

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Казанский государственный аграрный университет

Кафедра землеустройства и кадастров

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО КУРСУ
«ФОТОГРАММЕТРИЯ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ
ЗЕМЛИ»**

(для студентов по направлению подготовки 21.03.02 - землеустройство и кадастра)



Казань - 2017

УДК 528.7

ББК 26.12

Учебное пособие по курсу «Фотограмметрия и дистанционное зондирование цифровыми фотограмметрическими системами» предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 – землеустройство и кадастры (очного и заочного обучения). Составлено доцентами Логиновым Н.А., Трофимовым Н.В., Сулейманов С.Р., Сочнева С.В. и издается под общей редакцией профессора Сафиоллина Ф.Н.

Рассмотрено и одобрено:

решением заседания кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ (протокол № 9 от 3 апреля 2017 г.);

решением методической комиссии агрономического факультета Казанского ГАУ (протокол № 7 от 4 апреля 2017 г.)

Рецензенты:

доктор с/х наук, доцент кафедры растениеводства и плодоовощеводства Казанского ГАУ И.М. Сержанов.

заместитель генерального директора РГУП «Бюро технической инвентаризации» МСАШКХРТ Шагиахметов А.А

УДК 528.7
ББК 26.12

© Казанский государственный аграрный университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Глава 1. Цели и задачи освоения дисциплины

- 1.1 Дистанционное зондирование
- 1.2 Преимущества методов дистанционного зондирования
- 1.3 Области применения данных ДЗЗ
- 1.4 Этапы дистанционного зондирования и анализа данных
- 1.5 Физические основы дистанционного зондирования
- 1.6 Электромагнитное излучение и его характеристики

Глава.2 Техника получения материалов дистанционного зондирования

- 2.1 Фотосъемки
- 2.2 Сканерные съемки
- 2.3 Радарные съемки
- 2.4 Тепловые съемки
- 2.5 Спектрометрическая съемка
- 2.6 Лидарные съемки

Глава.3 Физические основы аэро – космических съемок

- 3.1 Основные понятия и термины.
- 3.2 Схема получения видеоинформации при аэро- и космической съёмке
- 3.3 Классификация съёмочных систем
- 3.4 Основные критерии съёмочных систем.
- 3.5 Фотографические съёмочные системы
- 3.6 Нефотографические съёмочные системы

Глава.4 Использование летающих беспилотных аппаратов в фотограмметрии.

- 4.1 Наблюдение за посевами
- 4.2 Анализ почвы и рельефа полей

Глава.5 Примеры практического использования дистанционного зондирования в агропромышленном комплексе республики Татарстан

- 5.1 Управление посевами сельскохозяйственных культур на примере ярового рапса.
- 5.2 Мониторинг неиспользуемых пригородных земель Татарстана.

Список литературы

ВВЕДЕНИЕ

Фотограмметрия прошла большой путь – от съемки небольших участков местности с наземных станций и воздушных шаров до изучения планет и их спутников с автоматических космических кораблей.

Методы фотограмметрии отличаются оригинальностью и широким применением их для решения важнейших задач развития народного хозяйства укрепления обороноспособности страны.

Современная фотограмметрия развивается по следующим основным направлениям:

1. Повышение измерительных и изобразительных свойств снимков:

- создание более совершенных аэрофотоаппаратов с объективами, отличающимися большой разрешающей силой и возможно малой дисторсией;

- разработка эффективных методов оценки качества изображения.

Улучшения измерительных и изобразительных свойств позволит повысить точность фотограмметрических работ и сократить объем полевых работ по геодезическому обоснованию съемки и дешифрированию снимков.

2. Совершенствование и применение радиолокационных и других средств, позволяющих получить информацию о местности в любое время суток и независимо от метеорологических условий. Разработка методов использования этой информации для определения координат точек местности и составления топографических карт.

3. Определение элементов внешнего ориентирования снимков в полете. Повышение точности применяемых способов и разработка новых методов определения этих элементов приведет к значительному снижению объема полевых работ.

4. Совершенствование и широкое применение аналитической фототриангуляции, основанной на использовании автоматизированных высокоточных электронных вычислительных машин

- повышение эффективности методов построения и уравнивания маршрутных и блочных сетей,

- повышение эффективности методов измерения снимков,

- оптимальное использование элементов внешнего ориентирования снимков, зафиксированных в полете.

5. Автоматизация процессов составления топографических карт и фотокарт путем создания приборов и систем, позволяющих значительно поднять производительность труда и освободить оператора от выполнения однообразной и утомительной работы.

6. Развитие методов фотограмметрии применительно к решению не топографических задач с целью удовлетворения запросов различных отраслей науки и народного хозяйства.

7. Географические исследования и изучение природных ресурсов, а также решение других задач с помощью спутников, автоматических и пилотируемых аппаратов.

8. Исследование космического пространства по снимкам планет и их спутников, полученным с космических кораблей.

В нашей стране созданы все условия, необходимые для успешного решения этих сложных проблем и широкого развития фотограмметрии.

По современному определению Международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования (ISPRS), "Фотограмметрия и дистанционное зондирование - это искусство, наука и технология получения надежной информации средствами неконтактной съемки и другими датчиками о Земле и ее окружающей среде, других физических объектах и процессах путем регистрации, измерения, анализа и представления". Наибольшее применение фотограмметрия и дистанционное зондирование находят в аэрофотографии, при построении и обновлении топографических и кадастровых карт, а также при создании геоинформационных систем.

Применение цифровых методов фотограмметрии в практике топографических, кадастровых и других съемок, как и картографического обеспечения геоинформационных и кадастровых систем, стало реальностью сегодняшнего дня. И нет никаких сомнений в том, что вытеснение классических аналоговых методов обработки материалов аэрофотосъемки – задача уже ближайшего будущего. Это обстоятельство и послужило основанием для того, чтобы в действующих инструкциях по фотограмметрическим работам были обозначены как основные задачи, решаемые цифровыми методами, так и критерии их эффективности.

Дистанционное зондирование представляет собой процесс, посредством которого собирается информация об объекте, территории или явлении без непосредственного контакта с ним. К дистанционному зондированию относят все виды неконтактных съемок, которые проводятся с различных измерительных платформ: летательных воздушных и космических аппаратов (самолетов, вертолетов, космических кораблей, спутников и т. д.), судов и подводных лодок, наземных станций. При этом снимок определяется как двумерное метрическое изображение конкретных объектов, получаемое целенаправленно в результате дистанционной регистрации и (или) измерения собственного или отраженного излучения, и представляет собой наиболее целесообразную форму измерения, регистрации и визуализации излучения, несущего географическую информацию об исследуемых объектах.

Следовательно, дистанционное зондирование – метод получения информации об объекте или явлении путем анализа данных, собранных без контакта с изучаемым объектом. Новейшие достижения науки, техники, технологии и изучения земли, существенно повлияли на развитие дистанционного зондирования. Наибольшее влияние имеют:

- развитие космической техники и технологий, используемые для спутниковых навигационных систем;
- развитие электронно-вычислительной техники, в том числе появление мощных персональных компьютеров;

– развитие микроэлектроники и разработка новых типов сенсоров, способных фиксировать электромагнитное излучение с высокими геометрическими и радиометрическими параметрами;

– развитие лазерной и оптико-электронной техники, радиотехнических способов дистанционного изучения разнообразных объектов, в том числе земной поверхности;

Поэтому при помощи средств дистанционного зондирования решаются совершенно новые задачи как создание геоинформационных технологий, алгоритмов и программ, предназначенных для дешифрирования снимков и другие.

Таким образом, технические и технологические возможности дистанционного зондирования позволяют полностью переориентироваться на геоинформационные технологии. Которые играют значительную роль в создании рынка земли и недвижимости.

В градостроительстве и сфере управления городским хозяйством пространственное моделирование на базе аэрокосмических съемок позволяет специалистам принимать в короткие сроки оптимальные управленческие решения. Использование дистанционного зондирования вместе с ГИС-технологиями и пространственным моделированием для архивации достопримечательностей архитектуры, в археологии создают новые возможности для поисковых, научных и проектных работ. Важной областью применения дистанционного зондирования являются аэрокосмический дистанционный мониторинг экологической ситуации и безопасности жизнедеятельности в отдельных регионах. Дистанционное зондирование предоставляет большие возможности для мониторинга состояния трубопроводов, ЛЭП, железных и автомобильных дорог. Большое внимание уделяется развитию дистанционного зондирования Земли для изучения природных ресурсов, прогноза погоды, картографирования шельфовой зоны морей и океанов.

Самое главное, в области землеустройства ДЗЗ помогает решить следующие задачи:

- оперативно установить границы земельных участков;
- определить площадь и конфигурацию земельного участка;
- управлять посевами сельскохозяйственных культур;
- организовать мониторинг земельных ресурсов;
- прогнозировать урожайность возделываемых культур;
- принимать по вышеперечисленным вопросам оперативные решения.

Глава 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Фотограмметрия и дистанционное зондирование» являются освоение теоретических и практических основ применения данных дистанционного зондирования для создания планов и

карт, используемых при землеустроительных и кадастровых работах, информационного обеспечения мониторинга земель. Освоение дисциплины направлено на приобретение знаний о физических основах производства аэро- и космических съёмок, геометрических свойствах снимков, технологий фотограмметрической обработки и дешифрования снимков, приобретения навыков применения данных дистанционного зондирования в землеустройстве и кадастрах и в практической работе сельскохозяйственных формирований.

Задачи дисциплины - изучение основных положений формирования картографической, оперативной информации по материалам дистанционного зондирования. Способов их обработки и применения для целей землеустройства, кадастров, мониторинга земель;

- ознакомление с современными съёмочными системами;
- изучение метрических свойств аэроснимков, способов изготовления фотосхем;
- ознакомление с технологиями цифровой фотограмметрической обработки снимков;
- изучение современных технологий дешифрирования снимков для целей создания планов;
- ознакомление с технологиями создания планов и карт для целей землеустройства и кадастров;
- формирование навыков применения данных дистанционного зондирования в области управления земельными ресурсами, экологии и охране окружающей среды, для решения тематических задач, связанных с землеустройством и кадастрами.

Студенты, обучающиеся по данному направлению бакалавриата должны знать основы математического анализа, линейной алгебры, общего курса физики, основы землеустройства и кадастров.

Изучение дисциплины предполагает предварительное освоение следующих дисциплин учебного плана: «геодезия», «землеустройство», «земельный кадастр».

В результате освоения ОПОП бакалавриата по направлению подготовки 21.03.02 - землеустройство и кадастры обучающийся должен овладеть следующими компетенциями:

ОПК-1 - способностью осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **знать:** метрические и дешифровочные свойства аэро- и космических изображений, получаемых различными съёмочными системами;
- технологию дешифрирования снимков для целей создания кадастровых планов;
- технологию цифровой фотограмметрической обработки снимков для создания планов и карт для целей городского кадастра;

- перспективные направления получения и обработки аэро- и космической видеоинформации при выполнении специализированных изысканий, проектных работ, наблюдений за состоянием земель и природной среды.

- **уметь**: формировать заказ на специализированные аэро- и космические съемки;

- оценить качество выполнения заказа, а также оценить пригодность материалов съемок, выполненных другими организациями и ведомствами;

- выполнять комплекс фотограмметрических преобразований снимков для получения специальной метрической информации;

- выполнять специальные виды дешифрирования.

- **владеть** (иметь навыки): терминологией, принятой в дистанционном зондировании;

- способностью ориентироваться в специальной литературе;

- способностью использовать материалы дистанционного зондирования при прогнозировании, планировании и организации территории АТО в схемах землеустройства и территориального планирования;

- навыками создания и обновления цифровых моделей местности и других картографических материалов;

- навыками использования различных материалов аэро- и космических съёмок при землеустроительных проектных и кадастровых работах теоретическими и практическими решениями оптимизации выбора материалов съёмок для выполнения конкретных работ.

1.1. Дистанционное зондирование

Центральной проблемой современного экологического мониторинга является получение объективной информации об окружающей среде. Перспективным методом исследования поверхности нашей планеты и ее атмосферы является применение искусственных спутников Земли. Особенно это важно для бескрайних просторов Сибири, где расположены основные запасы полезных ископаемых, основные лесные ресурсы, крупные промышленные и гидротехнические комплексы, но низка плотность населения. Интерес к космическим методам мониторинга возрос в последние годы в связи со свертыванием наземных и авиационных средств контроля окружающей среды, с одной стороны, и ростом доступности космической информации. Космическая радиолокация является всепогодным средством наблюдения поверхности Земли. За счет применения бокового обзора и синтеза апертуры при космической радиолокации достигается такое же пространственное разрешение, как в оптическом диапазоне. (Фото 1)

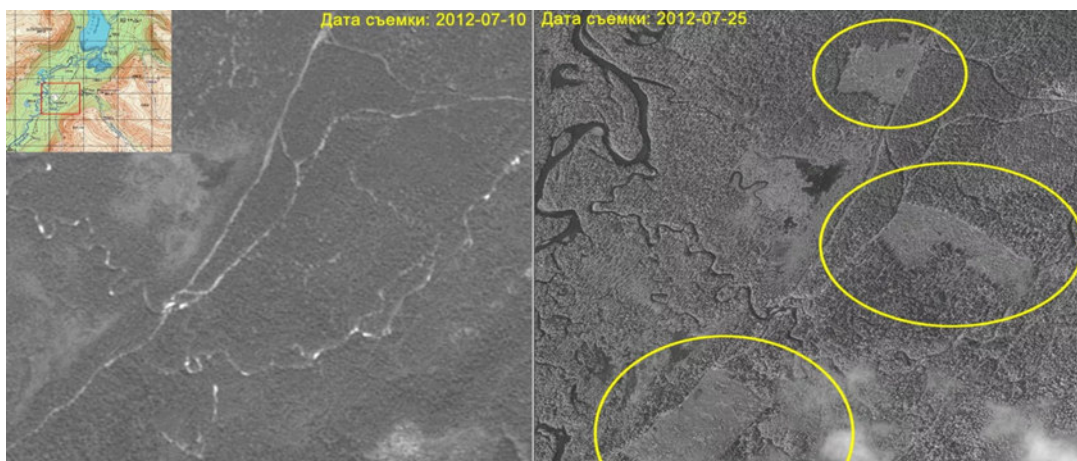


Фото 1 Общий вид космической съемки промышленных лесов Сибири.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – получение информации о поверхности Земли и объектах на ней, атмосфере, океане, верхнем слое земной коры бесконтактными методами, при которых регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние. Общей физической основой дистанционного зондирования является функциональная зависимость между зарегистрированными параметрами собственного или отраженного излучения объекта и его биогеофизическими характеристиками и пространственным положением. Суть метода заключается в интерпретации результатов измерения электромагнитного излучения, которое отражается либо излучается объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства. С помощью дистанционного зондирования изучают физические и химические свойства объектов. Примерами естественных форм ДЗ являются зрение, обоняние и слух человека. К методам дистанционного зондирования относят и фотографическую съемку, существенным ограничением которой является то, что эмульсионный слой фотопленки чувствителен только к излучению в видимой либо близкой к ней части электромагнитного спектра.

В современном облике дистанционного зондирования выделяются два взаимосвязанных направления – естественнонаучное (дистанционные исследования) и инженерно-техническое (дистанционные методы), что нашло отражение в широко распространенных англоязычных терминах «**remote sensing**» и «**remote sensing techniques**». Понимание сущности дистанционного зондирования неоднозначно. В качестве предмета дистанционного зондирования как научной дисциплины рассматриваются пространственно-временные свойства и отношения природных и социально-экономических объектов, проявляющиеся прямо или косвенно в собственном или отраженном излучении, дистанционно регистрируемом из космоса или с воздуха в виде двумерного изображения – снимка. Эта существенная часть дистанционного зондирования названа

аэрокосмическим зондированием (АКЗ), что подчеркивает его преимущество с традиционными аэрометодами. Метод аэрокосмического зондирования основан на использовании снимков, которые, как свидетельствует практика, представляют наибольшие возможности для комплексного изучения земной поверхности.

Методы ДЗ основаны на использовании сенсоров, которые размещаются на космических аппаратах и регистрируют электромагнитное излучение в форматах, существенно более приспособленных для цифровой обработки, и в существенно более широком диапазоне электромагнитного спектра. В большинстве методов ДЗ используют инфракрасный диапазон отраженного излучения, тепловой инфракрасный и радиодиапазон электромагнитного спектра.

Во всех странах действенным стимулом развития аэрокосмического зондирования служат запросы военных ведомств. С внедрением космических методов и современных цифровых технологий аэрокосмическое зондирование приобретает все более важное экономическое значение и становится обязательным элементом высшего образования в природоведческих вузах, превращается в мощное средство изучения Земли от локальных исследований отдельных компонентов до глобального изучения планеты в целом. Поэтому при изложении различных аспектов аэрокосмического зондирования целесообразно рассматривать его как метод исследований, результативно применяемый во всех науках о Земле, и, прежде всего в географии.

Материалы дистанционного зондирования (ДЗ) являются частью большой системы сбора, переработки, регистрации и использования данных.

Процесс сбора данных дистанционного зондирования и их использование в географических информационных системах (ГИС) схематически представлены на рисунке 1.

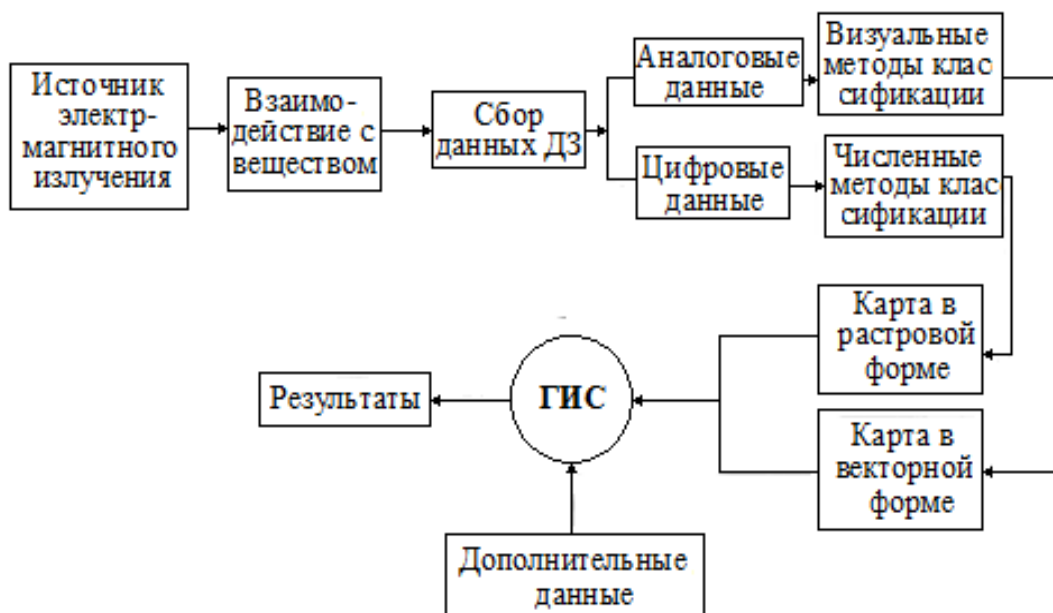


Рис .1 Интеграция данных дистанционного зондирования в (ГИС) геоинформационных системах

Правильно организованная система дистанционных исследований должна быть ориентирована на решение конкретных геологических задач, обуславливающих выбор орбит космических носителей, набор датчиков, характер сбора, переработки и передачи на наземные комплексы первичных данных и тип представляемых материалов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие задачи ставит перед собой «Дистанционное зондирование Земли» (ДЗЗ)?
2. Где применяются данные дистанционного зондирования?
3. Какие два взаимосвязанных направления выделяются в дистанционном зондировании?
4. На чем основан метод аэрокосмического зондирования?

1.2. Преимущества методов дистанционного зондирования

Данные спутниковой съемки содержат полезную информацию, полученную в различных спектральных диапазонах, и сохраняются в цифровом виде. Поскольку космические снимки охватывают большие области, их можно использовать для тематических региональных исследований и идентификации крупных пространственных объектов, в частности, структур рельефа. Регулярная съемка территорий позволяет проводить мониторинг водных ресурсов, агротехнического состояния сельскохозяйственных культур, эродированности почв, развития инфраструктуры городов и других процессов, объектов и явлений, которые изменяются под воздействием природных и антропогенных факторов. С помощью космической съемки достаточно просто получить данные о труднодоступных областях. Еще одним преимуществом ДЗЗ является возможность получения снимков разного разрешения, что позволяет применять данные дистанционного зондирования для решения различных задач в разных предметных областях. Поскольку анализ материалов ДЗЗ выполняется камерально, требуется меньше полевых исследований, что окупает затраты на приобретение данных. Экономически эффективным является и применение космических снимков для оперативного обновления средне- и мелкомасштабных карт. Цифровой формат материалов ДЗЗ и использование компьютеров для их обработки и анализа обеспечивают быстрое получение результатов.

Основные преимущества данных дистанционного зондирования:

- данные содержат полезную информацию, полученную в различных спектральных диапазонах, и сохраняются в цифровом виде;

- космические снимки охватывают большие области, их можно использовать для тематических региональных исследований и идентификации крупных пространственных объектов;

- регулярная съемка территорий позволяет проводить мониторинг объектов и явлений и процессов, которые изменяются под воздействием природных и антропогенных факторов (водных ресурсов, состояния сельскохозяйственных культур, почв, инфраструктуры городов);

- возможность достаточно просто получить данные о труднодоступных областях и получения снимков разного разрешения для решения разнообразных задач в разных предметных областях;

- экономически эффективным является применение космических снимков для оперативного обновления средне- и мелкомасштабных карт. Тем не менее, имеются следующие недостатки данных дистанционного зондирования:

- высокая стоимость программного обеспечения для обработки цифровых снимков;

- результаты дешифрирования материалов дистанционного зондирования, не подтвержденные полевыми исследованиями, не всегда обладают достаточной надежностью.

К достоинствам информации, полученной при дешифрировании космических снимков, можно отнести следующее:

- многомасштабность - информация о природной среде, до 1 кв. км (аэросъемки, соответственно с пространственным разрешением от 1 км до 10 см);

- многозональность - информация о природной среде должна быть получена синхронно в разных спектральных интервалах отражения солнечного света собственного излучения Земли, а также другими методами зондирования (радарными, лазерными и т.д.);

- автоматизация - вся информация о природной среде в аналогово-цифровой форме вводится в память ЭВМ и обрабатывается с помощью машинных алгоритмов при участии исследователей природоведческого профиля;

- непрерывность - вся информация от дистанционного приемника на космических летательных аппаратах (КЛА) до выхода результатов в форме карты или сигнала для научного и практического использования должна обрабатываться в одном масштабе времени, деятельности, достоверности и объеме;

- комплексность - вся информация о природной среде должна быть многосторонней для изучения разных компонентов Земли (литосферы, атмосферы, гидросферы, биосферы и т.д.), используемых в разных отраслях народного хозяйства.

- генерализация - с уменьшением масштаба на снимке теряются многие детали изображения природной среды, но в результате «космической» (спектральной, геометрической и тематической) генерализации на нем «проявляется» новая информация. Например, за счет более вы-

сокой степени визуализации крупных полей с различной оптической плотностью надежно дешифрируются линеаменты, кольцевые структуры, морские течения и другие природные объекты и явления (фото 2.)



Фото 2. Космический снимок села Габисшево
Лаишевского района РТ

К достоинствам дистанционных методов можно отнести и то, что при большом территориальном обзоре динамические процессы можно анализировать с учетом более широкого спектра географических закономерностей и взаимосвязей между компонентами природной среды. Практика показала, что при использовании космических методов можно отказаться от традиционного поэтапного метода карт составления и перейти на технологию обновления карты требуемого масштаба, а не всего масштабного ряда. Это сокращает цикл работ на несколько лет. Кроме того, в связи с большим территориальным охватом космического снимка и малыми искажениями контуров в горных районах уменьшается трудоемкость работ по обновлению карт.

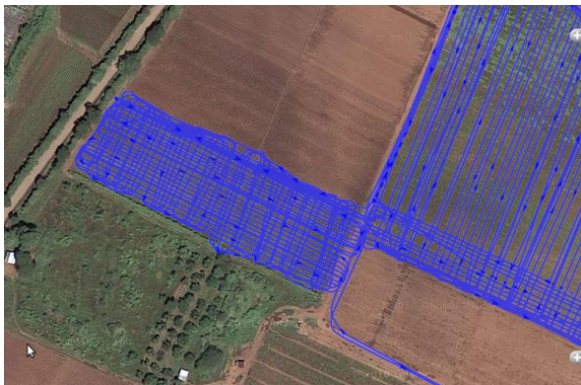
Вопросы для самоконтроля

1. Назовите преимущества дистанционных методов?
2. Функции регулярной съемки территорий?
3. Назовите основные недостатки ДЗЗ?

1.3. Области применения данных ДЗЗ

На данный момент сложно найти передовую отрасль, направление деятельности людей, где не применялись технологии ДЗ. Рассмотрим кратко основные области применения данных ДЗ. Сельское, лесное и охотничье хозяйство. В данной области данные ДЗ применяют для различения типов вегетации и их состояния, оценки площадей посевов,

лесных и охотничьих угодий по типам культур, определяют состояние почв и площади выгоревших участков.

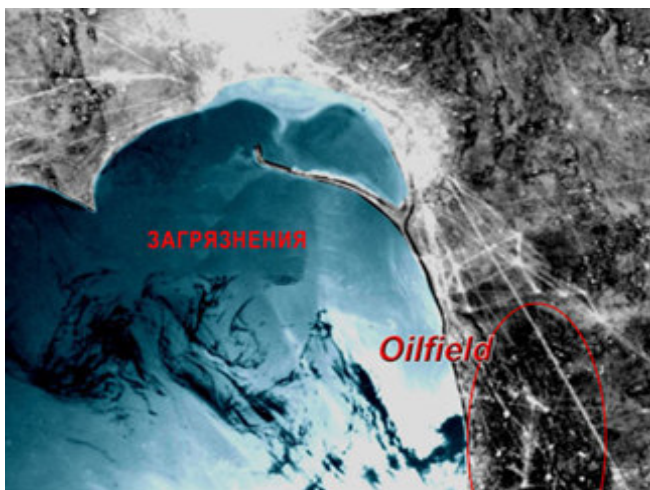
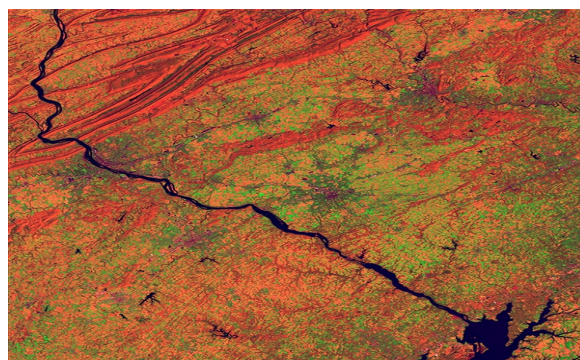


Картография и землепользование.

При решении различных задач землепользования с использованием данных ДЗ важными являются классификация, картографирование и обновление карт, категоризация земель, разделение урбанизированных и сельских районов, региональное планирование, картирование

транспортных сетей, картирование границ воды и суши.

Геология. Это одна из первых областей, при изучении которой активно использовалась съемка с воздушных шаров, самолетов и, впоследствии, с космических платформ. Наиболее часто данные ДЗ используют в этой области для различения типов пород, картирования больших геологических образований, обновления



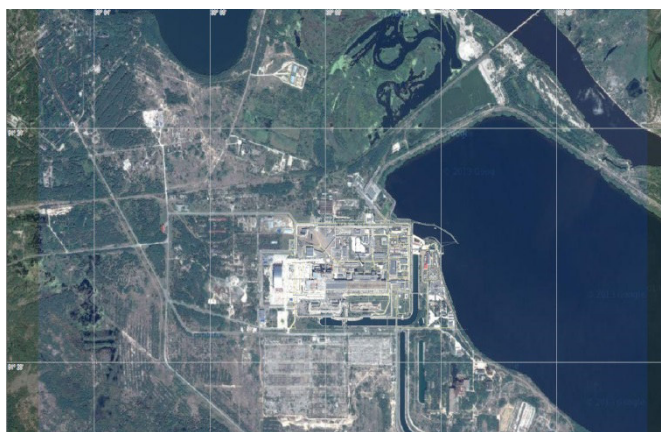
геологических карт и поиска указаний на определенные минералы.

Водные ресурсы. При исследовании водных ресурсов с использованием данных ДЗ чаще всего специалисты определяют границы водных объектов, их площади и объемы, исследуют мутность и турбулентность, проводят картирование областей затопления и

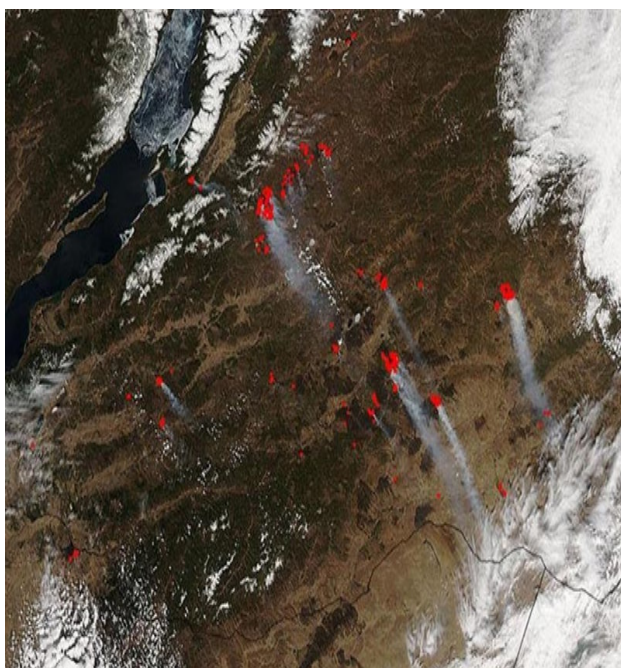
границ снежного покрова, динамику их изменения.

Океанография и морские ресурсы.

При решении задач в этой области актуальными являются обнаружение живых морских организмов, исследование течений, картирование береговой линии, картирование отмелей и мелей, картирование льдов для целей



судовождения, а также исследование морских волн.



Окружающая среда. Пожалуй, наиболее актуальными для использования данных ДЗ является именно эта область. Данные ДЗ активно используются для мониторинга разработок полезных ископаемых, картирования и мониторинга загрязнения поверхностных вод, обнаружения атмосферного загрязнения, определения последствий стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций, а также мониторинга воздействия человеческой активности на окружающую среду в целом.

Таким образом, одними из наиболее распространенных задач в представленных областях, использующих данные ДЗ, являются задачи мониторинга и наблюдения за определенными территориями земной поверхности и атмосферы, обновление и составление карт, а также составление тематических карт и атласов. Как известно топографические карты дают человеку представление об окружающем мире и позволяют легко ориентироваться даже на незнакомой местности. Однако топографические карты крупных масштабов, таких как 1:10000 – 1:50000, достаточно редко доступны простому потребителю, в то время, как с развитием сети Internet и картографического сервиса Google Earth, доступны космические изображения поверхности Земли с высоким пространственным разрешением. Это обеспечивает, возможность не только использовать их для ориентировки на местности, но и помогает вносить коррективы в имеющиеся старые топографические карты. Городские службы, активно занимающиеся обновлением топографических карт населенных пунктов, наиболее заинтересованы в получении периодической съемки с высоким разрешением определенных участков земной поверхности. В качестве первичного материала для топографических карт традиционно использовались аэрофотоснимки. Космические цифровые снимки открывают новые возможности: удешевление повторных съемок, увеличение площади охвата местности и снижение искажений, вызванных рельефом. Кроме того, упрощается генерализация изображения на мелкомасштабных картах: вместо трудоемкого упрощения крупномасштабных карт можно сразу использовать космические снимки среднего разрешения. Поэтому съемки из космоса используют все шире и в перспективе могут стать основным методом обновления топографических карт.

Получение и обработка данных для ГИС – наиболее важный и трудоемкий этап создания подобных информационных систем. В настоящее время самым перспективным и экономически целесообразным считается метод получения данных об объектах на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и GPS-измерений.

Идеальная схема дистанционного зондирования показана на рисунке 2.

Ее составляющими являются источник электромагнитного излучения, процесс распространения излучения и его взаимодействие с веществом объекта, ответный сигнал, регистрация данных и предоставление их потребителям.

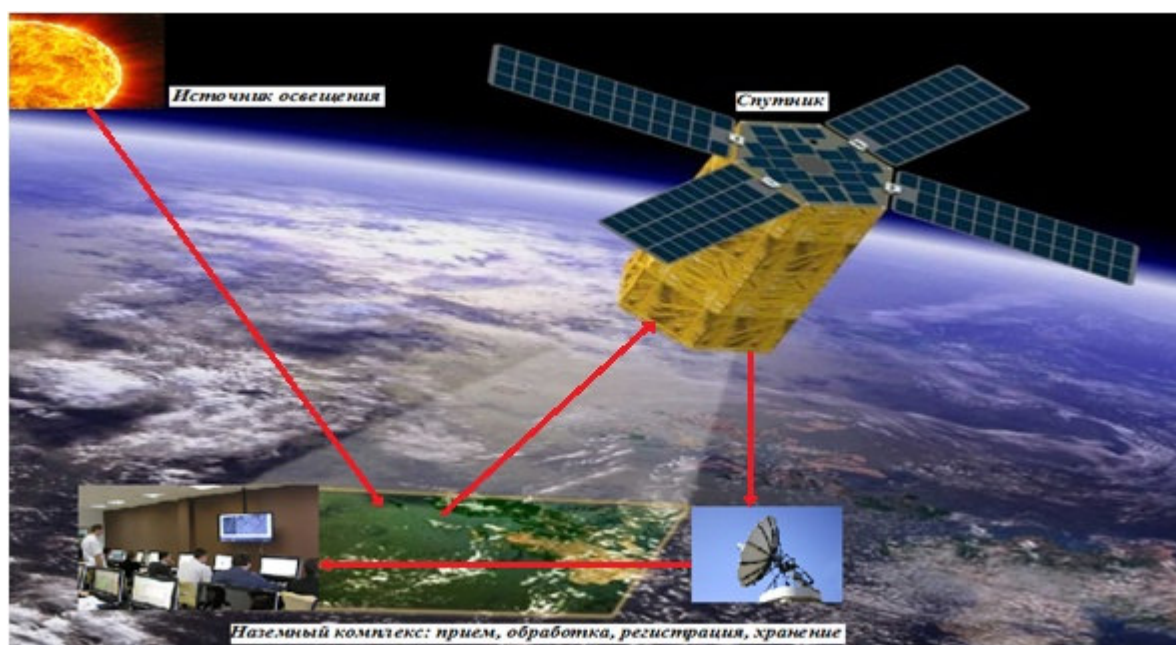


Рис. 2 Схема дистанционного зондирования

В этой модели источник генерирует электромагнитное излучение с высоким уровнем энергии во всем диапазоне длин волн, причем интенсивность излучения является известной величиной, которая не зависит от длины волны. Излучение не взаимодействует с атмосферой и распространяется через нее без потери энергии. Падающее излучение взаимодействует с веществом объекта, в результате чего возникает отраженное либо собственное вторичное излучение, однородное во всем диапазоне длин волн.

Излучение от объекта попадает на сенсор, который регистрирует пространственную информацию. Идеальный сенсор должен иметь простую и компактную конструкцию и обладать высокой точностью. Кроме того, он должен почти не потреблять энергии для своей работы. Данные, зарегистрированные сенсором, передаются на наземную станцию, где мгновенно преобразуются в интерпретируемую форму, которая позволяет идентифицировать все части изучаемого объекта по их физиче-

ским, химическим и биологическим свойствам. В этом виде данные предоставляются потребителям, которые, тем не менее, должны обладать большим опытом использования материалов ДЗ в своих предметных областях.

Традиционно к данным дистанционного зондирования относят только те методы, которые позволяют получить из космоса или с воздуха изображение земной поверхности в каких-либо участках электромагнитного спектра. Существует несколько видов съемки, использующих специфические свойства излучений с различными длинами волн. При проведении географического анализа, помимо собственно ДЗЗ, обязательно используются пространственные данных из других источников – цифровые топографические и тематические карты, схемы инфраструктуры, внешние базы данных. Снимки позволяют не только выявлять различные явления и объекты, но и оценивать их количественно.

Дистанционные методы характеризуются тем, что регистрирующий прибор значительно удален от исследуемого объекта. При таких исследованиях явлений и процессов на земной поверхности расстояния до объектов могут измеряться от единиц до тысяч километров. Это обстоятельство обеспечивает необходимый обзор поверхности и позволяет получать максимально генерализованные изображения. Существуют различные классификации ДЗЗ. Регистрироваться может собственное излучение объектов и отраженное излучение других источников. Этими источниками могут быть Солнце или сама съемочная аппаратура. В последнем случае используется когерентное излучение (радары, сонары и лазеры), что позволяет регистрировать не только интенсивность излучения, но также и его поляризацию, фазу и доплеровское смещение, что позволяет получить дополнительную информацию. На рисунке 3 представлено когерентное излучение, при котором используются радары, или сонары, или лазеры.

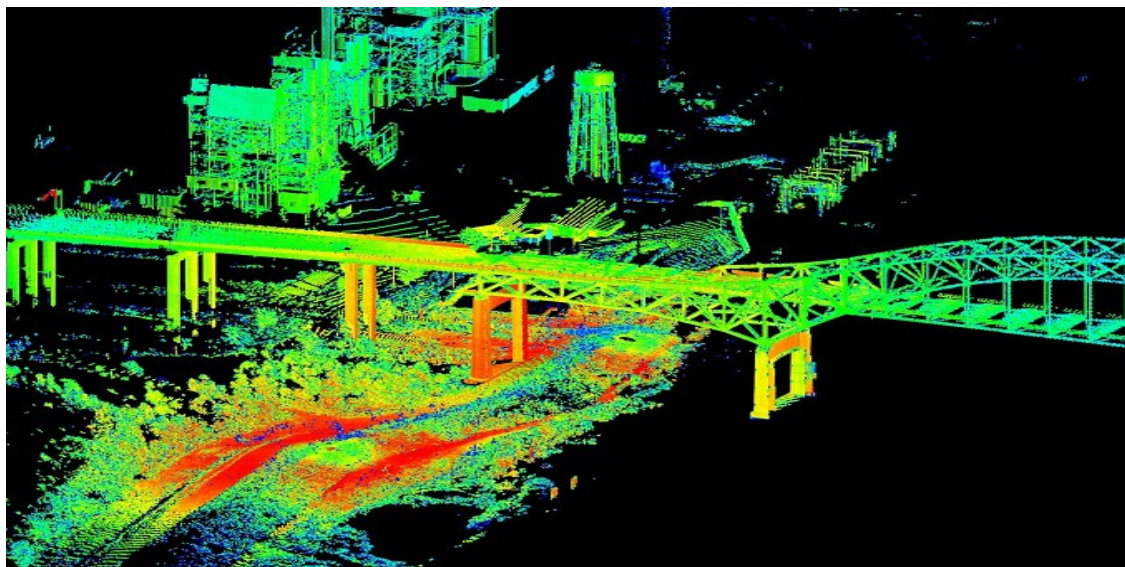


Рис. 3 Когерентное излучение

Работа само излучающих (активных) сенсоров не зависит от времени суток, но зато требует значительных затрат энергии. Таким образом, виды зондирования по источнику сигнала можно разделить на:

- активное (вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия);
- пассивное (собственное, естественное отраженное или вторичное тепловое излучение объектов на поверхности Земли, обусловленное солнечной активностью). Съёмочная аппаратура может размещаться на различных платформах.

Платформой может быть космический аппарат (КА, спутник), самолет, вертолет и даже простая тренога. В следующем случае мы имеем дело с наземной съёмкой боковых сторон объектов (например, для архитектурных и реставрационных задач) или наклонной съёмкой с естественных или искусственных высотных объектов. На одной платформе может размещаться несколько съёмочных устройств, называемых инструментами или сенсорами, что обычно для КА. Например, спутники Ресурс-О1 несут сенсоры МСУ-Э и МСУ-СК, а спутники SPOT – по два одинаковых сенсора HRV (SPOT-4 – HRVIR). Понятно, что чем дальше находится платформа с сенсором от изучаемого объекта, тем больший охват и меньшую детализацию будут иметь получаемые изображения.

В настоящее время выделяют следующие виды съёмки для получения данных дистанционного зондирования:

1. Космическая съёмка (фотографическая или оптико-электронная):

- панхроматическая (чаще в одном широком видимом участке спектра);
- простейший пример черно-белая съёмка;
- цветная (съёмка в нескольких, чаще реальных цветах на одном носителе);
- многозональная (одновременная, но раздельная фиксация изображения в разных зонах спектра);
- радарная (радиолокационная);

2. Аэрофотосъёмка (фотографическая или оптико-электронная):

- те же виды ДЗЗ, что и в космической съёмке;
- лидарная (лазерная).

Оба вида съёмки находят широкое применение в нефтегазовой отрасли при создании ГИС предприятия, при этом каждый из них занимает свою нишу. Космическая съёмка (КС), имеет более низкое разрешение (от 30 до 1 м в зависимости от типа съёмки и типа космического аппарата), но за счет этого охватывает большие пространства. Космическая съёмка используется для съёмки больших площадей в целях получения оперативной и актуальной информации о районе предполагаемых геологоразведочных работ, базовой подосновы для создания глобальной ГИС на район разработки полезных ископаемых, экологического монито-

ринга нефтяных разливов и т.п. При этом используется как обычная монохромная (черно-белая съемка), так и спектрозональная. Аэрофотосъемка (АФС), позволяет получать изображение более высокого разрешения (от 1-2 м до 5-7 см). Аэрофотосъемка используется для получения высоко детальных материалов для решения задач земельного кадастра применительно к арендуемым участкам добычи полезных ископаемых, учета и управления имуществом. Кроме того, использование аэрофотосъемки на сегодняшний день представляется оптимальным вариантом получения данных для создания ГИС на линейно-протяженные объекты (нефте-газопроводы и т.д.) за счет возможности применения «коридорной» съемки. Характеристики получаемых снимков (и АФС, и КС), т.е. возможность обнаружить и измерить то или иное явление, объект или процесс зависят от характеристик сенсоров соответственно. Главной характеристикой является разрешающая способность. Системы ДЗЗ характеризуются несколькими видами разрешений: пространственным, спектральным, радиометрическим и временным. Под термином «разрешение» обычно подразумевается пространственное разрешение. Пространственное разрешение (рисунок 4) характеризует размер наименьших объектов, различимых на изображении.

В зависимости от решаемых задач, могут использоваться данные низкого (более 100 м), среднего (10 – 100 м) и высокого (менее 10 м) разрешений.

Снимки низкого пространственного разрешения являются обзорными и позволяют одномоментно охватывать значительные территории – вплоть до целого полушария. Такие данные используются чаще всего в метеорологии, при мониторинге лесных пожаров и других масштабных природных бедствий.



Рис 4. Снимок пространственного разрешения 1,84

Снимки среднего пространственного разрешения на сегодня – основной источник данных для мониторинга природной среды. Спутники со съемочной аппаратурой, работающей в этом диапазоне пространственных разрешений, запускались и запускаются многими странами – Россией, США, Францией и др., что обеспечивает постоянство и непрерывность наблюдения. Съемка высокого разрешения из космоса до недавнего времени велась почти исключительно в интересах военной разведки, а с воздуха – с целью топографического картографирования. Однако сегодня уже есть несколько коммерчески доступных космических сенсоров высокого разрешения (KBP 1000, IRS, IKONOS), позволяющих проводить пространственный анализ с большей точностью или уточнять результаты анализа при среднем или низком разрешении.

Спектральное разрешение указывает на то, какие участки спектра электромагнитных волн (ЭМВ) регистрируются сенсором. При анализе природной среды, например, для экологического мониторинга, этот параметр – наиболее важный. Условно весь диапазон длин волн, используемых в ДЗЗ, можно поделить на три участка – радиоволны, тепловое излучение (ИК-излучение) и видимый свет. Такое деление обусловлено различием взаимодействия электромагнитных волн и земной поверхности, различием в процессах, определяющих отражение и излучение ЭМВ. Наиболее часто используемый диапазон ЭМВ – видимый свет и примыкающее к нему коротковолновое ИК-излучение. В этом диапазоне отражаемая солнечная радиация несет в себе информацию, главным образом, о химическом составе поверхности. Подобно тому, как человеческий глаз различает вещества по цвету, сенсор дистанционного зондирования фиксирует «цвет» в более широком понимании этого слова. В то время как человеческий глаз регистрирует лишь три участка (зоны) электромагнитного спектра, современные сенсоры способны различать десятки и сотни таких зон, что позволяет надежно выявлять объекты и явления по их заранее известным спектрограммам. Для многих практических задач такая детальность нужна не всегда. Если интересующие объекты известны заранее, можно выбрать небольшое число спектральных зон, в которых они будут наиболее заметны. Так, например, ближний ИК-диапазон очень эффективен в оценке состояния растительности, определении степени ее угнетения. Для большинства приложений достаточный объем информации дает многозональная съемка со спутников LANDSAT (США), SPOT (Франция), Ресурс-О (Россия). Для успешного проведения съемки в этом диапазоне длин волн необходимы солнечный свет и ясная погода. Обычно оптическая съемка ведется либо сразу во всем видимом диапазоне (панхроматическая), либо в нескольких более узких зонах спектра (многозональная). При прочих равных 4 условиях, панхроматические снимки обладают более высоким пространственным разрешением. Они наиболее пригодны для топографических задач и для уточнения границ объектов, выделяемых на многозональных снимках меньшего пространственного разрешения.

Тепловое ИК-излучение (рис 5) несет информацию, в основном, о температуре поверхности снимаемого объекта.

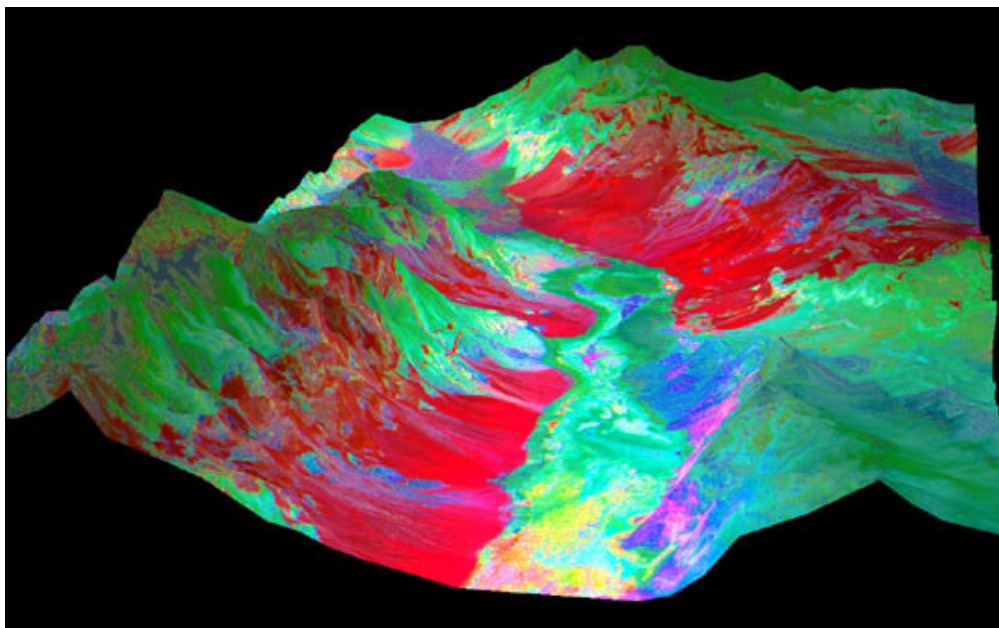


Рис 5. Тепловое ИК-излучение

Помимо прямого определения температурных режимов видимых объектов и явлений (как природных, так и искусственных), тепловые снимки позволяют косвенно выявлять то, что скрыто под землей – подземные реки, трубопроводы и т.п. Поскольку тепловое излучение создается самими объектами, для получения снимков не требуется солнечный свет (он даже, скорее, мешает). Такие снимки позволяют отслеживать динамику лесных пожаров, нефтяные и газовые факелы, процессы подземной эрозии. Следует отметить, что получение космических тепловых снимков высокого пространственного разрешения технически затруднительно, поэтому сегодня доступны снимки с разрешением около 100 м. Много полезной информации дает также тепловая съемка с самолетов.

Сантиметровый диапазон радиоволн используется для радарной съемки. Важнейшее преимущество снимков этого класса – в их всепогодности. Поскольку радар регистрирует собственное, отраженное земной поверхностью, излучение, для его работы не требуется солнечный свет. Кроме того, радиоволны этого диапазона свободно проходят через сплошную облачность и даже способны проникать на некоторую глубину в почву. Отражение сантиметровых радиоволн от поверхности определяется ее текстурой («шероховатостью») и наличием на ней всевозможных пленок. Так, например, радары способны фиксировать наличие нефтяной пленки толщиной 50 мкм и более на поверхности водоемов даже при значительном волнении. В принципе,

радарная съемка с самолетов способна обнаруживать подземные объекты, например, трубопроводы и утечки из них.

Радиометрическое разрешение определяет диапазон различных на снимке яркостей. Большинство сенсоров обладают радиометрическим разрешением 6 или 8 бит, что наиболее близко к мгновенному динамическому диапазону зрения человека. Но есть сенсоры и с более высоким радиометрическим разрешением (10 бит для AVHRR и 11 бит для IKONOS), позволяющим различать больше деталей на очень ярких или очень темных областях снимка. Это важно в случаях съемки объектов, находящихся в тени, а также когда на снимке одновременно находятся большие водные поверхности и суша. Кроме того, такие сенсоры, как AVHRR имеют радиометрическую калибровку, что позволяет проводить точные количественные измерения. Наконец, временное разрешение определяет, с какой периодичностью один и тот же сенсор может снимать некоторый участок земной поверхности. Этот параметр весьма важен для мониторинга чрезвычайных ситуаций и других быстро развивающихся явлений. Большинство спутников (точнее, их семейств) обеспечивают повторную съемку через несколько дней, некоторые – через несколько часов. В критических случаях для ежедневного наблюдения могут использоваться снимки с различных спутников, однако, нужно иметь в виду, что заказ и доставка сами по себе могут потребовать немалого времени. Одним из вариантов решения является приобретение приемной станции, позволяющей принимать данные непосредственно со спутника. Это удобное решение для ведения постоянного мониторинга используется некоторыми организациями на территории России, обладающими приемными станциями данных со спутников Ресурс-О. Для отслеживания изменений на какой-либо территории важна также возможность получения архивных (ретроспективных) снимков. Кроме того, ДЗЗ могут классифицироваться по различным видам разрешения и охвата, по типу носителя данных (фотографические и цифровые), по принципу работы сенсора (фотоэффект, пироэффект и др.), по способу формирования (развертки) изображения, по специальным возможностям (стерео режим, сложная геометрия съемки), по типу орбиты, с которой производится съемка, и т.д. Для приема и обработки данных ДЗЗ с космических аппаратов используются следующие наземные комплексы приема и обработки данных (НКПОД):

- антенный комплекс;
- приемный комплекс;
- комплекс синхронизации, регистрации и структурного восстановления;
- программный комплекс.

НКПОД обеспечивает:

- формирование заявок на планирование съемки земной поверхности и приема данных;

- распаковку информации с сортировкой по маршрутам и выделением массивов видеоинформации и служебной информации;
- восстановление строчно-линейной структуры видеоинформации, декодирование, радиометрическую коррекцию, фильтрацию, преобразование динамического диапазона, формирование обзорного изображения и выполнение других операций цифровой первичной обработки;
- анализ качества полученных изображений с использованием экспертных и программных методов;
- каталогизацию и архивацию информации;
- геометрическую коррекцию и геопривязку изображений с использованием данных о параметрах углового и линейного движения космических аппаратов и/или опорных точек на местности;
- лицензионный доступ к данным, получаемых со многих зарубежных спутников ДЗЗ. Аппаратная составляющая НКПОД работает в тесной взаимосвязи с программным комплексом.

Программное обеспечение для управления антенным и приемным комплексом выполняет следующие основные функции:

- автоматическую проверку функционирования аппаратной части НКПОД;
- расчет расписания сеансов связи, т. е. прохождения спутника через зону видимости НКПОД;
- автоматическую активизацию НКПОД и прием данных в соответствии с расписанием;
- расчет траектории спутника и управление антенным комплексом для сопровождения спутника;
- форматирование принимаемого информационного потока и запись его на жесткий диск;
- индикацию текущего состояния системы и информационного потока;
- автоматическое ведение журналов работы. При программном обеспечении появляется возможность управления НКПОД с удаленного терминала через локальную сеть или сеть Интернет. В состав программного обеспечения НКПОД, как правило, входят средства для ведения электронного каталога изображений и архивации. Поиск изображений в каталоге выполняется по следующим основным признакам: наименование спутника, тип съемочной аппаратуры и режим ее работы, дата и время съемки, территория (географические координаты). Дополнительно может устанавливаться программное обеспечение для визуализации, фотограмметрической и тематической обработки данных ДЗЗ, такие как:
 - INPHO (компания INPHO, Германия)
 - полнофункциональная фотограмметрическая система; – ENVI (корпорация ITT Visual Information Solutions, США)

- программный комплекс для обработки данных ДЗЗ и их интеграции с данными ГИС; – ArcGIS (компания ESRI, США)
- программное решение для построения корпоративных, отраслевых, региональных, государственных ГИС. Для обеспечения максимального радиуса обзора антенный комплекс должен устанавливаться так, чтобы горизонт был открыт от углов места 2 и выше в любом азимутальном направлении. Для качественного приема существенным является отсутствие радиопомех в диапазоне от 8,0 до 8,4 ГГц (передающие устройства радиорелейных, тропосферных и других линий связи). Следует также отметить, что по оценкам экспертов, в ближайшем будущем данные дистанционного зондирования станут основным источником информации для ГИС, в то время как традиционные карты будут использоваться только на начальном этапе в качестве источника статичной информации (рельеф, гидрография, основные дороги, населенные пункты, административное деление). В настоящее время в нефтегазовой отрасли наблюдается бурный всплеск применения спутниковых навигационных систем, предназначенных для определения параметров пространственного положения объектов. Сегодня применяются две системы второго поколения американская GPS (Global Positioning System), имеющая также название NAVSTAR, и российская ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система).

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные области применения данных ДЗЗ?
2. Опишите схему дистанционного зондирования?
3. Назовите наземные комплексы приема и обработки данных?
4. Что обеспечивает НКПОД?

1.4. Этапы дистанционного зондирования и анализа данных.

Во многих областях данные дистанционного зондирования являются ключевым компонентом в процессе принятия решений. Дистанционное зондирование можно рассматривать как составную часть информационной системы. Потребитель и его нужды является главным звеном любой системы управления информацией. Информационные запросы логически связаны с требованиями, предъявляемыми заказчиками и потребителями продукции к материалам дистанционного зондирования. Оптимальный способ использования данных ДЗЗ заключается в их анализе совместно с информацией из других источников. Тогда они становятся необходимой составляющей процесса принятия решений и моделирования в любой предметной области. На рисунке 6. представлена схема процесса получения и анализа данных ДЗ.

При дистанционном зондировании для получения информации применяются: аэрокосмическая стереосъемка, многозональная, многовременная, многоуровневая и многополяризационная съемки.

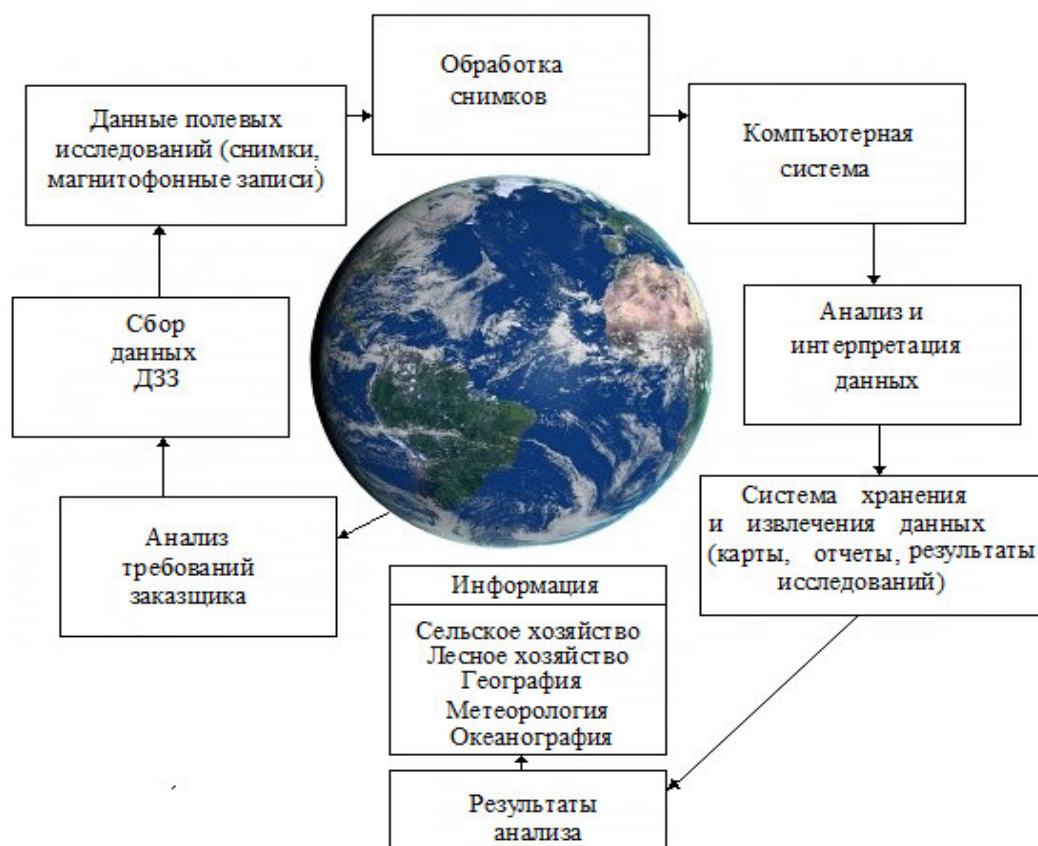


Рис. 6 Схема процесса получения и анализа данных ДЗ

Аэрокосмическая стереосъемка. Получение изображений с перекрытием из нескольких последовательных точек воздушного или космического пространства позволяет получить представление о трехмерных объектах с необходимой точностью.

Многозональная съемка. Использование многозональных снимков основано на уникальности тоновых характеристик различных объектов. Объединение яркостных данных из снимков в различных спектральных 10 диапазонах позволяет безошибочно выделять определенные пространственные структуры.

Многовременная съемка. Плановая съемка в заранее определенные даты позволяет выполнять сравнительный анализ снимков тех объектов, характеристики которых изменяются во времени.

Многоуровневая съемка. Съемку с различными уровнями дискретизации используют для получения все более подробной информации об изучаемой территории.

Как правило, весь процесс сбора данных подразделяют на три уровня: космическая съемка, аэросъемка и наземные исследования.

Много поляризационная съемка. Как правило, весь процесс сбора данных подразделяют на три уровня: космическая съемка, аэросъемка и наземные исследования. Много поляризационная съемка. Снимки, полученные этим методом, используют для проведения границ

между объектами на основе различий в поляризационных свойствах отраженного излучения. Так, например, отраженное излучение от водной поверхности обычно более сильно поляризовано, чем отраженное излучение от растительного покрова. Обработку, анализ и интерпретацию данных ДЗ выполняют несколько специалистов из разных предметных областей. Результаты такого анализа обычно представляют в виде набора тематических карт. Данные дистанционного зондирования изучают во взаимосвязи друг с другом.

Для каждодневной работы и принятия решений используют наиболее эффективное средство манипулирования данными, инструмент единого подхода к управлению и обработке пространственной информации – географическую информационную систему (ГИС).

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите оптимальный способ использования данных ДЗ?
2. Из каких пунктов состоит схема процесса получения и анализа данных ДЗ?
3. Перечислите виды съемок, применяемые при дистанционном зондировании для получения информации?

1.5. Физические основы дистанционного зондирования

При наблюдении Земли из космоса используют дистанционные методы: исследователь получает возможность на расстоянии (дистанционно) получать информацию об изучаемом объекте.

Дистанционные методы, как правило, являются косвенными, то есть измеряются не интересующие параметры объектов, а некоторые связанные с ними величины. Например, нас может интересовать состояние сельскохозяйственных посевов. Но аппаратура спутника регистрирует лишь интенсивность светового потока от этих объектов в нескольких участках оптического диапазона. Для того, чтобы «расшифровать» такие данные, требуются предварительные исследования, включающие в себя следующие подспутниковые эксперименты:

- по изучению состояния растений контактными методами;
- по изучению отражательной способности листьев в различных участках спектра и при различном взаимном расположении источника света (Солнца), листьев и измерительного прибора.

Далее необходимо определить, как выглядят те же объекты с самолета и лишь после этого судить о состоянии посевов по спутниковым данным. Необходимо прокалибровать спутниковую аппаратуру перед запуском и в космосе, сравнивать спутниковые данные с наземными. Подспутниковые исследования трудоемки (например, геоботанические экспедиции), но проводятся на небольшой площади. В то же время они дают возможность интерпретировать данные, относящиеся к огромным пространствам и даже ко всему земному шару. Широта охвата является

характерной чертой спутниковых методов исследования Земли. К тому же эти методы, как правило, позволяют получить результат за сравнительно короткий интервал времени. Для Сибири с её просторами спутниковые методы в настоящее время являются единственно приемлемыми. Основные области применения спутниковых данных дистанционного зондирования – получение объективной оперативной информации о состоянии окружающей среды и о природопользовании, мониторинг природных и техногенных опасных ситуаций и катастроф. Для Республики Татарстан наиболее актуальна спутниковая информация по следующим направлениям:

- для лесопожарного мониторинга;
- контроля лесных угодий и вырубок;
- оперативного обнаружения и мониторинга нефтяных загрязнений в районах добычи и транспортировки нефти и нефтепродуктов;
- мониторинга состояния гидротехнических сооружений;
- мониторинга береговой линии в водохранилищах;
- контроля снегового и ледового покрова, кромки ледостава, прогноза стоков рек и мониторинга мест разливов рек;
- ведения земельного кадастра и контроля застройки городов и поселков;
- контроля за соблюдением лицензионных соглашений в местах добычи полезных ископаемых;
- для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий, в том числе целевого использования земель, оперативной оценка состояния и степени деградации земель, прогноза урожайности. К числу особенностей дистанционных методов относится влияние среды (атмосферы), через которую спутник наблюдает Землю.

Самый простой пример такого влияния – наличие облачности, делающей невозможным наблюдения в оптическом диапазоне. Однако и при отсутствии облачности атмосфера ослабляет восходящее излучение от объекта, особенно в полосах поглощения составляющих её газов. Поэтому приходится работать в так называемых окнах прозрачности, учитывая, что и в них есть поглощение и рассеяние излучения газами и аэрозолем.

В радиодиапазоне возможно наблюдение Земли сквозь облачность. Информация о Земле поступает со спутников, как правило, в виде цифровых изображений. Это также характерная черта дистанционных методов. Наземная обработка изображений проводится на ЭВМ; в настоящее время цифровая обработка изображений относится к числу наиболее динамично развивающихся информационных технологий и находит применение в робототехнике, полиграфии, медицине, физическом материаловедении и т. д.

Современные спутниковые методы позволяют получать не только изображение Земли. Используя приборы, чувствительные к полосам поглощения атмосферных газов, удается измерять концентрацию, в том

числе для газов, вызывающих парниковый эффект, вредных газов природного и антропогенного происхождения, несмотря на их относительно малое количество. Спутник «Метеор-3» с установленным на нем прибором TOMS позволял за сутки оценить состояние всего озонового слоя Земли. Спутник NOAA кроме получения изображений поверхности, обеспечивает возможность исследовать озоновый слой и даже изучать вертикальные профили атмосферы (давление, температура, влажность на разных высотах в сотнях точек в полосе обзора).

Дистанционные методы делят на активные и пассивные. При использовании активных методов на спутник устанавливают собственный источник энергии, которая посылается на Землю (лазер, радиолокационный передатчик); аппаратура спутника регистрирует отраженный сигнал. Радиолокация позволяет «видеть» Землю сквозь облака. Чаще используются пассивные методы, когда регистрируется отраженная поверхностью энергия Солнца либо тепловое излучение Земли.

При дистанционном зондировании Земли из космоса используется оптический диапазон электромагнитных волн и микроволновый участок радиодиапазона. На рисунке 7 представлен оптический диапазон, включающий в себя ультрафиолетовый (УФ) участок спектра, видимый участок – синяя полоса (В), зеленая (G), красная (R); инфракрасный участок (ИК) – ближний ИК (БИК), средний ИК и тепловой ИК.

В пассивных методах зондирования в оптическом диапазоне источниками электромагнитной энергии являются разогретые до достаточно высокой температуры твердые, жидкие, газообразные тела.

При термодинамическом равновесии с окружающей средой все тела с одинаковой температурой T излучают одинаково (первый закон Кирхгофа).

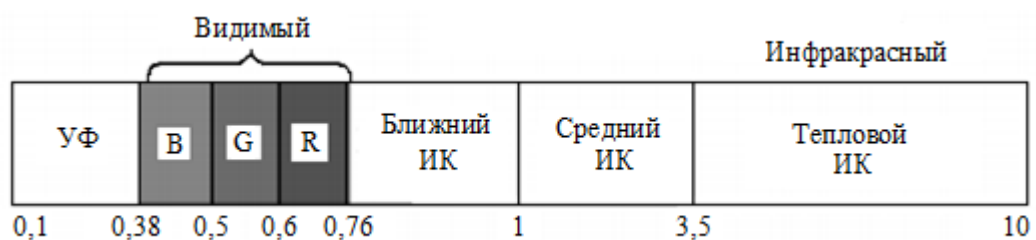


Рис. 7 Оптический диапазон электромагнитных волн

В состоянии термодинамического равновесия поглощаемая в секунду участком поверхности энергия равна энергии, излучаемой в тот же промежуток времени той же поверхностью (второй закон Кирхгофа).

Интенсивность излучения I в заданном направлении, характеризуемом углом α от нормали к излучающей поверхности абсолютно черного тела, определяется законом Ламберта: $I = I_0 \cos \alpha$, где I_0 – интенсивность излучения при $\alpha = 0$, которая максимальна; при $\alpha = 90^\circ$, т.е. по касательной к поверхности, интенсивность излучения равна нулю.

По формуле Планка, плотность потока мощности, излучаемой в состоянии термодинамического равновесия единицей поверхности абсолютно черного тела с температурой T в интервале длин волн λ , $\lambda + d\lambda$ в телесный угол 2π стерадиан (ср),

$$B(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} \quad (1.1)$$

Здесь $c_1 = 1,1911 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{мкм}^4 / \text{м}^2 \cdot \text{ср}$; $c_2 = 14\,388 \text{ мкм} \cdot \text{К}$. Максимум излучения приходится на $\lambda = 2\,898/T \text{ мкм}$. Полная энергия во всем интервале длин волн описывается формулой Стефана-Больцмана:

$$\int_0^\infty B(\lambda, T) d\lambda = a \cdot T^4, \quad a = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}.$$

При увеличении длины волны (1.1) переходит в формулу Релея-Джинса

$$B(\lambda, T) = c_3 T / \lambda^4, \quad c_3 = c_1 / c_2.$$

При наблюдении Земли из космоса на длине волны короче 2–3 мкм регистрируется энергия Солнца, отраженная и рассеянная поверхностью суши, воды и облаков. Температура поверхности (фотосферы) Солнца равна 5 785 К, максимум излучения приходится на 0,5 мкм. На рисунке 8 приведено распределение энергии в спектре Солнца согласно формуле Планка, без учета поглощения в атмосфере Солнца.

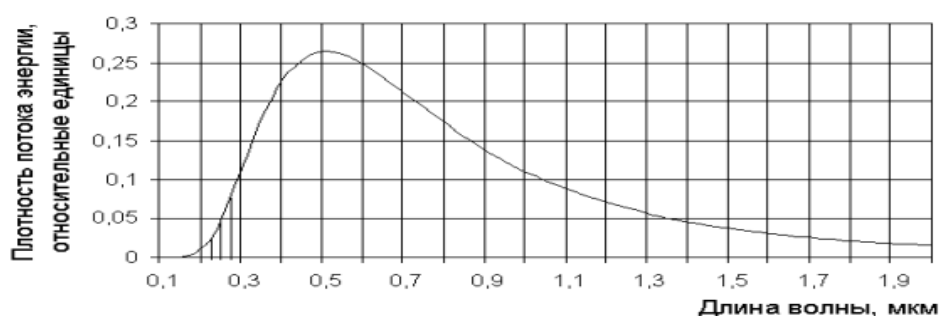


Рис. 8 Спектр Солнца, вычисленный по формуле Планка

Глаз человека видит предметы в интервале длин волн от 0,38 до 0,76 мкм, максимум чувствительности приходится на $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$.

Озон, содержащийся в атмосфере в небольшом количестве, сильно поглощает ультрафиолетовое излучение с длиной волны короче 0,3 мкм, так что при наблюдении Солнца с поверхности Земли отсутствует

коротковолновый скат кривой $B(\lambda, T)$. Озон защищает животный и растительный мир от опасного воздействия ультрафиолетового излучения.

На длинах волн более 4 мкм собственное тепловое излучение Земли превосходит излучение Солнца. Регистрируя интенсивность теплового излучения Земли из космоса, можно достаточно точно оценивать температуру суши и водной поверхности, которая является важнейшей экологической характеристикой.

Измерив температуру верхней границы облачности (ВГО), можно определить её высоту, если учесть, что в тропосфере с высотой температура уменьшается в среднем на 6,5/км. ВГО представляет большой интерес для метеорологии и авиации.

Для регистрации теплового излучения со спутников используется интервал длин волн 10–14 мкм, в котором поглощение невелико. При температуре земной поверхности (облаков) минус 50 С, максимум излучения согласно (1.1) приходится на 12 мкм, при 50 С – на 9 мкм. Физические основы дистанционного зондирования Цифровая обработка аэрокосмических изображений.

Если с помощью датчика, установленного на спутнике, измерено значение плотности потока мощности $B = B(\lambda, T)$ от некоторого объекта, то из (1.1) получаем: $T = \lambda / c^2 \ln (c^5 / \lambda^5 B + 1)$. Определенная по интенсивности B теплового излучения (радиации) температура T носит название радиационной, в отличие от термодинамической температуры, характеризующей интенсивность теплового движения молекул вещества и измеряемой контактным термометром. Для абсолютно черного тела обе температуры совпадают, для реальных тел нет, так как для них величина B составляет некоторую долю ε от плотности потока мощности, излучаемой абсолютно черным телом при той же температуре; ε носит название коэффициента теплового излучения. Ближе всего к 1 коэффициент теплового излучения в тепловом ИК диапазоне у воды и облаков (0,98–0,99).

Сложнее дело обстоит с поверхностью суши. Здесь влияет характер поверхности (гладкая или нет), увлажненность и т. д. Для свежего снега $\varepsilon = 0,986$, для густой травы – 0,970, глинистой почвы – 0,980, хвойного леса – 0,97. Для достаточно точного, с погрешностью не более 0,2–0,5 К, определения температуры поверхности из космоса, необходимо учитывать и коэффициент теплового излучения, и поглощение в атмосфере.

Вопросы для самоконтроля

1. На какие виды делятся дистанционные методы?
2. Основные области применения спутниковых данных?
3. Что используется для регистрации теплового излучения со спутников?

1.6. Электромагнитное излучение и его характеристики

Электромагнитное излучение - это электромагнитные волны, которые возникают при возмущении магнитного или электрического поля. Электромагнитное излучение можно представить в виде волн или в виде потока фотонов – частиц, каждая из которых несет определенную долю энергии. Для понимания физических основ дистанционного зондирования особенно важным является понятие длины волны. Эту величину определяют как расстояние между двумя последовательными волновыми гребнями и измеряют в метрах или долях метра. Электромагнитные волны (ультрафиолетовые, световые, инфракрасные, радиоволны) имеют разную длину, но распространяются прямолинейно с одинаковой скоростью – скоростью света – и при взаимодействии с веществом подчиняются одинаковым физическим законам. Все тела при температуре выше абсолютного нуля излучают электромагнитные волны. Последовательность электромагнитных волн, классифицированная по их длинам (или частотам), называется электромагнитным спектром (рисунки 9).

Спектр электромагнитных волн – это весь диапазон частот или длины волн электромагнитного поля, которое существует в природе. Этот спектр достаточно широк, поэтому его, для удобства классификации и работы с ним, разделяют на несколько диапазонов.

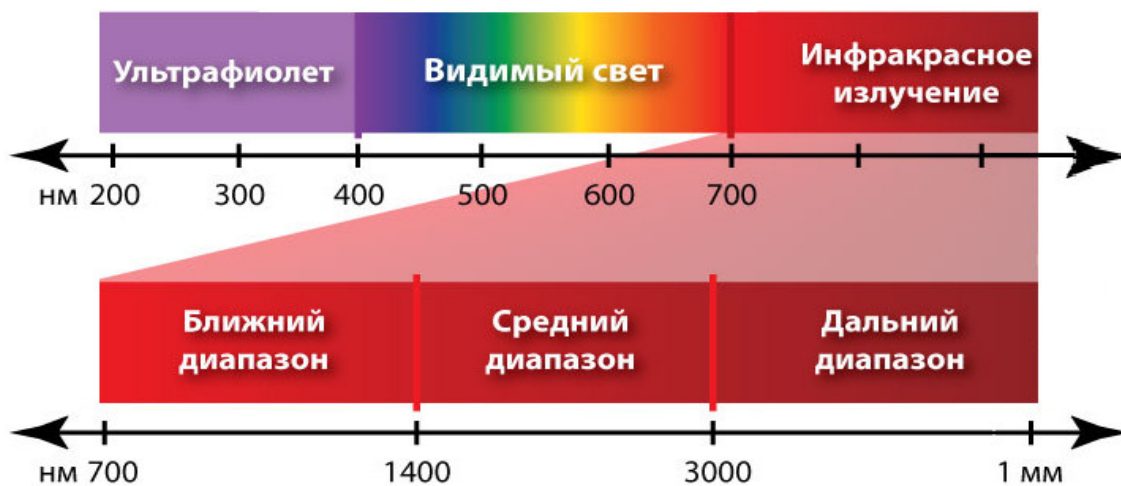


Рис. 9 Диапазоны электромагнитного спектра

Все диапазоны электромагнитных волн по мере возрастания их частоты или длины располагают на так называемой «шкале электромагнитных волн». На этой шкале размещены (в порядке возрастания частоты) следующие диапазоны:

1. Низкочастотные электромагнитные волны (от нескольких Гц до 100 кГц).

2. Радиоволны (от 100 кГц до 300 ГГц).
3. Инфракрасное излучение (от 300 ГГц до 400 тыс. ГГц).
4. Видимый свет (от 400 до 800 тыс. ГГц).
5. Ультрафиолетовое излучение (от 800 тыс. ГГц до 30 млн. ГГц).
6. Рентгеновское излучение.
7. Гамма излучение.

Рассмотрим более подробно каждый из этих диапазонов.

Низкочастотные электромагнитные волны – это самый низкий диапазон спектра. Именно в этом диапазоне работает большинство электронных приборов. Дело в том, что с низкочастотным диапазоном легче всего работать и им легче всего управлять.

Радиоволны идут следующим диапазоном в спектре. Как мы знаем, с помощью радиоволн работают практически все беспроводные системы и устройства для передачи информации. В свою очередь радиоволны разделяются на несколько поддиапазонов: длинные, средние, короткие, ультракороткие и сверхвысокочастотные (СВЧ).

Инфракрасное излучение, видимый свет и ультрафиолетовое излучение входят в так называемый «оптический диапазон» или оптический спектр. Этот диапазон находится в промежутке частот между $3 \cdot 10^{11}$ до $3 \cdot 10^{16}$ Гц. Оптический спектр также широко используется в системах передачи информации, но кроме этого еще и в системах отображения визуальной информации: дисплеях, мониторах, информационных табло и т.д.

Рентгеновское излучение возникает в результате различных процессов, возникающих в электронной оболочке атомов различных веществ. Например, при резком торможении быстрых заряженных частиц: электронов, протонов и других. Используется в основном в медицине.

Гамма излучение, также как и рентгеновское генерируется внутри ядер, правда не в результате торможения частиц, а в процессе реакции их деления. Используется, а точнее является следствием использования радиоактивных материалов в энергетике.

Электромагнитные излучения с различными длинами волн имеют довольно много различий, но все они, от радиоволн и до гамма-излучения, одной физической природы. Все виды электромагнитного излучения в большей или меньшей степени проявляют свойства интерференции, дифракции и поляризации, характерные для волн. Вместе с тем все виды электромагнитного излучения в большей или меньшей мере обнаруживают квантовые свойства.

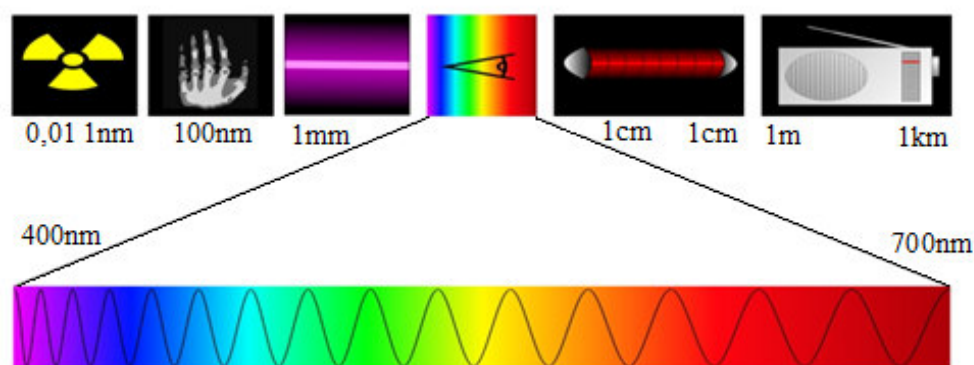


Рис. 10 Электромагнитные излучения с различными длинами волн

Общим для всех электромагнитных излучений являются механизмы их возникновения: электромагнитные волны с любой длиной волны могут возникать при ускоренном движении электрических зарядов или при переходах молекул, атомов или атомных ядер из одного квантового состояния в другое. Гармонические колебания электрических зарядов сопровождаются электромагнитным излучением, имеющим частоту, равную частоте колебаний зарядов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое электромагнитное поле?
2. Причина возникновения электромагнитных волн?
3. Перечислите виды излучения?

Глава 2. Техника получения материалов дистанционного зондирования

При съемке земной поверхности существенную роль играет выбор орбиты полета ИСЗ. Для фотографирования Земли предпочтительными являются круговые орбиты, благодаря чему достигается одинаковыми масштаб снимков по всей трассе полета ИСЗ. Большое значение имеет наклонение орбиты - величина угла, образованного плоскостью экватора и плоскостью орбиты. В зависимости от наклонения орбиты бывают экваториальными (наклонение 0°), полярными (наклонение 90°) и наклонными. При запуске ИСЗ на полярные (или квазиполярные) орбиты бортовая аппаратура используется для исследования всей земной поверхности. При углах наклона орбит до $50-60^\circ$ приполярные области не попадают в поле зрения бортовой аппаратуры.

Наклонение орбиты ИСЗ является важным параметром, так как определяет широтный пояс поверхности Земли, который подлежит фотографированию. Трасса полета ИСЗ не может выйти за пределы этого широтного пояса, поэтому от наклонения и высоты орбиты зависит ширина фотографической полосы. Здесь устанавливается прямая зависи-

мость: чем больше угол наклона орбиты и чем больше ее высота, тем шире снимаемая полоса земной поверхности (рис.11).

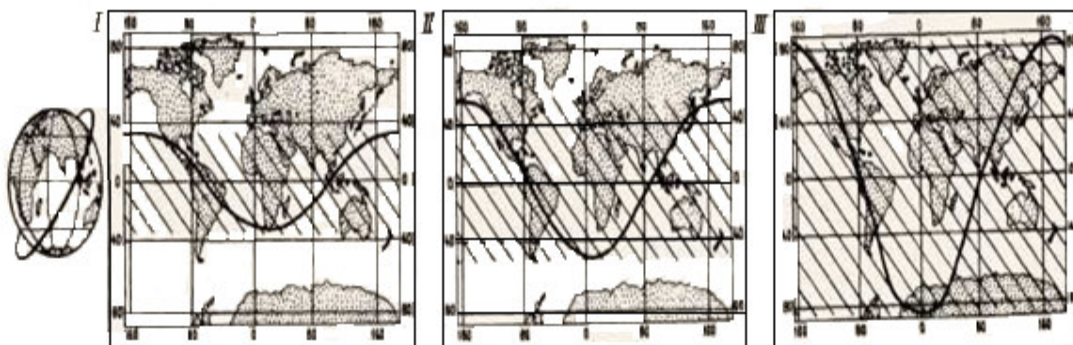


Рис. 11 - Зависимость зоны обзора дистанционного датчика от типа орбиты

Помимо круговых орбит, по которым обычно летают метеорологические спутники, ПКК и орбитальные станции, для постоянного наблюдения за глобальными процессами на Земле используются эллиптические орбиты с большой разницей высот в апогее и перигее. По отношению к Солнцу или Земле выделяют два вида орбит геосинхронную и гелио синхронную.

Геосинхронные (геостационарные) орбиты предназначены для движения спутника вокруг Земли с угловой скоростью, равной скорости вращения Земли, что обуславливает зависание спутника над определенным участком земной поверхности и постоянное наблюдение за ним.

Гелио синхронные орбиты предназначены для повторных съемок одних и тех же участков земной поверхности при одинаковых условиях освещения через равные промежутки времени. Примером может служить американский спутник "Лэндсат", летающий по гелио синхронной орбите и возвращающийся в исходную точку съемки через 18 суток. Съемка с гелио синхронных орбит может широко использоваться для изучения динамики современных геологических процессов. Трассы полетов ИСЗ по высоте могут быть подразделены на три группы:

- низкоорбитальные (200-400 км) используются при полете ПКК и орбитальных станций,
- среднеорбитальные (500-1500 км) - метеорологических и ресурсных ИСЗ;
- высокоорбитальные (30 000- 90 000 км) - телекоммуникационных спутников и исследовательских станций, предназначенных для исследований космического пространства.

В геологических целях используются материалы, получаемые с низко- и среднеорбитальных ИСЗ

Вопросы для самоконтроля

1. Что являются предпочтительным для фотографирования Земли?
2. Для каких целей предназначены Гелио синхронные орбиты?
3. Перечислите три группы трассы полетов ИСЗ?

2.1. Фотосъемки

Фотографическую съемку поверхности Земли с высот более 150 - 200 км принято называть космической. Отличительной чертой КС является высокая степень обзорности, охват одним снимком больших площадей поверхности. В зависимости от типа применяемой аппаратуры и фотопленок, фотографирование может производиться во всем видимом диапазоне электромагнитного спектра, в отдельных его зонах, а также в ближнем ИК (инфракрасном) диапазоне.

Масштабы съемки зависят от двух важнейших параметров: высоты съемки и фокусного расстояния объектива. Космические фотоаппараты в зависимости от наклона оптической оси позволяют получать плановые и перспективные снимки земной поверхности.

В настоящее время используется фотоаппаратура с высоким разрешением, позволяющая получать КС с перекрытием 60% и более. Спектральный диапазон фотографирования охватывает видимую часть ближней инфракрасной зоны (до 0,86 мкм).

Для съемки земной поверхности с ПКК используются фотографирующие системы следующих марок: КАТЭ-140, МКФ-6, ФМС и ДР.

Фотографическая камера МКФ-6М имеет шесть спектральных каналов, работающих в следующих зонах спектра (мкм): 0,45- 0,50; 0,52-0,56; 0,58-0,62; 0,64-0,68; 0,70-0,74; 0,78-0,86. Изображение отличается высоким разрешением и может быть увеличено в несколько раз без потери информативности. Масштаб снимков, снятых с высоты 265 км, немногим мельче 1:2 000 000. Зональные снимки 1-4 каналов выдерживают увеличение до 60 раз и в таком увеличенном виде вполне пригодны для целей геологического дешифрирования. Снимки, полученные по пятому и шестому каналам, выдерживают увеличение только 10X.

Отметим, что фотографическая съемка в настоящее время самый информативный вид съемки из космического пространства. Оптимальный размер отпечатка 18X18 см, который, как показывает опыт, согласуется с физиологией человеческого зрения, позволяя видеть все изображение одновременно.

Для удобства пользования из отдельных КС, имеющих перекрытия, монтируются фотосхемы (фотомозаики) или фотокарты с топографической привязкой опорных точек с точностью 0,1 мм и точнее. Для монтажа фотосхем используются только плановые КС.

Для приведения разномасштабного, обычно перспективного КС к плановому используется специальный процесс, называемый трансфор-

мированием. Трансформированные КС с успехом используются для составления космофотосхем и космофотокарт и обычно легко привязываются к географической сетке координат.

Вопросы для самоконтроля

1. От чего зависит масштаб съемки?
2. Что используется для монтажа фотосхем?
3. Назовите самый информативный вид съемки?

2.2. Сканерные съемки

В настоящее время для съемок из космоса наиболее часто используются многоспектральные оптико-механические системы сканеры, установленные на ИСЗ различного назначения. При помощи сканеров формируются изображения, состоящие из множества отдельных, последовательно получаемых элементов. Термин "сканирование" обозначает развертку изображения при помощи сканирующего элемента (качающегося или вращающегося зеркала), поэлементно просматривающего местность поперек движения носителя и посылающего лучистый поток в объектив и далее на точечный датчик, преобразующий световой сигнал в электрический. Этот электрический сигнал поступает на приемные станции по каналам связи (рис.12).

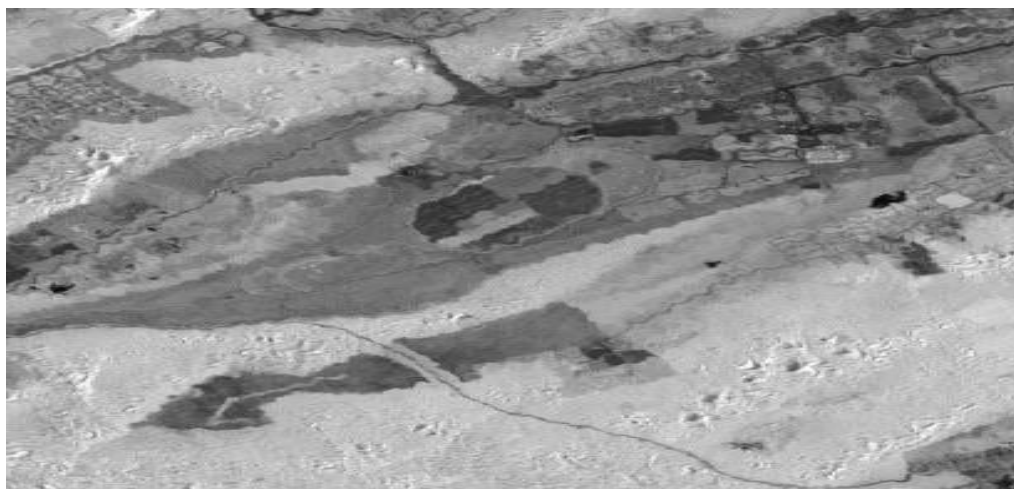


Рис. 12 Изображение местности при помощи сканирующего устройства

Изображение местности получают непрерывно на ленте, составленной из полос сканов, сложенных отдельными элементами пикселями. Сканерные изображения можно получить во всех спектральных диапазонах, но особенно эффективным является видимый и ИК диапазоны. При съемке земной поверхности с помощью сканирующих систем формируется изображение, каждому элементу которого соответствует яркость излучения участка, находящегося в пределах

мгновенного поля зрения. Сканерное изображение - упорядоченный пакет яркостных данных, переданных по радиоканалам на Землю, которые фиксируются на магнитную ленту (в цифровом виде) и затем могут быть преобразованы в кадровую форму. В геологии используются материалы сканерных съемок с ИСЗ серии "Метеор". На этих спутниках установлены сканирующие устройства различной конструкции: с малым разрешением МСУ М, со средним разрешением МСУ С, с конической разверткой МСУ СК, с электронной разверткой МСУ Э (табл. 1).

Таблица 1

Технические характеристики сканирующих устройств

Параметры	МСУ-М	МСУ-С	МСУ-СК	МСУ-Э
Полоса обзора, км	1930	1380	600	28
Угол сканирования, град	106	90	90	2,5
Число элементов в активной части строки	1880	5700	3614	1000
Число спектральных каналов	4	2	4	3
Разрешение на местности по строке, км	1	0,24	0,175	0,028

Важнейшей характеристикой сканера являются угол сканирования (обзора) и мгновенный угол зрения, от величины которых зависят ширина снимаемой полосы и разрешение. В зависимости от величины этих углов сканеры делят на точные и обзорные. У точных сканеров угол сканирования уменьшают до $\pm 5^\circ$, а у обзорных увеличивают до $\pm 50^\circ$. Величина разрешения при этом обратно пропорциональна ширине снимаемой полосы. Хорошо зарекомендовал себя сканер нового поколения, названный "тематическим картографом", которым были оснащены американские ИСЗ "Лэндсат-4 и -5". Сканер типа "тематический картограф" работает в семи диапазонах с разрешением 30 м в видимом диапазоне спектра и 120 м в ИК-диапазоне. Этот сканер дает большой поток информации, обработка которой требует большего времени; в связи с чем замедляется скорость передачи изображения. Число пикселей на снимках достигает более 36 млн. на каждом из каналов. Сканирующие устройства могут быть использованы не только для получения изображений Земли, но и для измерения радиации, сканирующие радиометры и излучения сканирующие спектрометры.

Вопросы для самоконтроля

1. Для чего используются многоспектральные оптико-механические системы?
2. Что формируется при съемке земной поверхности с помощью сканирующих систем?

3. Что является важнейшей характеристикой сканера?

2.3. Радарные съемки

Радиолокационная (РЛ) или радарная съемка - важнейший вид дистанционных исследований. Используется в условиях, когда непосредственное наблюдение поверхности планет затруднено различными природными условиями: плотной облачностью, туманом и т. п. Она может проводиться в темное время суток, поскольку является активной. Для радарной съемки обычно используются радиолокаторы бокового обзора (ЛБО), установленные на самолетах и ИСЗ. С помощью ЛБО радиолокационная съемка осуществляется в радиодиапазоне электромагнитного спектра. Сущность съемки заключается в посылке радиосигнала, отражающегося по нормали от изучаемого объекта и фиксируемого на приемнике, установленном на борту носителя. Радиосигнал вырабатывается специальным генератором. Время возвращения его в приемник зависит от расстояния до изучаемого объекта. Этот принцип работы радиолокатора, фиксирующего различное время прохождения зондирующего импульса до объекта и обратно, используется для получения РЛ-снимков. Изображение формируется бегущим по строке световым пятном. Чем дальше объект, тем больше времени надо на прохождение отражаемого сигнала до его фиксации электронно-лучевой трубкой, совмещенной со специальной кинокамерой.

При дешифрировании радарных снимков следует учитывать тон изображения и его текстуру. Тоновые неоднородности РЛ снимка зависят от литологических особенностей пород, размера их зернистости, устойчивости процессам выветривания. Тоновые неоднородности : могут варьировать от черного до светлого цвета. Опыт работы с РЛ снимками показал, что черный тон соответствует гладким поверхностям, где, как правило, происходит почти полное отражение посланного радиосигнала. Крупные реки всегда имеют черный тон. Тектурные неоднородности РЛ изображения зависят от степени расчлененности рельефа и могут быть тонкосетчатыми, полосчатыми, массивными и др. Полосчатая текстура РЛ изображения, например, характерна для горных районов, сложенных часто чередующимися слоями осадочных или метаморфических пород, массивная для районов развития интрузивных образований. Особенно хорошо получается на РЛ снимках гидросеть. Она дешифрируется лучше, чем на фотоснимках. Высокое разрешение РЛ съемки в районах, покрытых густой растительностью, открывает широкие перспективы ее использования. Во многих частях Земли, в частности в затаеженных районах Сибири, Я долине Амазонки и т. п.

Радарные системы бокового обзора с конца 70-х годов стали устанавливать на ИСЗ. Так, например, первый радиолокатор был установлен на американском спутнике "Сисат", предназначенном для изучения динамики океанических процессов. Позднее был сконструиро-

ван радар, испытанный во время полетов космического корабля "Шатл". Информация, полученная с помощью этого радара, представляется в виде черно-белых и ложноцветных синтезированных фото-, телеизображений или записей на магнитную ленту. Разрешающая способность 40 м. Информация поддается числовой и аналоговой обработке, такой же, что и сканерные снимки системы "Лэндсат". Это в значительной мере способствует получению высоких результатов дешифрирования. Во многих случаях РЛ снимки оказываются геологически более информативными, чем снимки "Лэндсат". Наилучший результат достигается и при комплексном дешифрировании материалов того и другого видов. РЛ снимки успешно используются для изучения трудно- или недоступных территорий Земли, пустынь и областей, расположенных в высоких широтах, а также поверхность других планет.

Классическими уже стали результаты картирования поверхности Венеры планеты, покрытой мощным облачным слоем. Совершенствование РЛ аппаратуры должно повлечь за собой дальнейшее повышение роли радиолокации в дистанционных исследованиях Земли, особенно при изучении ее геологического строения.

Вопросы для самоконтроля

1. Для чего используется радарная съемка?
2. Что необходимо учитывать при дешифрировании радарных снимков?
3. Как предоставляется информация при использовании радара?

2.4. Тепловые съемки

Инфракрасная (ИК), или тепловая, съемка основана на выявлении тепловых аномалий путем фиксации теплового излучения объектов Земли, обусловленного эндогенным теплом или солнечным излучением. Она широко применяется в геологии. Температурные неоднородности поверхности Земли возникают в результате неодинакового нагрева различных ее участков. Инфракрасный диапазон спектра электромагнитных колебаний условно делится на три части (в мкм):

- ближний (0,74-1,35),
- средний (1,35-3,50),
- дальний (3,50-1000).

Солнечное (внешнее) и эндогенное (внутреннее) тепло нагревает геологические объекты по-разному в зависимости от литологических свойств пород, тепловой инерции, влажности, альбедо и многих других причин. ИК-излучение, проходя через атмосферу, избирательно поглощается, в связи с чем тепловую съемку можно вести только в зоне расположения так называемых "окон прозрачности" местах пропускания ИК

лучей. Опытным путем выделено четыре основных окна прозрачности (в мкм): 0,74-2,40; 3,40-4,20; 8,0-13,0; 30,0-80,0. Некоторые исследователи выделяют большее число окон прозрачности в первом окне (до 0,84 мкм) используется отраженное солнечное излучение. Здесь можно применять специальные фотопленки и работать с красным фильтром. Съемка в этом диапазоне называется ИК фотосъемкой.

В других окнах прозрачности работают измерительные приборы - тепловизоры, преобразующие невидимое ИК-излучение в видимое с помощью электроннолучевых трубок, фиксируя тепловые аномалии. На ИК-изображениях светлыми тонами фиксируются участки с низкими температурами, темными с относительно более высокими. Яркость тона прямо пропорциональна интенсивности тепловой аномалии. ИК съемку можно проводить в ночное время. На ИК снимках, полученных с ИСЗ, четко вырисовывается береговая линия, гидрографическая сеть, ледовая обстановка, тепловые неоднородности водной среды, вулканическая деятельность и т. п. ИК снимки используются для составления тепловых карт Земли. Линейно полосовые тепловые аномалии, выявляемые при ИК съемке, интерпретируются как зоны разломов, а площадные и концентрические как тектонические или орографические структуры. Например, наложенные впадины Средней Азии, выполненные рыхлыми кайнозойскими отложениями, на ИК снимках дешифрируются как площадные аномалии повышенной интенсивности. Особенно ценна информация, полученная в районах активной вулканической деятельности.

В настоящее время накоплен опыт использования ИК съемки для изучения дна шельфа. Этим методом по разнице температурных аномалий поверхности воды получены данные о строении рельефа дна. При этом использован принцип, согласно которому при одинаковом облучении поверхности воды на более глубоких участках водных масс энергии на нагревание расходуется больше, чем на более мелких. В результате температура поверхности воды над более глубокими участками будет ниже, чем над мелкими. Этот принцип позволяет на ИК изображениях выделять положительные и отрицательные формы рельефа, подводные долины, банки, гряды и т. п. ИК съемка в настоящее время применяется для решения специальных задач, особенно при экологических исследованиях, поисках подземных вод и в инженерной геологии.

Вопросы для самоконтроля

1. На чем основывается принцип проведения инфракрасной (ИК), или тепловой, съемки?
2. На какие части делится инфракрасный диапазон спектра электромагнитных колебаний?

3. Назовите причину возникновения "окон прозрачности"?

2.5. Спектрометрическая съемка

Спектрометрическая (СМ) съемка проводится с целью измерения отражательной способности горных пород. Знание значений коэффициента спектральной яркости горных пород расширяет возможности геологического дешифрирования, придает ему большую достоверность. Горные породы имеют различную отражательную способность, поэтому отличаются величиной коэффициента спектральной яркости. СМ съемка делится на три вида:

1. микроволновая (0,3 см-1,0 м), являющаяся универсальной, Лак. как исключает влияние атмосферы;
2. ИК или тепловая (0,30-1000 мкм), выявляющая температурные неоднородности по энергетической яркости изучаемых объектов;
3. спектрометрия видимого и ближнего ИК спектра излучения ; (0,30-1,40 мкм), фиксирующая спектральное распределение отражательного радиационного излучения.

Геологические объекты отражаются на КС с разной степенью контраста, зависящего от их спектральных особенностей. Работа по составлению банка данных о спектральных характеристиках горных пород чрезвычайно трудоемка. Для того чтобы ее выполнить, необходимо произвести спектрометрические измерения горных пород, а также иных ландшафтных объектов, на разных расстояниях, в различные времена года, на участках с различной степенью обнаженности. Эти данные, однако, являются совершенно необходимыми для систем автоматического поиска и распознавания объектов, в том числе и экологического содержания. В настоящее время увеличение пограничных контрастов достигается использованием мультиспектральных снимков, полученных в относительно узких зонах спектра.

Вопросы для самоконтроля

1. Для каких целей проводится спектрометрическая съемка?
2. На какие виды делится СМ съемка?

2.6. Лидарные съемки

Лидар — это световое обнаружение и определение дальности, технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах. Лидар как прибор представляет собой, как минимум, активный дальномер оптического диапазона. Сканирующие лидары в системах машинного зрения формируют двумерную или трёхмерную картину окружающего пространства. «Атмосферные» лидары способны не только

определять расстояния до непрозрачных отражающих целей, но и анализировать свойства прозрачной среды, рассеивающей свет. Разновидностью атмосферных лидаров являются доплеровские лидары, определяющие направление и скорость перемещения воздушных потоков в различных слоях атмосферы.

Устоявшийся перевод LIDAR как «лазерный радар» не вполне корректен, так как в системах ближнего радиуса действия (например, предназначенных для работы в помещениях), главные свойства лазера: когерентность, высокая плотность и мгновенная мощность излучения — не востребованы; излучателями света в таких системах могут служить обычные светодиоды. Однако в основных сферах применения технологии (метеорология, геодезия и картография) с радиусами действия от сотен метров до сотен километров можно использовать только лазеры.



Рис. 13 Лидарная съемка

Лидарная съемка является активной и основана на непрерывном получении отклика от отражающей поверхности, подсвечиваемой лазерным монохроматическим излучением с фиксированной длиной волны. Частота излучателя настраивается на резонансные частоты поглощения сканируемого компонента (например, приповерхностного метана), так что в случае его заметных концентраций соотношение откликов в точках концентрирования и в вне их будут резко повышенными. Фактически лидарная спектрометрия это геохимическая съемка приповерхностных слоев атмосферы, ориентированная на обнаружение микроэлементов или их соединений, концентрирующихся над современно активными геоэкологическими объектами. Устройства лидарной съемки оборудуются на низковысотных носителях.

Вопросы для самоконтроля

1. Что представляет собой «Лидар»?
2. На чем основывается лидарная съемка?

3. Назовите основные сферы применения Лидарной съемки?

Глава 3 Физические основы аэро – космических съемок

3.1. Основные понятия и термины

Аэро- и космические съёмки (АКС) являются первым техническим этапом при решении фотограмметрических задач и дистанционного зондирования. При этом выполняется измерение (регистрация) отражённого или собственного электромагнитного излучения. Измерения из-

лучения производят с некоторого расстояния от изучаемого объекта с помощью различных датчиков или съёмочных систем. Под съёмочной системой понимают технические средства, с помощью которых выполняется регистрация электромагнитного излучения. В зависимости от места установки съёмочной системы измерение и регистрация излучения производится в наземных условиях, с воздушного (аэро-) или космического летательного аппарата (носителя). При получении информации о земной поверхности большой протяжённости аэро- и космические методы являются наиболее эффективными и оперативными. Для изучения локальных явлений или относительно небольших по размерам объектов, например, определении объемов земляных работ, деформации зданий и построек, мониторинге ледников, оползней и др., выполняются наземные съёмки с помощью фототеодолитов, цифровых съёмочных устройств или лазерных сканеров. В зависимости от типа съёмочной аппаратуры информация может быть представлена в различном виде.



Рис. 14 Физические основы аэро- и космических съёмок.

Например, в виде двумерной аналоговой записи на фотографическом носителе (фотоснимки) или поэлементной цифровой записи на магнитном носителе. Некоторые съёмочные системы позволяют получать трёхмерное изображение, элемент которого имеет все три пространственные координаты, например, лазерные системы. С летательных аппаратов могут выполняться измерения электромагнитного излучения над объектом в дискретных точках, при этом определяются его различные характеристики, например, при исследованиях загрязнений территорий измеряется количество и распределение определённых химических соединений, радионуклидов, тяжёлых металлов и др. Результаты регистрации электромагнитного излучения, представленные в виде изображения изучаемого объекта(участка земной поверхности) в аналоговой или цифровой форме записи называют видеоинформацией. Процедура преобразования результатов аналоговой или цифровой записи сигналов в видимое изо-

бражение называется визуализацией. Аэро- и космические съёмки Земли разделяют на пассивные и активные. При пассивной съёмке информацию получают двумя способами.

Первый способ - путём регистрации отражённого от объекта солнечного светового потока.

Второй способ предусматривает измерение радиационного потока, излучаемого самим объектом (собственное излучение).

При активной съёмке поверхность исследуемого объекта облучается с борта аэро - или космического летательного аппарата с помощью искусственного облучателя (лазера – оптического генератора, радиогенератора), а регистрация отражённого излучения производится соответствующими бортовыми приёмными устройствами. Аэро - и космические съёмки представляют собой сложный комплекс инженерных, технических и организационных мероприятий, в состав которых входят работы по наземному обеспечению получения и последующей предварительной обработки изображений (снимков). При дистанционном зондировании Земли в настоящее время наиболее широко применяются пассивные съёмочные системы (фотографические и оптико-электронные), а из активных – радиолокационные системы бокового обзора (РЛС БО) и лазерные системы. Материалы аэро- и космических съёмок имеют ряд преимуществ, по сравнению с топографической съёмкой, благодаря которым они применяются для решения многочисленных задач изучения поверхности Земли. К такими преимуществами можно отнести следующее: оперативность получения метрической и смысловой информации об изучаемой территории; объективность и документальность этой информации, так как при АКС выполняется регистрация фактического состояния объектов на земной поверхности; экономическая эффективность получения информации по материалам аэро - и космических съёмок; возможность регулярных наблюдений (особенно по материалам космических съёмок) за изменениями, происходящими на изучаемой территории.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие задачи решают аэро- и космические съёмки?
2. Назовите способы получения пассивной съёмки?
3. Перечислите преимущества материалов аэро- и космической съёмки?

3.2. Схема получения видеоинформации при аэро- и космической съёмке

Рассмотрим общую схему получения первичной видеоинформации при проведении аэро- и космических съёмок земной поверхности. При съёмке в отражённых лучах радиационный поток проходит путь от источника излучения до объекта через атмосферу, где происходят его

энергетические изменения. В результате взаимодействия с объектом часть радиационного потока отражается в пространство. Отражённый от объектов радиационный поток имеет иной спектральный состав, поляризацию и энергию. Характер изменений зависит от химических и физических свойств снимаемых объектов. Поэтому отражённый поток электромагнитного излучения несёт сведения о свойствах изучаемых объектов. На пути от объекта до приёмника съёмочного устройства отражённое излучение объекта подвергается искажению под воздействием различных компонентов, входящих в состав атмосферы. При регистрации собственного излучения оно также подвергается воздействию атмосферы. Излучение радиодиапазона искажается помехами, вызванными в основном радиоманитным полем Земли, ионосферными и тропосферными влиянием атмосферы на флуктуации прохождения радиосигнала. В качестве приёмников излучения в съёмочных системах служат фотографические плёнки, фотоэлектрические и термоэлектрические элементы. Если съёмка выполняется с помощью радиосъёмочной аппаратуры, то для приёма радиоизлучения от объекта используют антенны. Материалы съёмок поступают на пункты приёма. При выполнении фотографических съёмок здесь выполняется фотохимическая обработка фотоплёнки, изготавливаются контактные снимки. При съёмке нефотографическими съёмочными системами, передающими результаты измерений излучения по радиоканалу, на пунктах приёма производится запись передаваемой информации, её визуализация и размножение цифровых изображений. На пунктах приёма также оценивается изобразительное и фотограмметрическое качество материалов съёмок, выполняется фотометрическая и геометрическая коррекция нефотографической видеоинформации. После этого результаты дистанционного зондирования передаются потребителю на фотографических или магнитных носителях. В настоящее время на территории страны существует сеть региональных государственных и негосударственных пунктов приёма космической информации. Потребитель информации практически одновременно с проведением съёмки может получать интересующие сведения об объектах (так называемая съёмка в реальном или близ реальном времени). Как видно, процедура получения видеоинформации достаточно сложная. На каждом этапе происходит искажение электромагнитного излучения, формирующего изображение. Знание особенностей этих искажений позволяет учитывать их при планировании, выполнении съёмок или при дальнейшей обработке материалов аэро- и космических съёмок.

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите общую схему получения первичной видеоинформации?
2. Что служит в качестве приёмников излучения в съёмочных системах?

3.3. Классификация съёмочных систем

Классифицировать съёмочные системы можно по различным критериям. Съёмочные системы разделяют на: воздушные и космические; пассивные и активные; работающие в оптическом или радиодиапазоне; однозональные и многозональные. При выполнении многозональных съёмок получают одновременно несколько изображений одной и той же территории в различных зонах спектра электромагнитного излучения. Фотографирование может выполняться на чёрно-белых или цветных фотоматериалах. Цвет изображения может быть натуральным или псевдоцветным (спектрозональное фотографирование). оперативные и неоперативные, в зависимости от способа и сроков доставки видеоинформации. Фотографические съёмочные системы являются неоперативными, так для доставки экспонированной плёнки требуется посадка летательного аппарата или спуск на Землю специального контейнера. Нефотографические системы относят к оперативным. С их помощью видеоинформация передаётся по радиоканалу в реальном времени съёмки, или записывается на магнитном носителе, с последующей передачей в эфир; использующие для построения изображения законы центральной проекции (кадровые - фотографические и телевизионные системы), строчно-кадровую развёртку (сканеры) и иные законы. В настоящее время при создании топографических крупномасштабных планов и карт фотограмметрическим методом используются в основном снимки, получаемые кадровыми аэрофотоаппаратами. Классификация может быть продолжена исходя из многообразия конструкций и технических характеристик съёмочных систем.

При классификации съёмочных систем могут использоваться различные критерии, при этом их можно разделить на: воздушные и космические, пассивные и активные, однозональные и многозональные, фотографические и нефотографические и др.

Все съёмочные системы можно разделить на две большие группы: пассивные и активные. К пассивным съёмочным системам относятся:

- фотографические;
- телевизионные;
- на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС);
- сканерные;

К активным съёмочным системам относятся:

- радиолокационные;
- лазерные.

Основными критериями съёмочных систем являются: пространственное разрешение, спектральное разрешение, радиометрическое разрешение, временное разрешение. Пространственное разрешение – это возможность раздельно воспроизводить на снимке мелкие детали снимаемого объекта. Разрешающая спо-

способность R определяется числом раздельно воспроизводимых черных линий в 1 мм изображения при таком же белом интервале между ними. Разрешающую способность съемочной системы определяют путем съемки миры (рис. 15).

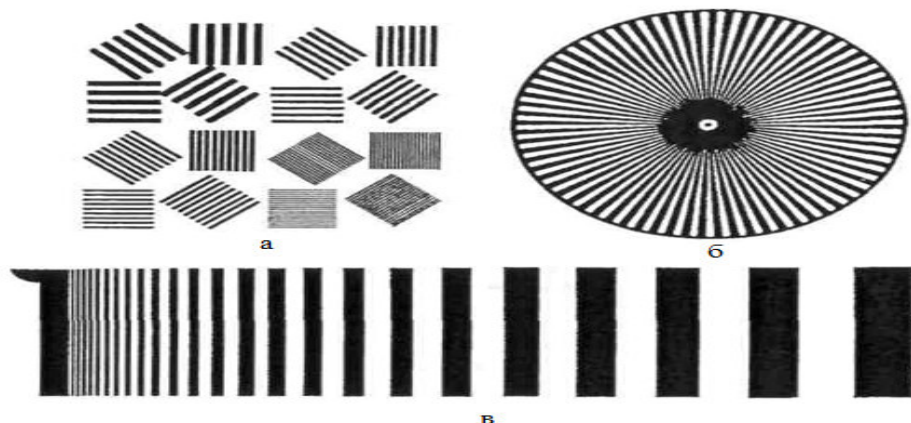


Рис. 15 - Тест-объекты (миры)

Когда речь идет о сканерных или цифровых съемочных системах, где приемниками излучения служат ПЗС-линейки или ПЗС-матрицы, разрешающая способность определяется размером элемента сканирования на местности. Например, разрешающая способность сканерной съемочной системы 4 метра, это значит, что один пиксель ПЗС-линейки соответствует 4 метрам на местности. Под спектральной разрешающей способностью понимают минимальную ширину спектральной зоны, в которой проводят съемку. При увеличении количества диапазонов и уменьшении каждого из них будет достигнута более высокая спектральная разрешающая способность. Увеличение спектральной разрешающей способности способствует лучшему выявлению различных типов объектов по изображениям. Радиометрическое разрешение определяется чувствительностью сенсора к вариациям интенсивности электромагнитного излучения, то есть наименьшей разницей в уровнях энергии излучения, которую можно зарегистрировать с помощью данной аппаратуры. Для фотографических съемочных систем радиометрическое разрешение определяет возможность определения малейших вариаций оттенков серого цвета, а для цифровых – числом уровней квантования. Временное разрешение определяется периодичностью сбора данных, то есть период съемки одного и того же участка местности. Данные могут собираться ежедневно, раз в несколько дней, ежемесячно и т.д.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные критерии съемочных систем?
2. Чем определяют разрешающую способность съемочной системы?

3. Что относятся к пассивным и к активным съёмочным системам?

3.4. Основные критерии съёмочных систем

Основные критерии, применяемые для оценки информационных возможностей съёмочных систем, следующие: линейная разрешающая способность, спектральная разрешающая способность, фотограмметрическая точность, фотометрическая точность. Линейной разрешающей способностью съёмочной системы называют её возможность раздельно воспроизводить на снимке мелкие детали снимаемого объекта. Разрешающая способность (R) определяется количеством раздельно воспроизводимых чёрных линий в 1мм изображения, при таком же белом интервале между ними. Для числа воспроизводимых линий R и ширины линии r_c справедлива следующая зависимость $r_c = 1/2R$. Например, если съёмочная система имеет разрешающую способность $R = 50 \text{ мм}^{-1}$, то это означает, что в 1мм изображения может быть зафиксировано 100 чёрных и белых линий, и минимальный размер различимого элемента изображения будет равен 0,01мм. Величину r_c называют разрешением на снимке. Размер соответствующего элемента на поверхности снимаемого объекта называют разрешением съёмочной системы. Разрешающая способность съёмочных систем, в которых приёмниками излучения служат ПЗС-линейки или ПЗС-матрицы (сканеры и цифровые кадровые системы), выражается количеством элементов или линий в одном дюйме изображения – dpi (dots per inch – точек на дюйм) или lpi (line per inch- линий на дюйм). Например, 600 или 1200 dpi означает, что минимальный размер элемента изображения соответственно равен 0.04 и 0.02 мм. Под термином спектральная разрешающая способность съёмочной системы понимают минимальную ширину спектральной зоны, в которой производится съёмка. Ширина спектральной зоны определяется возможностью используемого сенсора воспринимать интегральный сигнал (уровень излучения), создаваемый в данной зоне. Для фотографических систем она приблизительно равна 40-50нм, для нефотографических систем - 10-20нм и менее. Фотограмметрическая точность съёмочных систем – критерий геометрического искажения получаемого снимка. Степень геометрического искажения определяется позиционной точностью построения оптического изображения и последующей деформации данного оптического изображения приёмником излучения. Существуют топографические и нетопографические съёмочные системы. Под топографическими понимаются такие системы, геометрические искажения в которых минимальны и практически не влияют на точность фотограмметрических преобразований. К этому же классу можно отнести съёмочные системы, имеющие значительные искажения геометрии построения изображения, но с известным законом (моделью) деформации.

Используя модель деформации, можно учесть геометрические искажения снимка при цифровой фотограмметрической обработке. Для нетопографических съёмочных систем главным является получение изображения с высокими изобразительными свойствами. Под фотограмметрической точностью съёмочной системы понимают её способность пропорционально воспроизводить через уровень видеосигнала (в частности через оптическую плотность или цвет) соотношение яркостей элементов снимаемой местности. Причинами, снижающими фотограмметрическую точность, могут быть оптический тракт съёмочной системы, нестабильность работы её электронной цепи, непропорциональность регистрации сигналов сенсором и др. Съёмочные системы, обеспечивающие достаточную точность передачи пропорций яркостей снимаемых объектов по полю изображения, относят к фотограмметрическим. Рассмотренные критерии можно считать основными и общими при оценке и сравнении различных съёмочных систем. Для отдельных типов съёмочных систем могут быть определены специфические критерии. Достоинства фотографического способа хранения информации заключаются в том, что: изображение представляет собой аналоговую модель снимаемого объекта в виде двумерного распределения функций его яркости (оптической плотности или цвета); достаточно строгая пропорциональности оптической плотности (цвета) на снимке яркостям объектов; высокая изученность фотографического процесса и возможность управления им; фотографические сенсоры (фотоматериалы) имеют достаточно стабильные характеристики и свойства, что обеспечивает получение снимков необходимого качества; стоимость фотоснимков в настоящее время значительно ниже стоимости снимков, полученных нефотографическим способом; высокая разрешающая способность получаемых изображений. Недостатками фотографического способа можно считать: ограничение спектральной зоны съёмки в пределах $0,3 - 1,1 \mu\text{м}$; необходимость проведения фотохимической обработки; не оперативность доставки получаемой информации; зависимость от погодных условий; необходимость проведения специальной процедуры ввода изображения при дальнейшей компьютерной обработке снимков.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные критерии, применяемые для оценки информационных возможностей съёмочных систем?
2. Что понимается под линейной разрешающей способностью съёмочной системы?
3. Назовите достоинства фотографического способа хранения информации?
4. Что понимается под топографическими системами?

3.5. Фотографические съёмочные системы

Аэрофотоаппарат (АФА) – оптико-электромеханическое устройство, предназначенное для фотографирования земной поверхности с различных летательных аппаратов. В аэрофотокамере располагается оптическая система – объектив и затвор. Основные характеристики объектива: фокусное расстояние и разрешающая способность.

Фокусное расстояние АФА – это расстояние от задней узловой точки объектива до фокальной плоскости АФА. Разрешающая способность объектива характеризует возможности объектива разделять передавать в создаваемом изображении близко расположенные мелкие детали. Кассета предназначена для размещения аэрофотоплёнки и приведения её в плоскость прикладной рамки во время экспонирования. Командный прибор служит для автоматического дистанционного управления АФА.

Создание планов и карт крупных масштабов и, в частности, кадастровое картографирование поселений производится по аэрофотоснимкам крупного масштаба. Достоинства фотографического способа хранения информации заключаются в том, что: изображение представляет собой аналоговую модель снимаемого объекта в виде двумерного распределения функций его яркости (оптической плотности или цвета); достаточно строгая пропорциональности оптической плотности (цвета) на снимке яркостям объектов; высокая изученность фотографического процесса и возможность управления им; фотографические сенсоры (фотоматериалы) имеют достаточно стабильные характеристики и свойства, что обеспечивает получение снимков необходимого качества; стоимость фотоснимков в настоящее время значительно ниже стоимости снимков, полученных нефотографическим способом; высокая разрешающая способность получаемых изображений. Недостатками фотографического способа можно считать: ограничение спектральной зоны съёмки в пределах $0,3 - 1,1\text{ мкм}$; необходимость проведения фотохимической обработки; неоперативность доставки получаемой информации; зависимость от погодных условий; необходимость проведения специальной процедуры ввода изображения при дальнейшей компьютерной обработке снимков.

3.6. Нефотографические съёмочные системы

Нефотографические съёмочные системы отличаются от фотографических систем тем, что в них для регистрации электромагнитного излучения применяют иные сенсоры и другие способы передачи изображения. Нефотографические системы разработаны с целью расширения технических возможностей аэро- и космических методов изучения земной поверхности. Съёмочные системы, установленные на космических летательных аппаратах, позволяют получать информацию о процессах, проходящих на Земле в реальном или близреальном времени. Специфика космических полетов потребовала конструирова-

ния съемочных систем специального вида: компактных, малой массы и энергопотребления, надежных в работе, с возможностью передачи без искажения информации на пункт приема непосредственно в процессе съемки и т. д. Съемочные системы, применяемые при космических съемках, успешно используют в съемочном процессе с самолетов и вертолетов.

Сканирующие съемочные системы (сканеры) отличаются от других прежде всего принципом построения изображения, которое строится путем построчного сканирования (просматривания) местности. Сканирующее устройство воспринимает отраженный (излученный) электромагнитный поток от элементарных площадок снимаемого объекта, расположенных вдоль строки. Размер площадки зависит от высоты съемки, мгновенного угла изображения оптической системы сканера 2α и положения относительно оси сканирования. Угол захвата 2β определяет ширину полосы на местности поперек направления полета. Переход от одной строки к другой (построчная развертка) происходит в результате поступательного движения летательного аппарата. Для исключения разрывов между строками скорость сканирования согласуют с высотой и скоростью полета. В качестве сканирующих устройств используют вращающиеся оптические элементы: плоские зеркала, зеркальные призмы, пирамиды и т. п.

В сканирующих системах применяют различные типы приемников электромагнитного излучения: тепловые (теплоэлектрические) и фотонные (фотоэлектрические). Первые работают на основе преобразования тепловой энергии в электрический сигнал, в фотонных сигнал определяется количеством поглощенных фотонов. Наибольшее применение получили сканеры, приемниками в которых служат линейки ПЗС (прибор с зарядной связью) или ПЗС-матрицы. Принцип работы ПЗС заключается в следующем. Светочувствительный слой представляет собой сетку кремниевых диодов, расположенную за оптической системой. Если диоды расположены в одну линию, то такую конструкцию называют линейкой ПЗС. Диоды, расположенные несколькими линиями, представляют собой ПЗС-матрицу, размер которой определяется числом элементов (диодов) в линии и числом линий (строк).

Каждый кремниевый диод соединен с ячейкой хранения заряда. Когда световой поток в виде оптического изображения поступает на диод, генерируется электрический заряд, пропорциональный падающему потоку. Заряд переносится в ячейку хранения заряда (ячейку памяти). Информация последовательно считывается из ячеек памяти и преобразуется в цифровой код (цифровое изображение). Линейное разрешение зависит от размеров элементов (диодов) линейки ПЗС или ПЗС-матрицы. Их число в современных цифровых съемочных системах достигает 5000×5000 элементов и более, что обеспечивает разрешающую способность, близкую к фотоэмульсиям. Различные типы

сенсоров имеют различную спектральную чувствительность и охватывают спектральный интервал от видимой до дальней инфракрасной зоны (0,4 16 мкм). Выбор приемника излучения и его спектральной чувствительности определяется необходимым спектральным интервалом съемки.

В сканерах, как правило, устанавливают несколько сенсоров, позволяющих получать изображение одновременно в различных спектральных каналах.

Результаты съемки в виде цифрового изображения передаются на пункт приема по радиоканалу. Если носитель находится вне радиовидимости, то проводится запись на магнитный носитель с последующей передачей по радиоканалу на Землю. Поступившие на пункт приема сигналы записываются на магнитный носитель. Далее может быть выполнено преобразование сигналов (визуализация) и получено аналоговое изображение, подобное фотографическому. Результаты съемок удобнее передавать пользователю на магнитных носителях, например на СД дисках, с последующей визуализацией на местах обработки снимков.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите типы приемников электромагнитного излучения?
2. В чем отличие сканирующие съемочные системы от других систем?
3. Какие достоинства имеет фотографический способ хранения информации?

Глава. 4 Использование летающих беспилотных аппаратов в фотограмметрии.

В настоящее время БПЛА применяются в геодезических изысканиях при строительстве, для составления кадастровых планов промышленных объектов, транспортной инфраструктуры, поселков, дачных массивов, в маркшейдерском деле для определения объемов горных выработок и отвалов, при учете движения сыпучих грузов в карьерах, портах, горно-обогачительных комбинатах, для создания карт, планов и 3D-моделей городов и предприятий.

Сверхлегкие беспилотные летательные аппараты взлетным весом до 5 килограммов обладают рядом преимуществ, основными из которых являются — высокая мобильность, низкая стоимость и способность быстро выполнять поставленные задачи. Одним из наиболее перспективных направлений их использования стала аэросъемка небольших участков местности (площадью до 10 кв. км), на которых применение большой авиации нерентабельно или невозможно. Такие БПЛА могут оснащаться различным аэронавигационным оборудова-

нием, состав которого зависит от их грузоподъемности, стоимости всего комплекса и состава решаемых задач.



Фото. 6 Беспилотного летательного аппарата

Аэрофотосъемка с БПЛА имеет ряд существенных отличий от классической аэрофотосъемки:

- существенные отклонения маршрутов от прямолинейности и в связи с этим высокая вероятность уклонений их поперечного перекрытия от расчетного;

- значительные (до 10°) углы наклона снимков (ϵ), обусловленные нестабильностью носителя аппаратуры и невозможностью использования громоздкого оборудования для стабилизации фокальной плоскости съемочной камеры;

- существенное колебание высоты фотографирования (ΔH), что приводит к заметной разномасштабности смежных снимков (Δm).

Результатом совместного влияния перечисленных факторов может быть отсутствие тройного продольного, поперечного перекрытий некоторых смежных снимков и маршрутов, а в ряде случаев — и наличие разрывов в покрытии аэроснимками картографируемого участка. Для локализации указанных факторов решающее значение приобретает определение в полете параметров навигации, используемых как для управления полетом БПЛА, так и последующей фотограмметрической обработки аэрофотоснимков.

4.1 Наблюдение за посевами

До сегодняшнего дня основной проблемой земледелия был размер возделываемых сельскохозяйственных угодий и низкая эффективность мониторинга посевов. Эта проблема усугубляется в связи с

увеличением числа непредсказуемых погодных явлений, что усиливает риски, возникающие в ходе сельскохозяйственной деятельности, и повышает стоимость ремонта в полевых условиях. До недавнего времени самой современной формой мониторинга полей было использование спутниковых технологий. Основными ограничениями данного метода стали необходимость заказывать спутниковые снимки заранее, возможность делать снимки только один раз в день и недостаточная точность таких снимков. Кроме того, такие услуги очень дороги и не гарантируют качество съемки, которое может резко ухудшиться при сильной облачности. На сегодняшний день технологии с применением беспилотных летательных аппаратов предлагают ряд более дешевых вариантов мониторинга посевов. Дроны могут использоваться и на других этапах жизненного цикла сельскохозяйственных культур: от анализа почвы и посевных работ до определения оптимальных сроков сбора урожая.

4.2 Анализ почвы и рельефа полей

На первом этапе любого сельскохозяйственного цикла проводится анализ почвы. Дроны могут создавать точные трехмерные модели местности, позволяющие провести первоначальный анализ почв. Результаты такого анализа могут использоваться при планировании схемы посадки семян. Различным стартапам удалось создать системы посева, осуществляемого дронами, которые не только увеличивают интенсивность поглощения семенами питательных веществ на 75 %, но и позволяют снижать стоимость посевных работ на 85 %²³. Такие системы сбрасывают в почву семена, покрытые питательным составом, который обеспечивает растение всеми необходимыми элементами. Кроме того, такой анализ предоставляет данные для управления системами полива и контроля содержания азота. Беспилотные аппараты, оснащенные гиперспектральными, мультиспектральными или тепловыми сенсорами, способны определять, какой части поля необходим дополнительный полив или проведение других мероприятий. Кроме того, после всхода посевов дроны используются для расчета индекса растительного покрова. Оценка состояния растений На более поздних этапах жизненного цикла посевов основной задачей сельскохозяйственных работников становится предотвращение гибели и болезней растений. Эта работа требует постоянного мониторинга полей. Беспилотные летательные аппараты постоянно расширяют возможности мониторинга, тем самым позволяя снизить риски, связанные с земледелием.

Одна из новых разработок позволяет оценивать состояние растений и обнаруживать поражение деревьев бактериями или грибом. Сканирование растений с использованием как видимого спектра, так и ближнего инфракрасного диапазона дает представление о том, какое количество волн зеленого цвета и ближнего инфракрасного диапазона

отражается от растений. На основе этих данных создаются мультиспектральные изображения ближнего инфракрасного диапазона для обнаружения изменений в состоянии растений. Оперативность реагирования в таких случаях, как правило, имеет решающее значение, так как своевременное вмешательство может спасти от гибели целый сад. Кроме того, как только заболевание растения обнаружено, можно будет принять более точное решение по его лечению и мониторингу ситуации. Эти две функции позволяют повысить шансы растения на выживание. Даже в случае гибели посевов использование дронов для мониторинга растений принесет свою пользу, так как работники сельского хозяйства смогут намного быстрее зафиксировать убытки для получения страхового возмещения. Беспилотные аппараты могут использоваться и для опрыскивания насаждений. Дроны могут сканировать местность и выдерживать установленную дистанцию от верха растений, чтобы разбрызгивать нужное количество жидкости, корректируя параметры разбрызгивателя в режиме реального времени для обеспечения равномерности обработки посадок. Это не только повышает эффективность опрыскивания, но и сокращает количество избыточных химикатов, попадающих в почву. По оценкам экспертов, опрыскивание с воздуха может производиться в пять раз быстрее, чем с использованием традиционной техники, например тракторов.

Глава. 5 Примеры практического использования дистанционного зондирования в агропромышленном комплексе Республики Татарстан

Сельское хозяйство одна из наиболее перспективных сфер для использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе в целях повышения интенсификации животноводческого и особенно растениеводческого производства. Сельскохозяйственные культуры хорошо проявляются на космических снимках, ничем не скрыты, одноярусны, хорошо дешифрируются как по текстуре, так и по спектральным характеристикам.

Методы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) в настоящее время широко используются в агропромышленном комплексе многих стран мира (США, Канада, страны Евросоюза, Индия, Япония и другие). К наиболее известным примерам действующих систем сельскохозяйственного мониторинга можно отнести проекты MODIS и MARS (The Monitoring of Agriculture with Remote Sensing), реализуемые объединенным исследовательским центром Еврокомиссии по мониторингу сельскохозяйственных земель. Используемые этим центром технические средства (космические спутники) и соответствующее программное обеспечение позволяют определять площади земель и посевов, состояние растений и урожайность сельскохозяйственных культур. Причем это может быть сделано как на уровне отдельных стран

или даже группы стран, так и на уровне отдельного района или даже отдельной фермы. Результаты ДЗЗ используются для прогноза урожаев различных культур и потенциальной степени наполнения рынка. Все это позволяет вырабатывать меры по стабилизации уровня доходности сельскохозяйственных производителей через применения гибкой системы цен, квот и экспортно-импортных отношений, корректировать налоговую политику.

В настоящее время в Татарстане разрабатывается подобная космическая система ДЗЗ для наблюдений за землями сельскохозяйственного назначения. Данная работа ведется в рамках Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия.

Для проведения учета, инвентаризации и классификации сельхозугодий необходимы специальные крупномасштабные сельскохозяйственные планы и карты. В СССР и РФ крупномасштабная сельскохозяйственная (или земельная) съемка системно в общегосударственном масштабе никогда не проводилась. Имеющиеся в наличии разнородные планы и карты сельхозугодий отдельных районов и хозяйств безнадежно устарели, так как создавались еще в советские времена. Кроме того, они зачастую примитивны по содержанию (показаны только границы угодий), не отнесены к единой системе координат, используют искаженную (в соответствии с действовавшими инструкциями по соблюдению секретности) топооснову. Происходившие в стране в начале 1990-х годов перестроечные процессы затронули и аграрный сектор. Многие земли были выведены из оборота и заброшены. За прошедшие годы часть из них пришла практически в негодность с точки зрения возможности сельскохозяйственного использования (например, заросли лесом). Естественно, что эти явления на старых планах и картах не отражены, поэтому, пользуясь ими, предполагаемый инвестор даже приблизительно не может подсчитать площади потенциальных сельхозугодий.

Из сказанного следует, что первоочередными задачами, которые необходимо решить с помощью данных ДЗЗ в аграрном секторе экономики Татарстана, являются инвентаризация сельхозугодий и создание специальных тематических карт. Сельхозугодья, а также брошенные, засоренные, зарастающие (в том числе лесной растительностью) земли хорошо дешифрируются по текстуре изображения. Наличие большого массива архивных снимков также может оказать существенную помощь. Например, если сравнить снимки Landsat 1990-х годов с современными, то несложно выявить земли, пришедшие в негодность и требующие значительных финансовых вложений для возвращения в оборот.

Наиболее показательным параметром, выделяющим съемочную систему среди других аналогичных, является высочайшая точность позиционирования снимков с использованием только орбитальных данных

без выполнения каких бы то ни было наземных изысканий. Использование RPC (коэффициентов рационального полинома), поставляемых вместе со снимками, позволяет получать пространственную основу с точностью позиционирования не хуже 10 м, что вполне удовлетворяет задачам сельскохозяйственного картографирования в масштабах до 1:25 000.

Сельскохозяйственное картографирование с использованием данных ДЗЗ должно обеспечить составление карт трех уровней: административных районов; отдельных хозяйств; отдельных угодий (конкретных полей, пастбищ, сенокосов и т. д.).

Следующая важная и безусловно перспективная область применения технологии ДЗЗ в аграрной сфере мониторинг сельскохозяйственных культур.

Типичными задачами здесь являются: обеспечение текущего контроля за состоянием посевов сельскохозяйственных культур; раннее прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур; одновременный мониторинг темпов уборки урожая в крупных регионах; определение емкости пастбищ различных типов, продуктивности сенокосов и др.

Эти задачи решаются проведением систематических повторных съемок, которые обеспечивают наблюдение за динамикой развития сельскохозяйственных культур и прогнозирование урожайности. Используя при дешифрировании информацию об изменении спектральной яркости растительности в течение вегетационного периода и индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), можно по тону изображения полей судить об их агротехническом состоянии и т. д. (рис. 1-3)

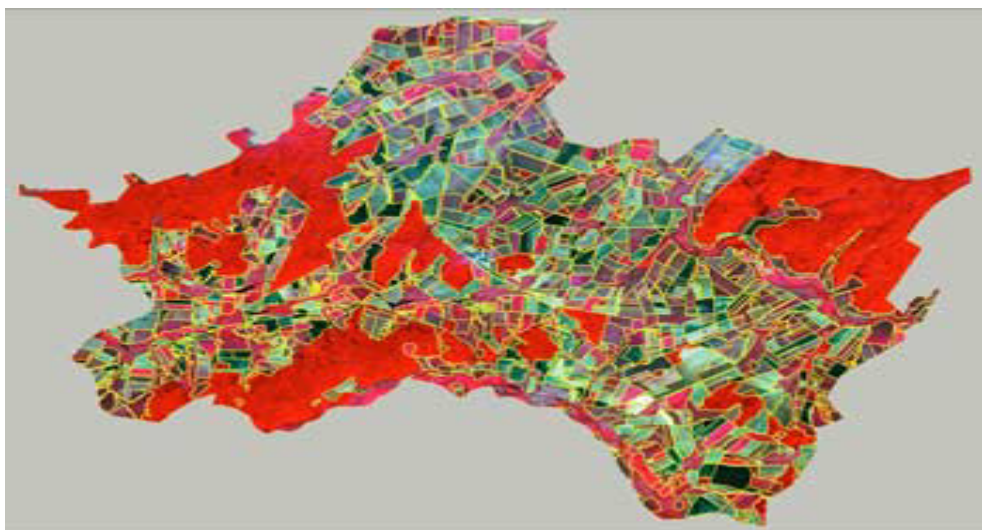


Рис. 16. Черемшанский район Татарстана. Карта сельхозугодий, созданная по снимку

Особую роль методы ДЗЗ играют в такой относительно новой сфере сельского хозяйства, как «точное земледелие», суть которого состоит в том, что для получения с некоторого поля максимального количества качественной и дешевой продукции для всех растений этого сельхозугодья создаются одинаковые условия роста и развития без нарушения норм экологической безопасности. «Точное земледелие» внедряется путем постепенного освоения качественно новых агротехнологий на основе высокоэффективных и экологически безопасных технических и агрохимических средств. Первостепенное значение для «точного земледелия» имеет постоянный контроль за состоянием растительности. Важной составляющей технологии «точного земледелия» является своевременное обнаружение и локализация участков угнетенного состояния растительности в пределах поля, что может быть вызвано разными факторами: поражением растений вредителями, засильем сорняков и т. д. Данные ДЗЗ для оперативного реагирования на ситуацию являются незаменимыми, но для этого они должны удовлетворять следующим условиям:

- возможность оперативного получения и обработки;
- высокое и сверхвысокое разрешение для повышения точности определения биофизических параметров растительного покрова;
- наличие мультиспектрального режима для использования при дешифрировании различий в спектральной яркости;
- достаточно частая периодичность получения.

5.1 Управление посевами сельскохозяйственных культур на примере ярового рапса.

Одной из причин получения низких урожаев ярового рапса является упущение оптимальных сроков обработки посевов против многочисленных вредителей (на рапсе обитают более 80 видов вредителей этой культуры, которые за 8-10 дней могут уничтожить все посевы хозяйства) и химической прополки сорных растений из-за отсутствия своевременной информации. В связи с этим, определение текущей ситуации на посевах объекта исследований, оценка и прогнозирование его урожайности на основе данных космической съемки является актуальной проблемой современного агропромышленного комплекса не только Республики Татарстан, но и Российской Федерации в целом.

Условия и методика проведения исследований. Исследования по оценке конкретной ситуации на посевах ярового рапса с использованием космических сканерных изображений среднего разрешения проводились на полях СПК «Колос» (хозяйственный центр д. Покровский-Урустамак) Бавлинского муниципального района.

Хозяйство ежемесячно реализует молоко на сумму 2900-3100 тыс. руб., а мясо – на 1560 тыс. рублей. Чистая прибыль от реализации животноводческой продукции в 2015 г. составила 9 млн. 225 тыс. руб.,

рентабельность животноводства 35%, а растениеводства – 42 процента.

Следовательно, СПК «Колос» является одним из самых экономически крепких и динамично развивающихся хозяйств нашей республики. В связи с этим, у него есть возможность перехода на высокотехнологические приемы возделывания сельскохозяйственных культур, включая использование дистанционного зондирования посевов для мониторинга вредителей и сорных растений.



Рис. 17. Спутниковый снимок состояние посевов

Заблаговременное определение посевных площадей сельскохозяйственных культур и прогнозирование их урожайности позволяет установить контрольную цену реализации выращенной продукции (target price) и цену вмешательства (intervention price). При этом уровень контрольной цены позволяет производителям масличного сырья покрыть издержки производства и получать «справедливую» прибыль независимо от спроса и предложения даже в годы перепроизводства. В засушливые неурожайные годы фермеров развитых зарубежных стран мира спасает цена вмешательства со стороны государства.

В Российской Федерации, в том числе и в Республике Татарстан такая практика пока полностью отсутствует и цена реализации масличного сырья, также как продовольственного зерна и крупяных культур, определяется и устанавливается только в период уборки урожая, что отражается на стоимости продуктов питания в розничной торговле (как правило в сторону повышения).

Основой проведения такого рода работ является отражение агроценозами солнечной радиации, что связано с количеством хлорофилла в фитомассе растений. Между этими двумя факторами существует тесная корреляционная зависимость – чем больше фитомасса, тем выше отражение солнечной радиации.

С другой стороны, растения не только отражают, но и поглощают солнечную радиацию. Поэтому для оценки состояния посевов

применяется вегетационный индекс NDVI, который рассчитывается по формуле:

$NDVI = NIR - RED / NIR + RED$, где

NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра.

При помощи данного индекса можно определить пораженность растений вредителями (резкое изреживание травостоя) и засоренность посевов. В последнем случае, наоборот, происходит чрезмерное уплотнение посевов ярового рапса (табл. 1).

Для сравнения отметим, что для открытой почвы значение индекса снижается до 0,025.

При этом, учет биологических особенностей ярового рапса позволяет исключить ежедневный контроль распространения вредителей и сорняков на посевах этой культуры.

Таблица 2

Значение индекса NDVI в зависимости от состояния посевов

Тип объекта	От- ражение в красной об- ласти спектра, мкм	От- ражение в ин- фракрасной области спектра, мкм	Знач ение NDVI
Густая рас- тительность	0,1	0,5	0,7
Разряженная рас- тительность	0,1	0,3	0,5
Оптимальная густо- та	0,1	0,4	0,6

Так, из 80 вредителей самыми опасными являются крестоцветная блошка, капустная моль и рапсовый цветоед. Первый из них появляется через 10-12 дней после посева и насквозь съедает семядольные листочки (рис. 2). Именно в этот период при анализе космических съемок можно установить изреживание травостоя.

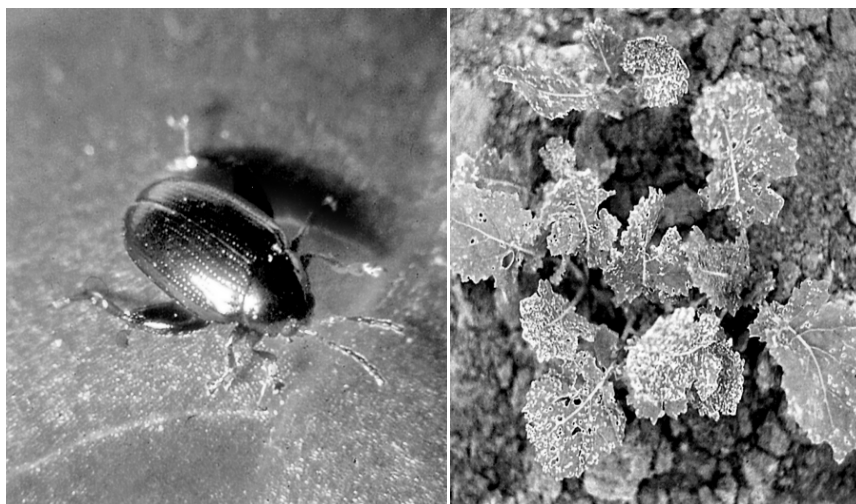


Рис. 18. Крестоцветная блошка и ее действие

Второй период изреживания посевов ярового рапса связан с массовым поражением растений, особенно если весна жаркая и сухая, капустной молью (рис. 3), которая питается мякотью листа с нижней стороны. Если же не принять оперативные меры значение анализируемого индекса может упасть до 0,3-0,4.



Рис. 19 Листья рапса, поврежденные капустной молью

Рапсовый цветоед появляется в середине июня, в начале бутонизации ярового рапса (рис. 4). Сначала он поражает тычинки и пестики, затем начинает съедать молодые стручки, тем самым снижает фитомассу, что легко обнаружить по космическим съемкам.

Таким образом, 3-х кратное рассмотрение космических съемок позволяет своевременно установить пораженность ярового рапса вредителями и принять оперативные меры.



Рис. 20. Массовое появление цветоеда в конце бутонизации ярового рапса

Засоренность посевов ярового рапса проверяется в фазе 2-3-х пар настоящих листьев этой культуры. В случае превышения индекса NDVI 0,8 необходимо провести химическую прополку с учетом видового состава сорных растений.

Таким образом, использование в сельском хозяйстве высокотехнологичных приемов возделывания ярового рапса на основе использования космических съемок и принятие оперативных мер по исключению негативных явлений, а также прогнозирование урожайности имеет как экономическое, так и социальное значение.

5.2 Мониторинг неиспользуемых пригородных земель Татарстана

Процесс зарастания земель сельскохозяйственного назначения особенно характерен пригородным землям крупных городов, где сосредоточено большое количество собственников земли.

По данным Управления Росреестра по Республике Татарстан в пригороде Казани неиспользуемых земель более 16 тыс. га. При этом земли сельскохозяйственного назначения, неиспользуемые более 3-х лет, заросших древечно-кустарниковой и сорной растительностью насчитывается более 5,5 тыс. га. В Высокогорском муниципальном районе таких земель насчитывается более 1,5 тыс. га. Эта цифра в реальности намного больше, в несколько раз.

На сегодняшний день отсутствуют механизмы определения вариантов альтернативного использования данных угодий с учетом степени их деградации на основе экологоэкономического обоснования их хозяйственного использования.

Анализ и оценка хозяйственного использования сельскохозяйственных земель на территории различных участков

северной части пригорода Казани (на примере Высокогорского муниципального района РТ) на основе данных дистанционного зондирования с помощью космических снимков и полевых подспутниковых наблюдений.

Мониторинг состояния сельскохозяйственных земель в представленной методике осуществляется на основе анализа современных материалов дистанционного зондирования и полевых наблюдений. При анализе данных дистанционного зондирования можно выделить качественные, количественные, хронологические (временные) и пространственно-территориальные параметры изменения состояния наблюдаемых объектов. Для достоверной оценки состояния территории требуется наличие комплекта тематических карт, позволяющих выявить закономерности пространственно-временного распределения качественных и количественных характеристик исследуемой территории.

Предлагаемая методика оценки качественного состояния сельскохозяйственных земель исследуемой территории заключается в следующей последовательности выполняемых операций (рис. 3):

1. Исследование динамики состояния сельскохозяйственных угодий, подверженных процессам зарастания древесно-кустарниковой растительностью.

2. Параметризация качественных и количественных характеристик состояния исследуемой территории.

3. Классификация сельскохозяйственных земель по балльной шкале оценки качественных и количественных характеристик территории.

4. Оценка современной и потенциальной опасности зарастания сельскохозяйственных угодий.

В состав земель сельскохозяйственного назначения помимо сельскохозяйственных угодий входят земли, занятые внутрихозяйственными дорогами, коммуникациями, лесными насаждениями, предназначенными для обеспечения защиты земель от воздействия негативных (вредных) природных, антропогенных и техногенных явлений, водными объектами, а также зданиями, строениями, сооружениями, используемыми для производства, хранения и первичной переработки сельскохозяйственной продукции. Представленная далее методика апробирована исключительно на сельскохозяйственных угодьях.



Рис. 21. Методика оценки качественного состояния сельскохозяйственных земель, подверженных негативным процессам зарастания

Далее рассматривается содержание перечисленных методических этапов.

Первому этапу предшествует целый комплекс предварительных работ по изучению масштабов, специфики и особенностей протекания исследуемого негативного процесса. Для проведения достоверной оценки состояния земельных ресурсов необходимо использование картографических материалов, в полной мере отражающих комплексное состояние территории. Определение необходимого для проведения анализ количества информации в первую очередь зависит от физико-географических особенностей исследуемого региона.

Для применения методики балльной оценки качественного состояния зарастающих сельскохозяйственных угодий пригородных земель Казани на примере Высокогорского муниципального района РТ и планирования их дальнейшего хозяйственного использования определен комплекс исходной

Рис.3. Методика оценки качественного состояния сельскохозяйственных земель, подверженных негативным процессам зарастания

информации, необходимой для определения показателей балльной оценки (табл. 3).

В качестве исходных материалов для апробации методики использовались:

- данные дистанционного зондирования (аэрокосмические изображения);

- картографический материал земель Семиозерского сельского поселения (план землепользования);
- данные полевых наблюдений;
- иные данные, характеризующие региональные особенности исследуемой территории, оказывающие влияние на развитие негативных процессов.

Таблица 3

Требования к исходным данным

Наименование	Вид	Основное содержание материалов
Данные дистанционного зондирования	геопривязанные снимки в системе координат МСК-16	качественное состояние сельскохозяйственных земель
Картографический материал	план землепользования	границы контуров участков сельскохозяйственных земель и всех объектов
Материалы полевых обследований	акт	описание состояния сельскохозяйственных угодий по показателям развития процессов зарастания
Аналитические материалы	текст	описание ландшафтно-экологических и социально-экономических характеристик исследуемой территории (природно-хозяйственные условия, культуртехническое состояние и пр.)

В качестве исходных материалов для апробации методики использовались:

- данные дистанционного зондирования (аэрокосмические изображения);
- картографический материал земель Семиозерского сельского поселения (план землепользования);

- данные полевых наблюдений;
- иные данные, характеризующие региональные особенности исследуемой территории, оказывающие влияние на развитие негативных процессов.

5.3. ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Геоинформационные системы - системы, предназначенные для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о представленных в ГИС объектах. Другими словами ГИС - современная компьютерная технология для картографирования и анализа объектов реального мира, происходящих и прогнозируемых событий и явлений.

Внедрение геоинформационных технологий контроля земель сельхозназначения на региональном уровне позволяет собирать данные с муниципальных образований и производителей сельхозпродукции о состоянии использования земель сельскохозяйственного назначения. И планировать на их основе эти мероприятия в различных направлениях. В таких как:

1. Сохранение плодородия почв.
2. Регулирование рынка агропромышленного комплекса.
3. Определение границ и картографирования сельскохозяйственных угодий.
4. Выявления неучтенных и неиспользуемых земель.
5. Планирование, сбор информации и анализ использования техники.

Использование ГИС в сельском хозяйстве позволит отслеживать информацию по сохранению плодородия почв, неучтенным и неиспользуемым землям и др. Так же применение этих технологий в этой сфере позволяет:

1. Собирать информацию, которая требует учёта и анализа, в единую централизованную базу данных.
2. Снизить усилия по занесению информации с визуализацией данных на карте и в виде графиков и таблиц.
3. ГИС объединяет в себе инструменты для сотрудников и руководства, перед которым стоят задачи принятия управленческих решений на основе статистических данных по районам и региону.

К дополнительным возможностям применения ГИС можно отнести:

1. Систематическое наблюдение за агроэкологическим состоянием и использованием земель сельскохозяйственного назначения.
2. Формирование паспорта объектов учета – контуров полей со сложившимся землепользованием и естественными границами.
3. Возможность формирования аппликационной схемы на основании данных ГИС в разрезе муниципального образования и области, края.

4. Распределение площадей: по культурам, по собственникам, питательным элементам (NPK, Гумус).

5. Подключать внешние тематические источники.

За последние несколько лет некоторые зарубежные страны имеют существенный опыт по введению новейшей технологии, которая используется в сфере сельского хозяйства, например повышение урожаев, экономия агрохимикатов. В России так же проводятся работы по введению системы точного земледелия, которые основаны на новых информационных технологиях и навигационных системах

Таким образом, в данный момент важна систематизация уже известных методов, технических средств и технологий, применяемых для систем точного земледелия.

Благодаря развитию ресурсосберегающих технологий в сельском хозяйстве в России позволяет этой отрасли выйти на новый качественный уровень производства. В условиях стратегии товарозамещения они позволяют сельскохозяйственным товаропроизводителям конкурировать с иностранными предприятиями. Основным элементом среди них в сельском хозяйстве является точное земледелие (прецизионное земледелие).

Точное земледелие – совокупность технологий, технических средств и систем принятия решений, направленных на управление параметрами плодородия, влияющими на рост растений. Такими параметрами являются: содержание органического вещества, питательные элементы почвы, рельеф, наличие влаги в почве, засоренность сорняками. Для осуществления технологий точного земледелия немаловажны: современная техника, приборы точного позиционирования на местности и новые информационные технологии. Технические средства используемые в системе точного земледелия: GPS-приемники; российская спутниковая система ГЛОНАСС; технические системы, помогающие выявить неоднородность поля; автоматические пробоотборники; различные сенсоры и измерительные комплексы; уборочные машины с автоматическим учетом урожая; приборы дистанционного зондирования сельскохозяйственных посевов и др. (табл. 1).

Появление новой концепции названной как точное земледелие, прежде всего, связано с бурным развитием компьютерной технологии начавшееся в 90-х годах прошлого столетия. Так же этому способствовало появление на рынке современной сельскохозяйственной техники, оборудованной приемниками GSP, всевозможными датчиками и бортовыми компьютерами с соответствующим программным обеспечением, возможность использования географических информационных систем (ГИС) для обработки и визуализации пространственно-атрибутивных данных.

С помощью введения технологий точного земледелия, возможно:

- составить карты урожайности, типов почв и почвенных разностей, содержания в почве гумуса и микроэлементов;

- проведение мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий с определением границ участков и кадастр угодий;
- провести агрохимическое обследование почв с определением норм внесения удобрений, а также планирование и расчет норм известкования.

Таблица 1

Преимущества освоения начального этапа точного земледелия и ГИС технологий в АПК Республики
Татарстан

Название	Стоимость	Точность	Экономия на 1 га	Преимущества
Системы параллельного вождения	от 150 тыс. рублей	15 см	около 180 рублей (окупается меньше чем за один год)	<ul style="list-style-type: none"> - избежание «перекрытий» 11% и «пропусков» 4% при обработке посевов; - сокращение затрат на закупку удобрения 20% на гектар, СЗР до 20% на гектар, ГСМ до 20% на гектар; - снижение инвестиционных затрат на опрыскиватель и разбрасыватель; - сокращение времени выполнения полевых работ; - возможность качественно производить работы ночью и при любой видимости; - увеличение производительности на до 20%; - снижение уплотнения почвы и негативного воздействия на окружающую среду.
Системы параллельного вождения с подруливающим устройством	от 370 тыс. рублей	от 2 до 20 см	270 рублей (окупается в течение года)	<ul style="list-style-type: none"> - приемник последнего поколения обеспечивает точность до 2 см; - цветной, широкий дисплей; - экранные подсказки; - встроенная функция картирования с записью на съемный носитель.

Дифференцированное внесение удобрений в системе «off-line»			около 390 рублей	<ul style="list-style-type: none"> - расчет дозы удобрений на планируемую урожайность для каждого элементарного участка; - выполнение заданной операция путем считывания необходимой дозы с карты при движении трактора по полю; - экономия удобрений до 30%; возможность работы в ночное время; сокращение инвестиционных затрат на технику.
Дифференцированное внесение удобрений в системе «on-line»	около 2,2 млн. рублей			<ul style="list-style-type: none"> - снижение затрат на азотные удобрения до 30%; - уменьшение полегания растений; рост производительности труда оператора на 15%; увеличение содержания «сырого белка» на 0,5–1,0%; - подходит для озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ячменя, рапса, кукурузы, картофеля и других культур; - увеличение эффективности использования удобрений; - повышение комфортности работы, снижение усталости оператора; - охрана окружающей среды; - N-tester прост в эксплуатации, подходит для разных культур и сортов, быстрое измерение потребности в

				азоте без механического повреждения растений.
Система картирования урожайности на примере использования «InSight»				<ul style="list-style-type: none"> - получение точных данных об урожайности сразу после уборки; - контроль влажности зерна с целью определения необходимости в просушке; - анализ зон с минимальной урожайностью; - экономия на последующем проведении почвенного обследования (отбор проб только в проблемных местах); - не влияет на производительность комбайна; - создание карт урожайности для проведения последующего анализа.

Прецизионное земледелие позволяет наилучшим образом исполнять политику планирования и оперативного управления производством растениеводческой продукции основанной на технологии ресурсосбережения с учетом обнаруженных количественных закономерностей, которые характеризуют биологическое разнообразие культур и сортов, местных условий почвенного питания растений и особенностей микроклимата территории их произрастания. Способность обеспечивать высокий урожай сельскохозяйственных культур близкой к биологическому потенциалу с большим качеством продукции с сохранением экологической стабильности территории технологии точного земледелия справедливо можно отнести к высоким технологиям.

Сама технология точного земледелия основана на оценке неоднородности ландшафтов и адаптации существующей системы к обнаруженной неоднородности изучаемых полей. Пространственная неоднородность, количественное описание и выделение изменчивости границ на исследуемой территории изучается различными техническими и математическими методами.

К примеру, для того чтобы сделать возможность высокоэффективного точного управления необходимо иметь сведения и данные о характере размещения управляемых показателей, об основных направлениях наблюдаемых пространственных изменениях, статистической последовательности значений колеблющихся показателей.

Вышеназванные задачи, а также другие решаются на основе методов геостатистики, основным инструментом, которого является вариационный анализ. Но в то время этот подход имеет недостаток. Это связано с тем, что выводы результатам делаются на основе данных исследуемых меняющихся показателей почвы или посева, полученных в результате раздельного отбора образцов на изучаемую территорию. Свойства таких объектов сложно и непредвиденно меняются в пространстве, поэтому они не могут быть описаны никакими определенными зависимостями. В настоящее время в мире усиленно разрабатываются приемы постоянного измерения в системе точного земледелия главных технологических показателей почвы и посевов на основе применения новых методов физики дисперсных сред и различных сенсоров (оптические, радиометрические, электромагнитные и др.). В настоящее время перспективным подходом площадной оценки состояния и изменчивости свойств растительного слоя и почвы является комплекс средств и методов дистанционного зондирования земли.

Данные дистанционного зондирования за рубежом давно и очень успешно используются для решения задач, в том числе и в сельском хозяйстве. Материалы этих работ получаются без прямого контакта с изучаемыми объектами. Для этого при помощи специальных приборов фиксируются отражаемые и излучаемые в оптическом и радиолокационных диапазонах. При этом широкое применение нашли датчики, которые ис-

пользуют спектральный анализ и измеряют отличия в отражении и поглощении солнечного света растительностью и почвой.

На основе комбинирования величины яркости в определенных каналах, информативных для ассигнования объекта и расчета по полученным значениям спектрального индекса, выстраивается изображение, которое соответствует тому или иному индексу в каждой ячейке (пикселе) на основе чего выделяется изучаемый объект и оценивается его состояние.

В задачах оценки состояния и управления биопродуктивностью агроэкосистем с применением информационных технологий точного земледелия на основе использования данных дистанционного зондирования земли происходит следующим образом. Используя наземные и дистанционные средства проводится комплексная оценка состояния посевов и территории их произрастания. Для этого периодически выполняются агрохимическое обследование и строятся картограммы. Так же проводятся оперативные наблюдения за посевами: отбор почвенных и растительных проб с привязкой к местности, осуществляется их лабораторные изучение. Аэрофотосъемка может быть выполнена с помощью БПЛА или другими специальными летательными аппаратами. Полученные результаты проведенного мониторинга применяются для развития адаптивно-ландшафтных систем земледелия, которая содержит перспективные агроприемы производства сельскохозяйственной продукции и их осуществления в полевых условиях с применением специальных технических и программно-аппаратных средств точного земледелия.

На данный момент экспериментально подтверждено перспективность использования информационной методологии точного земледелия для получения высоких и высококачественных урожаев зерновых культур с большим содержанием белка независимо от изменений почвенно-климатических условий района. Также было выявлено, что при раздельном способе количество вносимых химикатов и удобрений, а соответственно и затраты на их покупку сокращаются до 30%.

Следует отметить, что при проведении анализа по однородности полей с большими площадями по данным аэрофотоснимков появляются проблемы при выделении их границ. Дешифровку этих данных можно проводить в автоматическом режиме, но он дает только территориальное распределение неоднородности без определения биологических факторов разделения площади на однородные участки, которые выявлены на основе коэффициентов спектральной яркости. Создание эталонных участков на поле дает возможность проводить дешифрирование аэрофотоснимков с так называемым обучением, когда эти площадки играют роль индексных контролируемых изображений, по которым вероятность слежения за физиологическими изменениями в процессе вегетации растений на других участках возрастает в разы.

Перспектива применения материалов дистанционного зондирования в научных исследованиях и точном земледелии в глобальном плане тесно связано с уровнем развития мультиспектральных средств, которые отвечают требованиям верных измерений наземных агросистем. Это относится как к средствам космического, так и авиационного базирования. Точные измерения агроценозов должны основываться на совершенно новых подходах к созданию более совершенных алгоритмов и специального программного обеспечения, направленного на автоматическую обработку данных. В то же время необходимо привлекать опыт соответствующих специалистов их других областей. В связи с этим задачи накопления, обработки и раскрытия данных дистанционного зондирования земли для сельского хозяйства носят совокупный характер, и требует междисциплинарных исследований изучаемого вопроса.

Так же дальнейшее развитие точного земледелия сильно ощущает нужду в достоверной пространственно-распределенной информации на уровне определенного хозяйства. Это необходимо как на этапе обоснования и проектирования дифференцированных по степени интенсификации технологий возделывания сельскохозяйственных культур, так и при оперативном управлении их продукционным процессом по всему циклу рекомендованных к проведению агроприемов, включая оптимизацию способов обработки почв, определение доз внесения удобрений, средств защиты растений от сорняков, вредителей и болезней с указанием сроков и условий их проведения в зависимости от сложившейся и ожидаемой метеорологической и хозяйственно-экономической обстановки. Решение данной задачи невозможно без необходимых сведений о состоянии посевов и территории их размещения, которые можно получить путем анализа связанных данных дистанционного зондирования и наземных измерительных систем. При этом важную роль в этом процессе играет дальнейшее совершенствование методов и способов дистанционного зондирования БПЛА и технологий дешифрирования получаемых данных с различных наземных источников информации, создание автоматизированных систем поддержки и принятия решений путем создания экспертных систем, баз данных и знаний, математических моделей, а также развитие опытного дела для изучения агросистем.

Существующие информационные технологии точного земледелия и данные дистанционного зондирования открывают большие перспективы для исследования продуктивности агроэкосистем. Под этим подразумеваются возможности автоматизации процесса создания нормативной базы применения удобрений в почвенно-климатических условиях изучаемого хозяйства и проведение полной анализа факторов схемы прецизионного опыта на заданной территории. Так же следует особо подчеркнуть, что возможность проведения полного факториального исследования позволит наиболее правильно решить оптимизационную задачу – подбор оптимальных доз минеральных удобрений для повышения ва-

лового сбора с посевов в условиях известных показателей основных факторов для каждого простого участка, обособляемого на поле по определенным оптическим характеристикам.

Прогнозирование урожайности

Система прогнозирования урожайности помогает контролировать состояние посевов, а так же влияние природно-климатических условий. Технология прогнозирования дает возможность следить за динамикой роста урожая, условий вегетации, устанавливать сроки созревания и начала уборки культур, и осуществлять экономический анализ урожайности.

С учетом полученного прогноза урожайности на различных участках поля (включая затраты и возможную извлекаемую прибыль) принимается решение о дифференцированной обработке полей. С другой стороны, можно проанализировать возможные потери в соответствии с потенциалом урожая на бедных землях. Для более точного определения уровня урожайности на полях хозяйства используется система компьютерного мониторинга.

Эффективное функционирование картографической системы сельхозпредприятия возможно только при объединении разнородной информации в единую пространственную базу данных. Такая интеграция осуществляется путем построения объектной модели данных, в которую входят:

- картографические слои;
- таблицы с информацией по объектам (посевные площади, поголовье скота, объемы производства, реализации и потребления сельскохозяйственной продукции и продовольствия и т.д.);
- аэро- и космические снимки.

Анализ данных в этой системе проводится средствами картографического анализа, что дает возможность получать пространственно определенные данные прироста или снижения продуктивности культур.

В результате прогнозирования урожайности культур и оценки потерь руководство может рассчитать оптимальную цену на оборудование и материалы, в которых предприятие будет нуждаться в будущем, и определить закупочные цены на сельскохозяйственную продукцию.

Мониторинг земель - является государственным мероприятием и представляет собой систему наблюдений за состоянием земель. Объектами государственного мониторинга земель являются все земли в РФ.

При помощи мониторинга земель выполняется:

- сбор информации о состоянии земель, ее обработку и хранение;
- непрерывное наблюдение за использованием земель;
- анализ и оценку качественного состояния земель с учетом воздействия природных и антропогенных факторов.

При использовании ГИС-технологий для мониторинга земель можно создавать цифровые карты по координатам, которые получают путем измерений на местности. С помощью цифровых карт изготавливают бумажные варианты и компьютерные карты на твердой подложке.

Таким образом, для того чтобы принимать правильные управленческие решения в сельском хозяйстве необходимо применение ГИС-технологий, так как это позволит повысить общую эффективность сельскохозяйственного производства, путем увеличения производительности предприятия, экологичности и рентабельности использования земель.

С помощью ГИС-технологий возможно проведение мониторинга земель, агрохимических обследований и др., что позволяет контролировать и улучшать экологию в сфере сельского хозяйства. Так же это дает возможность осуществлять экономический анализ урожайности сельскохозяйственного производства.

ГИС-технологий в сельском хозяйстве России используются не так широко, но в ближайшие годы ожидается большее внедрение информационных технологий, что улучшит производство в этой сфере.

Список литературы

1. Назаров А. С. Фотограмметрия: учебное пособие для студентов вузов. Минск: Тетра-Системс, 2006.

2. Обиралов А. И., Лимонов А. Н., Гаврилова Л. А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. М.: КолосС, 2006.

3. А. Н. Лобанов, М. И. Буров, Б. В. Краснопевцев. Фотограмметрия. М.: Недра, 2007.

4. Кадничанский С. А., Хмелевской С. И. Обзор цифровых фотограмметрических систем. М.: Центр ЛАРИС, 2009.

5. Титаров П. С. Метод приближенной фотограмметрической обработки сканерных снимков при неизвестных параметрах сенсора // Геодезия и картография, 2002. № 6. С. 30–34.

6. Дракин М. А., Зеленский А. В., Елизаров А. Б., Сечин А.Ю. Алгоритм автоматизированного расчета связующих точек в PHOTOMOD 4.0. // Геодезия и Картография, 2006, № 5. С. 37–41.

7. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. М.: ЦНИИГА-иК, 2002.

8. Алчинов А.И., Кекелидзе В.Б. Современные методы визуализации рельефа. «Геопрофи», 2006, №1.

9. Назаров А.С. Учет влияния рельефа местности при фотограмметрической обработке аэроснимков. «Автоматизированные технологии изысканий и проектирования», 2006, №1(20).

10. Назаров А.С. Фотограмметрия (учебное пособие для вузов). Мн., ТетраСистемс, 2006.

11. Костюк А.С. Использование малых летательных аппаратов и цифровой съемки для обновления плановых материалов и мониторинга объектов нефтегазового комплекса // Тезисы доклада. 10-я Всероссийская научно-практическая конференция «Геоинформатика в нефтегазовой и горной отраслях», Сургут, 2009.

12. Назаров А.С. Фотограмметрия. Пособие для студентов вузов. Мн., «Тетрасистемс», 2010.

13. Толпин В.А., Барталев С.А., Матвеев А.М., Лупян Е.А. Возможности анализа архивов спутниковых данных для выбора годов - аналогов в системе дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2009. Выпуск 6. Т. II. – С. 560-571).

14. Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Хвостиков С.А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. №3. – С. 275-285.

Интернет-ресурсы:

1. Новоселов В. Г. Рекомендуемая технологическая схема построения высококачественного ортофотоплана [Электронный ресурс] // РАКУРС: программные решения в области геоинформатики, цифровой фотограмметрии и дистанционного зондирования: [сайт]. URL: <http://www.racurs.ru>.

2. Функциональные возможности модулей PHOTOMOD [Электронный ресурс] // РАКУРС: программные решения в области геоинформатики, цифровой фотограмметрии и дистанционного зондирования: [сайт]. URL: <http://www.racurs.ru>.

3. Сечин А. Ю. Современные цифровые камеры. Особенности фотограмметрической обработки [Электронный ресурс] // РАКУРС: программные решения в области геоинформатики, цифровой фотограмметрии и дистанционного зондирования: [сайт]. URL: <http://www.racurs.ru>.

4. Области применения системы PHOTOMOD [Электронный ресурс] // РАКУРС: программные решения в области геоинформатики, цифровой фотограмметрии и дистанционного зондирования: [сайт]. URL: <http://www.racurs.ru>.

5. Руководство пользователя системы PHOTOMOD 5.21. [Электронный ресурс] // РАКУРС: программные решения в области геоинформатики, цифровой фотограмметрии и дистанционного зондирования: [сайт]. URL: [152http://www.racurs.ru](http://www.racurs.ru).

6. Данные дистанционного зондирования со спутника LANDSAT-7 (<http://www.sovzond.ru/satellites/436/441.html>)

7. NDVI – теория и практика (<http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>)

8. Концепция развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года № 1292-р от 30.06.2010 г. (<http://www.mcx.ru/navigation/page/show/320.htm>)