ID – название сцены
- Coordinate – координаты центра сцены

- AcquisitionDate – дата съёмки
- Path и Row – столбец и колонка сцены 10. Для того чтобы понять, подходит вам данный снимок или нет, можно воспользоваться следующими инструментами отображения:
 - - показать область покрытия территории снимком
 - - показать preview снимка.

Данная операция показана на рисунке 3.4.

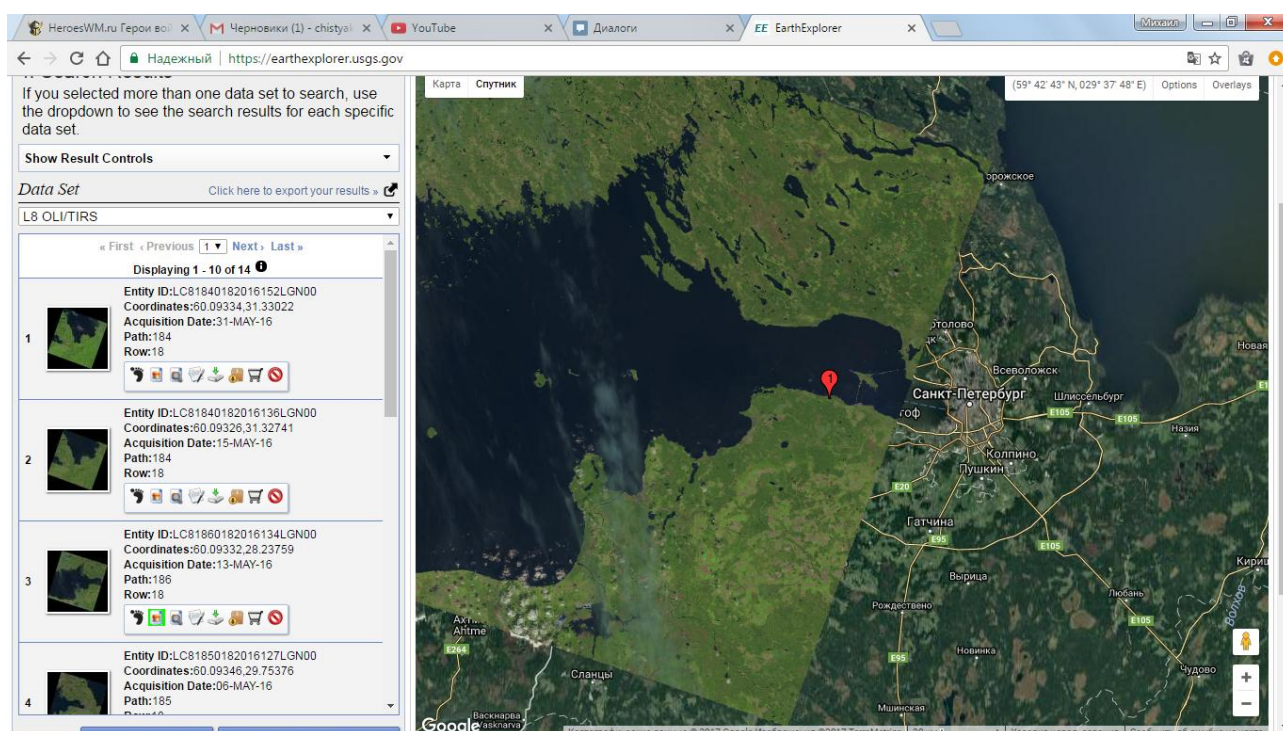


Рисунок 3.4 - Наложение снимка на карту

7. Если снимок удовлетворяет вас во всех отношениях, то нажмите Download. Скачиваем самый тяжёлый файл. На приведенном рисунке 3.5, это Level 1 GeoTIFFDataProduct (852.3 МБ). Все остальные файлы – это квиклуки (quicklooks), позволяющие посмотреть снимки в различных синтезах, чтобы окончательно решить, нужен ли нам этот снимок или нет.

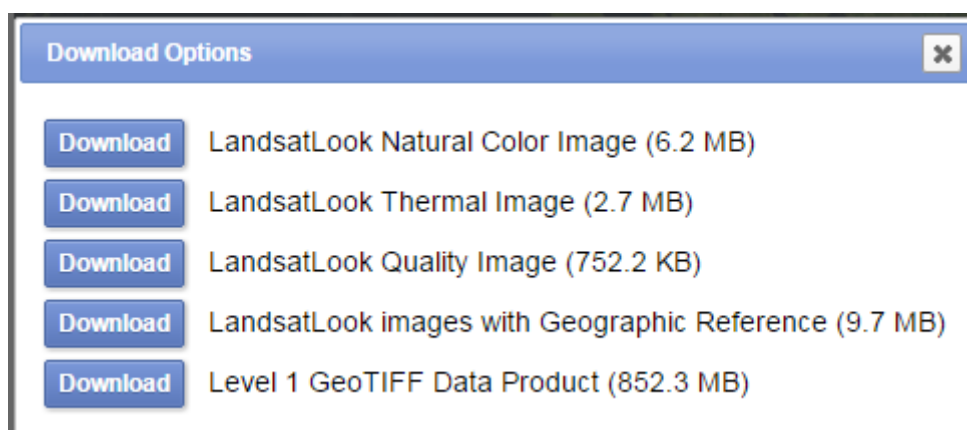


Рисунок 3.5 - Скачиваем необходимые данные.

Скаченный файл представляет собой архив. Архив будет иметь расширение tar.gz. Перед началом работы со снимками его необходимо распаковать. Название архива с данными LC81860182016134LGN00 можно расшифровать как Landsat 8, Path:186, 018 Row, дата съемки 13 мая 2016(134). Название файла с данными одного из каналов LC81860182016134LGN00_B1 можно расшифровать как Landsat 8, Path:186, 018 Row, дата съемки 13 мая 2016 (134) первый канал.

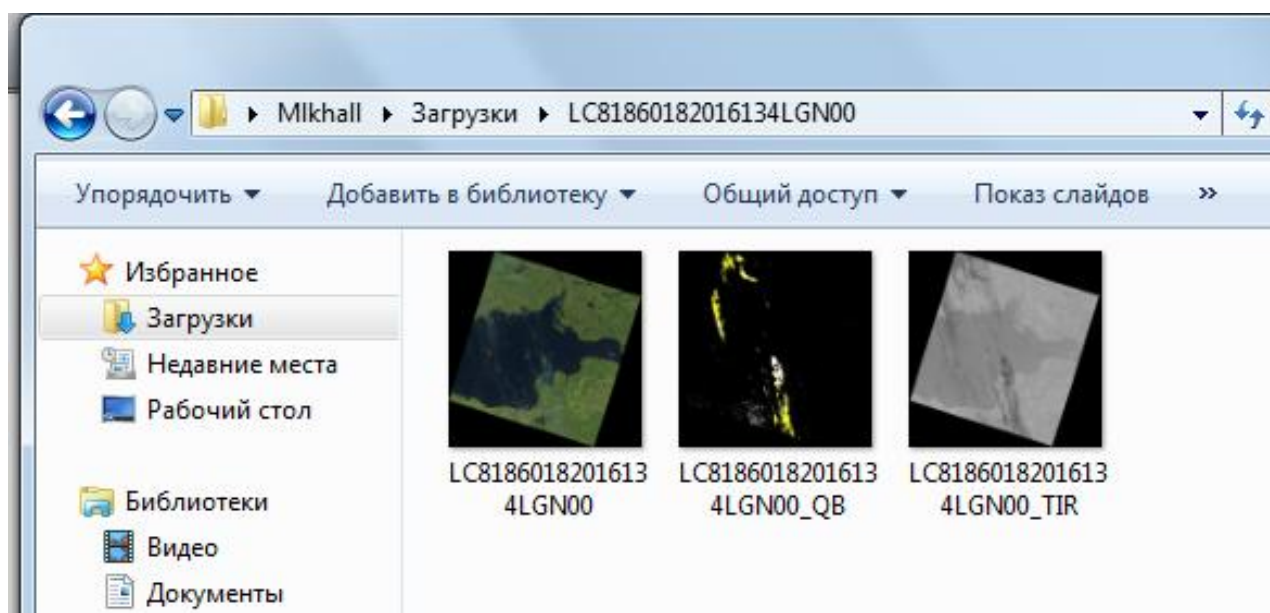


Рисунок 3.6 - Содержание архива с файлами

Имя	Размер	Сжатый	Изменен	Режим	Пользователь	Группа
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:08	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:08	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:08	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:08	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:08	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:08	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:08	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	528 304 878	528 305 152	2016-05-24 16:08	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:09	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:09	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:09	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	132 125 418	132 125 696	2016-05-24 16:09	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen
LC81860182...	7 896	8 192	2016-05-24 16:09	0rw-rw-r--	lpgsops	prodgen

Рисунок 3.7 - Содержание архива с файлами

В связи с ухудшением пространственного разрешения на краях космического изображения, в методике используется только та часть исходного изображения, которая находится не далее чем $2/3$ от центральной линии. Выбор фрагмента исходного многозонального космического изображения осуществляется в программе просмотра и предварительной обработки космической информации UNESCO Bilko. После проведения предварительной обработки, улучшение изображения и удаления лишних данных проводится классификация без обучения. Методика основана на использовании цветного композитного изображения с присвоением ближнему инфракрасному диапазону красного цвета, коротковолновому инфракрасному диапазону зеленого цвета и зеленому диапазону синего цвета, с последующей классификацией.

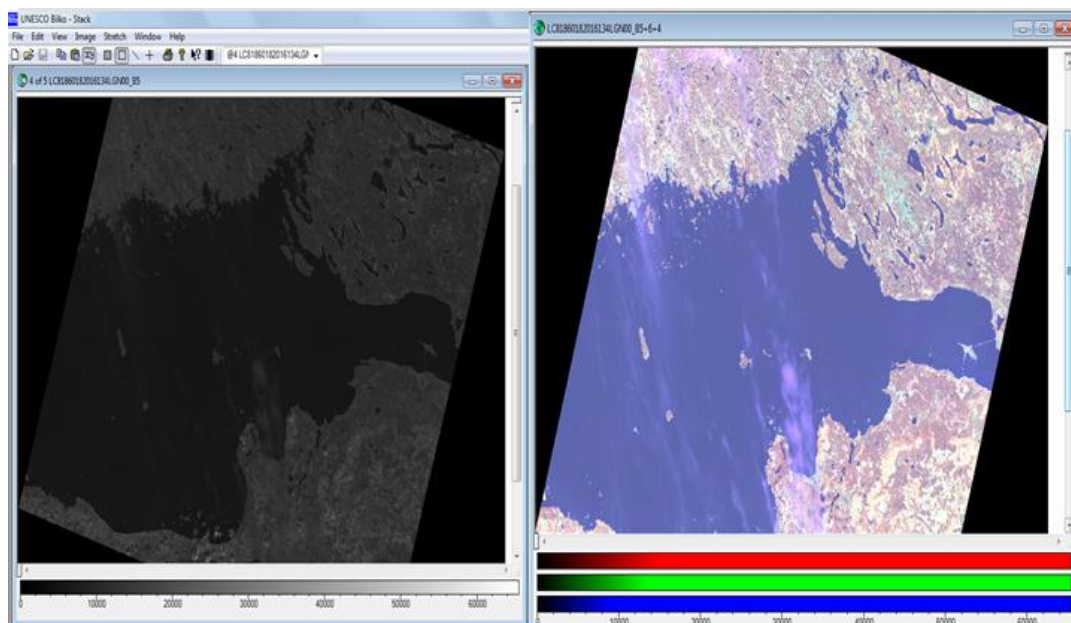


Рисунок 3.8 – Результат обработки изображения

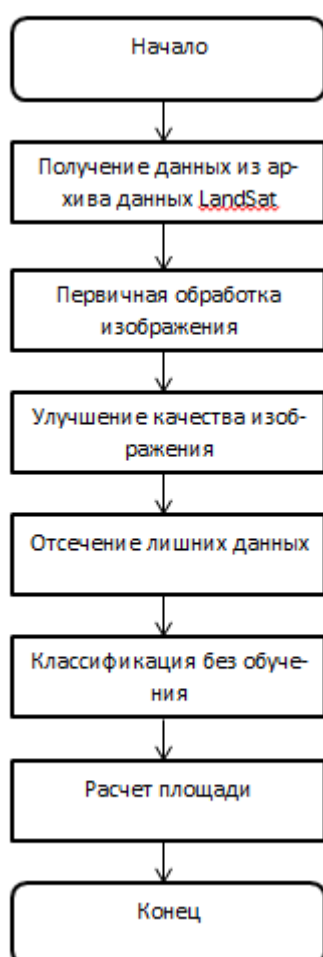


Рисунок 3.9 – Алгоритм расчета площади озера

Достоинства данной методики:

1. Доступность. В отличие от методик, использующих планиметр или другое специализированное оборудование, данный метод не требует специализированного оборудования или навыков. Поскольку все преобразования и расчеты производятся автоматически в программе ЮНЕСКО Билко.
2. Доступность информации. Информация необходимая для расчетов присутствует в интернете в свободном доступе.
3. Нет необходимости в измерениях на местности.

Недостатки данной методики:

1. Точность измерения уступает измерениям, произведенным на местности.
2. Необходимость в интернет связи.

Апробация метода. Метод опробован на примере озера Глубокое, крупнейшее озеро в центральной части Карельского перешейка. Находится в 2—3 км от Восточно-Выборгского шоссе. Относится к бассейну реки Вуокс. Площадь зеркала озера около 37,9 км², площадь водосборного бассейна 213 км², данные взяты из государственного водного реестра. Входными данными является архив с данными LC81860182016134LGN00 который можно расшифровать как Landsat 8, Path:186, Row:018, дата съемки 13 мая 2016(134). Результатом работы метода стало расчет площади Озеро Глубокое, классифицированное изображение на рисунке 3.11. $S=40581 \cdot 900=36522900 \text{ м}^2=36,5 \text{ км}^2$. Гистограмма изображена на рисунке 3.10. Погрешность вычисления составила 0.53 %.

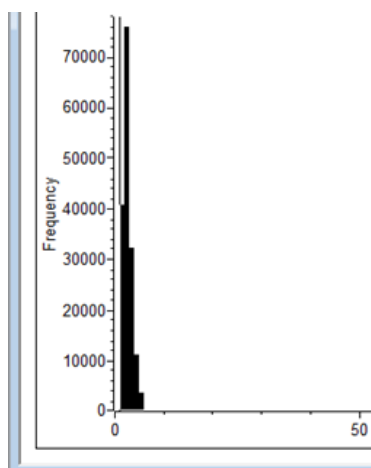


Рисунок 3.10 – Гистограмма классифицированного изображения.

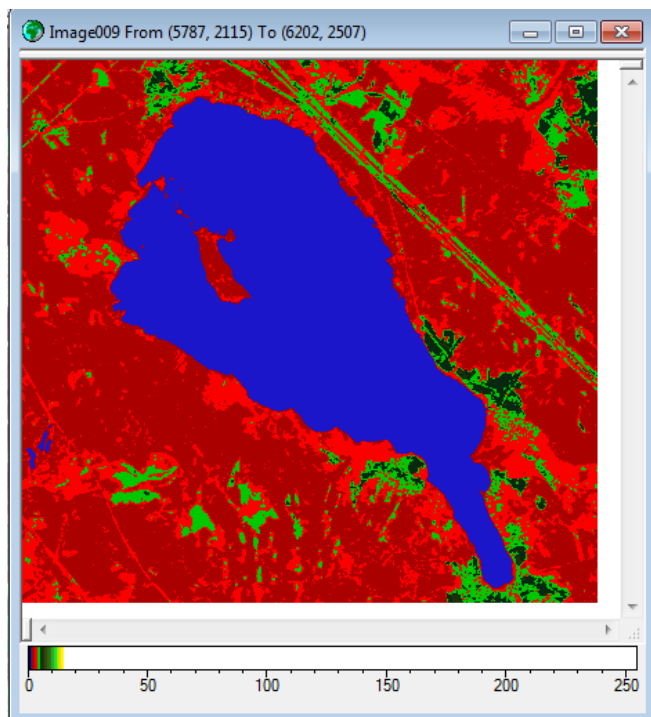


Рисунок 3.11- Классификация без обучения озера Глубокое

Выводы



Методика будет описана на примере расчета площади водного объекта внутри суши. В работе будут использованы данные LandSat. В связи с ухудшением пространственного разрешения на краях космического изображения, в методике используется только та часть исходного изображения, которая находится не далее чем $\frac{2}{3}$ от центральной линии. Выбор фрагмента исходного многозонального космического изображения осуществляется в программе просмотра и предварительной обработки космической информации UNESCO Bilko. После проведения предварительной обработки, улучшение изображения и удаления лишних данных проводится классификация без обучения. Методика основана на использовании цветного композитного изображения с присвоением ближнему инфракрасному диапазону красного цвета, коротковолновому инфракрасному диапазону зеленого цвета и зеленому диапазону синего цвета, с последующей классификацией.

Метод опробован на примере озера Глубокое, крупнейшее озеро в центральной части Карельского перешейка. Находится в 2—3 км от Восточно-Выборгского шоссе. Относится к бассейну реки Вуокс. Площадь зеркала озера около 37,9 км², площадь водосборного бассейна 213 км², данные взяты из государственного водного реестра. Входными данными является архив с данными LC81860182016134LGN00 который можно расшифровать как Landsat 8, Path:186, Row:018, дата съемки 13 мая 2016(134). Результатом работы метода стало расчет площади Озеро Глубокое, классифицированное изображение на рисунке 3.11. $S=40581 \cdot 900=36522900 \text{ м}^2=36,5 \text{ км}^2$. Гистограмма изображена на рисунке 3.10. Погрешность вычисления составила 0.53 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель работы – Анализ данных дистанционного зондирования Земли для получения информации о водных объектах внутри суши.

В процессе достижения поставленной цели получены следующие результаты.

1. Выполнен анализ систем дистанционного зондирования.

Один из главных признаков классификации систем ДЗЗ состоит в подразделении их на пассивные системы (сканирующие оптико-электронные), регистрирующие естественное излучение, и активные(радиолокационные, лазерные), сами генерирующие излучение и затем анализирующие его отраженную часть. К достоинствам радиолокационных систем относительно оптико-электронных относится следующее:

- Результаты радарной съемки не зависят от погоды и естественной освещенности, поэтому они незаменимы там, где облачный покров постоянно или продолжительное время препятствует съемкам другими методами.
- Возможность получения изображения земной поверхности, скрытой растительностью.
- Возможность определения диэлектрических свойств поверхностного слоя.

Важнейшими характеристиками съемочной аппаратуры и формируемого изображения являются:

- пространственное разрешение;
- радиометрическое разрешение (РР);
- спектральное разрешение;
- временное разрешение (ВР).

Основными геометрическими характеристиками получаемых изображений являются пространственное разрешение и ширина полосы обзора.

Пространственное разрешение (ПР) определяет линейные размеры минимально регистрируемого элемента (пикселя) изображения, т. е. представляет

собой минимальную линейную величину изобразившегося объекта местности, зафиксированного пикселем.

Ширина полосы обзора зависит от высоты спутника и максимального отклонения луча зрения камеры от направления в нади́р. Как правило, чем шире полоса обзора, тем ниже пространственное разрешение.

Радиометрическое разрешение цифровых КС определяется шириной динамического диапазона используемого датчика, т. е. количеством уровней дискретизации, соответствующих переходу от яркости абсолютно черного к абсолютно белому цвету. РР указывается числом бит. РР 8 бит соответствует 256 уровням градации яркости.

Спектральное разрешение соответствует количеству диапазонов ЭМ спектра и размеру зон съемки, регистрируемых съемочной аппаратурой.

Отраженное от поверхности солнечное излучение регистрируется в ближнем ультрафиолетовом, видимом (0,38-0,72 мкм), ближнем (0,72— 1,3 мкм), среднем (1,3—3 мкм) и дальнем (тепловом, 7,0—15,0 мкм) инфракрасным (ИК) диапазонах спектра с учетом прозрачности атмосферы. Атмосферные явления затрудняют интерпретацию данных излучения в ультрафиолетовой области ЭМ спектра и в диапазоне 3,0—7,0 мкм и фактически ограничивают использование указанных диапазонов для ДЗЗ.

Видимый диапазон занимает небольшую часть ЭМ спектра, представляющего интерес при исследовании поверхности Земли. Обычно для увеличения информативности видимый диапазон разбивается на три зоны:

- синюю (0,4—0,5 мкм);
- зеленую (0,5—0,6 мкм);
- красную (0,6—0,7 мкм).

Это связано с тем, что различные типы подстилающей поверхности (снег, почва, растительность) по-разному "проявляются" в этих зонах. Данные видимого участка спектра полезны для количественной оценки цвета и текстуры изображений объектов.

Изображение объектов в ближнем ИК диапазоне мало отличается от видимого. Более того, для многих задач характерно комбинированное использование этих диапазонов.

Средний ИК диапазон часто используют при распознавании и идентификации типов поверхности.

Для отображения многозональных КС используют различные комбинации зон, подчеркивающие те или иные особенности объектов. Поскольку такие изображения, в основном, предназначены для визуализации на экране дисплея в палитре RGB, то комбинации строят с использованием трех зон, порядок которых соответствует красной, зеленой и синей цветовым пушкам монитора, а процесс называют синтезированием. Обычно используют три стандартных комбинации зон:

- красная, зеленая и синяя зоны создают композицию истинного цвета, в которой объекты выглядят так, как они должны были бы восприниматься невооруженным глазом.
- ближняя ИК, красная и зеленая зоны создают композицию ложного цвета;
- средняя ИК, ближняя ИК и зеленая зоны создают композицию псевдоцвета, позволяющую подчеркнуть цветом различия объектов, что удобно для визуального дешифрирования снимков.

Временное разрешение определяет, как часто датчик получает изображение определенной области на поверхности Земли. ВР является важным при изучении и обнаружении изменений поверхности и зависит от высоты орбиты, ширины полосы обзора, количества спутников, одновременно находящихся на орбите. LandSat имеет ВР 16 дней, SPOT- 1 день, NOAA- несколько часов. Для разрабатываемой методики лучше всего подходят данные системы LandSat. Поскольку данная система имеет многолетнюю и наибольшую базу данных, доступ к которой предоставляется бесплатно.

2. Проанализировано использование возможностей данных дистанционного зондирования .

Обработка данных ДЗЗ включает предварительную обработку и улучшение изображений. В процессе предварительной обработки изображения из данных удаляются систематические радиометрические и геометрические ошибки. Улучшение изображения позволяет преобразовать его в форму, наиболее удобную для визуального или машинного анализа и используется для того, чтобы подчеркнуть важнейшие признаки изображения и в дальнейшем облегчить задачу интерпретации данных. Обработка данных ДЗЗ является подготовительным этапом перед извлечением из изображения тематической информации.

Радиометрическая коррекция имеет дело с варьированием значений яркостей пикселей, которое определяется сбоем или неисправностью детекторов, влиянием рельефа, атмосферными эффектами. Задача атмосферной коррекции является одной из самых сложных задач обработки данных ДЗЗ. Особенностью ДЗЗ из космоса является то, что излучение от земной поверхности должно пройти через атмосферу прежде, чем будет зафиксировано датчиками, установленными на спутнике. Поэтому данные ДЗЗ включают не только информацию о поверхности Земли, но и о состоянии атмосферы. Для тех, кто занимается количественным анализом поверхностного отражения, устранение влияния атмосферы является важным шагом предварительной обработки.

К улучшающим спектральным преобразованиям относят методы, связанные с модификацией контрастности изображения, заключающейся в изменении формы гистограммы изображения посредством изменения значений пикселей. При спектральном преобразовании каждый пиксель изменяется индивидуально, независимо от значений пикселей контекста. Под контрастом обычно понимают разность максимального и минимального значений яркости. Низкий контраст изображений может быть следствием плохого освещения, излишне большого диапазона сенсора или неверно установленной диафрагмы объектива при съемке. Усиление контраста достигается увеличением динамического диапазона яркостей на обрабатываемом изображении.

Дешифрирование может производиться визуальным и автоматизированными методами. Визуальные методы применяются при ручном анализе снимков. Основным инструментом проведения визуального дешифрирования являются знания и интуиция дешифровщика, т. е. способность обнаруживать сходство или различие между данным образом и образами, хранящимися в памяти, более или менее часто встречаемыми в прошлом опыте.

Представление снимков в цифровом формате дало широкие возможности для развития методов автоматизированного дешифрирования. Проблема автоматизации дешифрирования в условиях возросшего количества данных и повышения требований к скорости анализа и интерпретации остается актуальной. Относясь к более общей проблеме распознавания образов, большинство методов сводится к машинной классификации объектов на основе формализованных дешифровочных признаков.

Распознавание образов - раздел информатики, разрабатывающий принципы и методы классификации и идентификации предметов, явлений, процессов, сигналов, ситуаций, т. е. всех тех объектов, которые могут быть описаны конечным набором некоторых признаков или свойств, характеризующих объект. Распознавание образов наиболее применимо, когда целью является отнесение каждого элементарного наблюдения к одному из ограниченного числа дискретных классов.

При обработке многозональных снимков многие методы используют признаки спектральной яркости, поэтому в ходе реализации методов автоматизированного дешифрирования решается задача определения количественных связей между СЯ и характеристиками объектов. Распределение пикселей по классам происходит в спектральном пространстве.

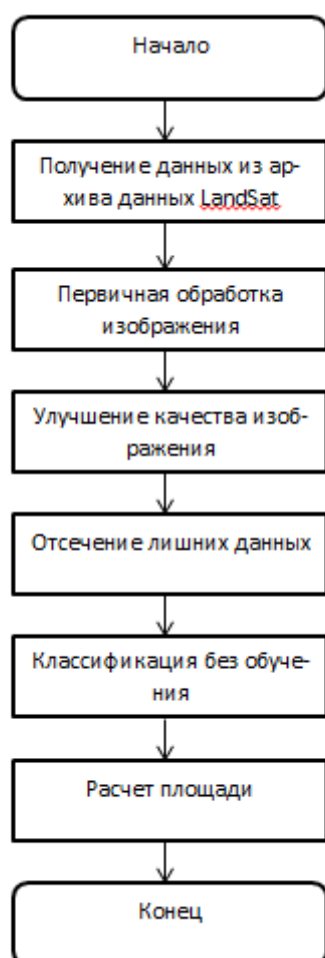
Для машинной классификации существуют алгоритмы, реализующие различные правила классификации:

- с обучением (контролируемая классификация);
- без обучения (неконтролируемая классификация).

Контролируемая классификация требует больше машинных ресурсов и значительного быстродействия, является более трудоемкой, но выполняется с большей точностью. Обучение проводится с использованием наземных данных, применение которых требует учета влияния атмосферы, пространственно-временной изменчивости признаков, смещения информации о различных объектах в пределах элемента разрешения. Обучение может проводиться непосредственно по обрабатываемому изображению, на котором необходимо иметь эталонные участки с известными объектами, однотипными с классифицируемыми.

Неконтролируемая классификация позволяет формально расчленить изображение, выполняя его кластеризацию, т. е. объединение элементов изображения в группы - кластеры по формальному признаку без учета их содержательного значения.

3. Сформулирована методика работы с базой данных снимков LandSat.



Методика будет описана на примере расчета площади водного объекта внутри суши. В работе будут использованы данные LandSat. В связи с ухудшением пространственного разрешения на краях космического изображения, в методике используется только та часть исходного изображения, которая находится не далее чем $2/3$ от центральной линии. Выбор фрагмента исходного многозонального космического изображения осуществляется в программе просмотра и предварительной обработки космической информации UNESCO Bilko. После проведения предварительной обработки, улучшение изображения и удаления лишних данных проводится классификация без обучения. Методика основана на использовании цветного композитного изображения с присвоением ближнему инфракрасному диапазону красного цвета, коротковолновому инфракрасному диапазону зеленого цвета и зеленому диапазону синего цвета, с последующей классификацией.

Метод опробован на примере озера Глубокое, крупнейшее озеро в центральной части Карельского перешейка. Находится в 2—3 км от Восточно-Выборгского шоссе. Относится к бассейну реки Вуокс. Площадь зеркала озера около $37,9 \text{ км}^2$, площадь водосборного бассейна 213 км^2 , данные взяты из государственного водного реестра. Входными данными является архив с данными LC81860182016134LGN00 который можно расшифровать как Landsat 8, Path:186, Row:018, дата съемки 13 мая 2016(134). Результатом работы методики стало расчет площади Озеро Глубокое, классифицированное изображение на рисунке 3.11. $S=40581 \cdot 900=36522900 \text{ м}^2=36,5 \text{ км}^2$. Гистограмма изображена на рисунке 3.10. Погрешность вычисления составила 0.53 %.

Достоинства данной методики:

4. Доступность. В отличие от методик, использующих планиметр или другое специализированное оборудование, данный метод не требует специализированного оборудования или навыков. Поскольку все преобразования и расчеты производятся автоматически в программе ЮНЕСКО Билко.

5. Доступность информации. Информация необходимая для расчетов присутствует в интернете в свободном доступе.
6. Нет необходимости в измерениях на местности.

Недостатки данной методики:

3. Точность измерения уступает измерениям, произведенным на местности.
4. Необходимость в интернет связи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Токарева О. С., Обработка и интеграция данных дистанционного зондирования земли, 2010 г., Издательство Томского политехнического университета, с. 32.
2. Сычёв В.И. Практическое использование спутниковых изображений по результатам дистанционного зондирования Земли из Космоса. Ч.4. Введение в анализ спутниковых данных с помощью интегрированной системы анализа спутниковых изображений ЮНЕСКО БИЛКО. – Майкоп: ИП Кучеренко В.О. – 2016.
3. Болсуновский М.А., Черепанов А.С. Атмосферная коррекция в ПО ENVI. Модуль FLAASH// GeoProfi.ru. - Электронный журнал. - 2006. - // http://www.geoprofi.ru/technology/Article_2552_10.htm. (дата обращения 05.06.2017)
4. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. - М.: Изд-во А и Б, 1997.
5. Гудилин И. С., Комаров И. С. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях: учебное пособие. - М.: Недра, 1978.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. - М.: Техносфера, 2006.
7. Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филипс Т.Л. и др. Дистанционное зондирование: количественный подход / пер. с англ. - М.: Недра, 1983.
8. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен / пер. с англ. - М.: Мир, 1976.
9. Ермошкин И.С. Современные средства автоматизированного дешифрирования космических снимков и их использование в процессе создания и обновления карт // ARCREVIEW. - 2009. - № 1.
- 10.Ерохин Г.Н., Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Токарева О.С. Информационно-космические технологии для экологического анализа воз-

- действий нефтедобычи на природную среду: аналит. обзор. - Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2003.
11. Закарин Э.А., Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана. - Алматы: ЕЫЛЫМ, 1999.
 12. Замятин А.В., Марков Н.Г. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
 13. Зятькова Л.К., Елепов Б.С. У истоков аэрокосмического мониторинга природной среды («Космос» - программе «Сибирь»): монография. - Новосибирск: СГГА, 2007.
 14. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие. - М.: Логос, 2001.
 15. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли / пер. с нем. - М.: Мир, 1988.
 16. Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений / Дистанционное зондирование и географические информационные системы. - М.: Научный мир, 2003.
 17. Марков Н.Г. Методы и средства цифровой обработки сигналов: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 1997.
 18. Маслов А. А. Космический мониторинг лесов России: современное состояние, проблемы и перспективы // Лесной бюллетень. - 2006. - № 31
 19. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования / пер. с англ. - М.: Техносфера, 2006.
 20. Седых В.Н. Леса Западной Сибири и нефтегазовый комплекс. - М.: Экология, 1996. - Вып. 1.
 21. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов/ пер. с англ. - М.: Мир, 1978.
 22. Хлебникова Е.П. Применение метода главных компонент для мониторинга городских территорий // Сборник материалов V Между-

народного конгресса «ГЕО-Сибирь-2009», Новосибирск, 20-24 апреля 2009 г. - Новосибирск: Изд-во СГГА, 2009.

23.Сайт компании «Совзонд» // <http://sovzond.ru> (дата обращения 05.06.2017)

24.Космоснимки // <http://www.kosmosnimki.ru> (дата обращения 05.06.2017)

25.Журнал «Геоматика» // <http://www.geomatica.ru> (дата обращения 05.06.2017)

26.Сайт неформального некоммерческого сообщества специалистов в области ГИС и ДЗЗ // <http://gis-lab.info> (дата обращения 05.06.2017)