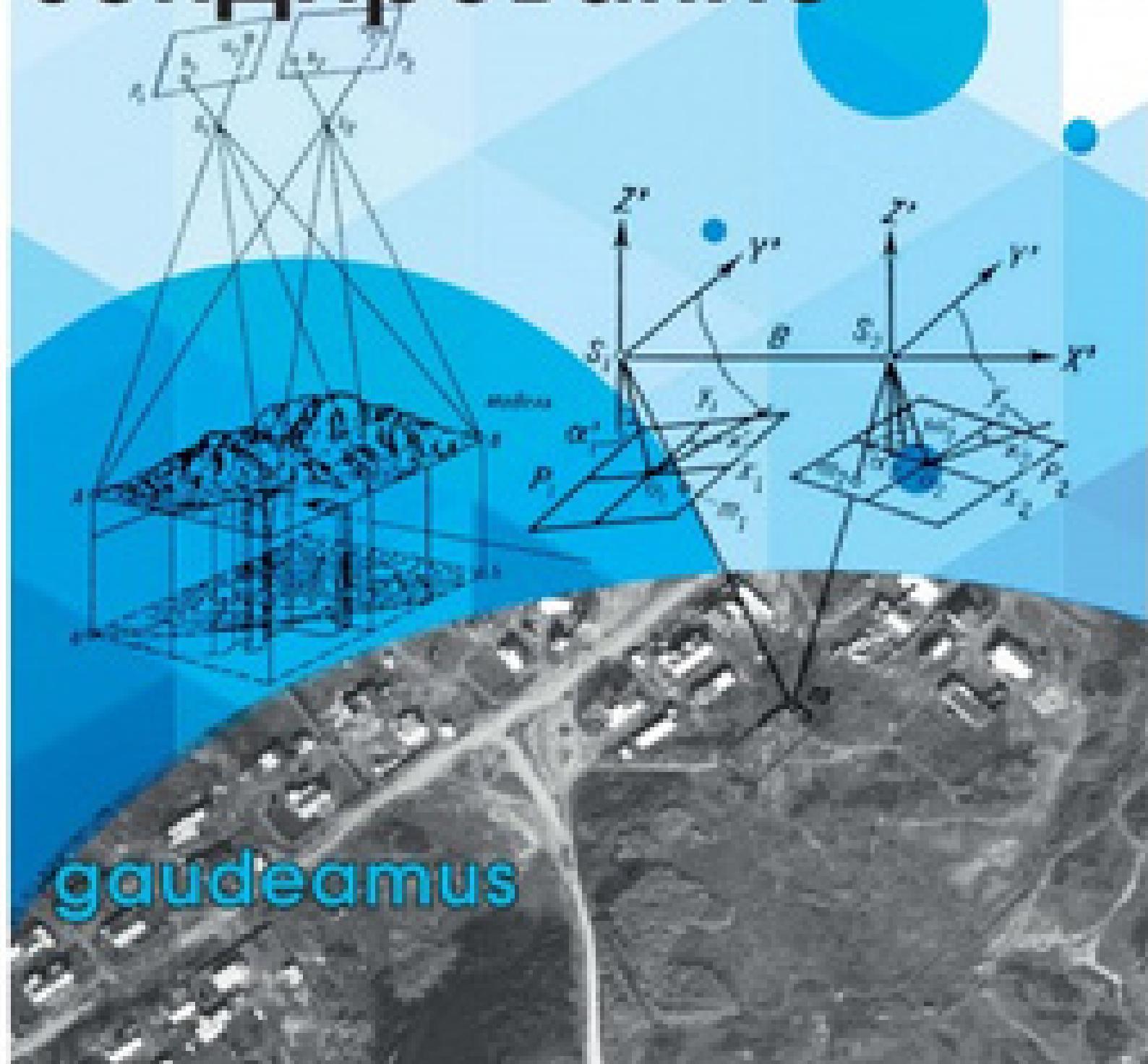


А.Н. Лимонов  
Л.А. Гаврилова

# Фотограмметрия и дистанционное зондирование



gaudeamus

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ высшего образования  
«Государственный университет по землеустройству»

Учебник для вузов

А.Н. Лимонов  
Л.А. Гаврилова

# ФОТОГРАММЕТРИЯ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по образованию в области  
землеустройства и кадастров в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по направлению  
подготовки 21.03.02 — Землеустройство и кадастры*

---

«Академический проект»  
Москва, 2020

УДК 528.7 (075.8)  
ББК 26.1я73  
Л 58

Л 58                   **Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А.**  
Фотограмметрия и дистанционное зондирование: Учебник  
для вузов. — 2-е изд. — М.: Академический проект, 2020. —  
296 с. — (Gaudamus: Библиотека геодезиста и картографа).

ISBN 978-5-8291-2979-8

В учебнике изложены научные основы и практические рекомендации применения дистанционных методов для получения информации о пространственном положении и качественном составе объектов земной поверхности. Рассмотрены современные аэро- и космические съемочные системы и области их применения. Даны аналитический анализ геометрических свойств аэро- и космических снимков и общее представление о теории и инновационных технологиях обработки аэро- и космических снимков на современных цифровых фотограмметрических станциях для создания ортофотопланов — основы размещения топографической, кадастровой и иной информации. Представлены решения прикладных задач землеустройства, кадастров и мониторинга земель по данным дистанционного зондирования.

Учебник может быть использован при подготовке бакалавров, обучающихся по направлениям «Землеустройство и кадастры», «Фотограмметрия и дистанционное зондирование», специалистов по специальности «Прикладная геодезия», магистров и аспирантов по направлению подготовки «Науки о Земле».

УДК 528.7 (075.8)  
ББК 26.1я73

© Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А.,  
2016  
ISBN 978-5-8291-2979-8

© Оригинал-макет, оформление.  
«Академический проект», 2020

## **ВВЕДЕНИЕ**

---

Учебник «Фотограмметрия и дистанционное зондирование» предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Землеустройство и кадастры». Производственная деятельность этих специалистов связана с организацией территорий, формированием земельно-кадастровой информации о различных категориях земель, проведением государственного мониторинга земель. Земельно-кадастровая информация включает: изучение и наблюдение границ и площадей различных категорий земель — объектов сельскохозяйственного назначения, градостроительных объектов, промышленности, транспорта, водного и лесного фонда; определение их качественного состава; правового положения и государственной оценки земель. Кадастровая информация используется для проведения мероприятий по организации территорий и охране окружающей среды.

Одним из методов получения информации об объектах недвижимости является дистанционное зондирование земной поверхности. В учебнике рассмотрены современные методы дистанционного зондирования с позиции научно-технических достижений в данной области.

Под термином *дистанционное зондирование* понимается неконтактное изучение земной поверхности, воздушного пространства, земных недр, природных и техногенных процессов. Изучение происходит посредством измерения (регистрации) с некоторого расстояния отраженного или собственного излучения специальными съемочными системами, последующей обработки и анализа получаемых данных. К дистанционному зондированию относят также иные методы исследования Земли — сейсморазведку, гравиразведку, эхолокацию дна водоемов и др. При изучении земельных ресурсов, кадастре, экологическом мониторинге используют преимущественно методы зондирования, основанные на регистрации электромагнитного излучения в оптическом и радиодиапазонах. В дистанционном зондировании земной поверхности выделяют: аэро- и космическую съемку (АКС), фотограмметрию и дешифрирование (интерпретацию).

*Аэро- и космическая съемка (АКС)* — процесс измерения или регистрации отраженного или собственного излучения аппаратурой, установленной на воздушных и космических летательных носителях. Результаты, полученные специальной измерительной аппаратурой в одномерном пространстве, могут непосредственно характеризовать определенные свойства изучаемых объектов, например измерение уровня засоленности или влажности почв, наличия гумуса, состояния

растительности, загрязнения земной поверхности радионуклидами и т. п. Наибольшее применение получили результаты измерений, представленные в виде двумерных изображений, например, фотографические (аналоговые или цифровые) снимки поверхности Земли. В зависимости от типа съемочных систем эти изображения могут быть получены путем регистрации излучения, различного по спектральному составу, в различных спектральных диапазонах, что позволяет получать разнообразную информацию, недоступную при визуальных наблюдениях. Измерения непосредственно изучаемого объекта с помощью лазерных сканеров позволяют создать модель объекта в трехмерном пространстве.

*Фотограмметрия* — научное направление, изучающее геометрические свойства снимков и методы определения метрических характеристик объектов земной поверхности, их пространственного положения. Основное применение фотограмметрии связано с созданием по снимкам карт и планов земной поверхности, а также внеземных объектов. Это направление часто называют *фототопографией*. Второе направление связано с применением фотограмметрии для решения прикладных задач в различных областях науки и техники: в архитектуре, строительстве, медицине, криминалистике, автомобилестроении, военном деле, геологии и т. д. Это направление в фотограмметрии называют *прикладной фотограмметрией*.

*Дешифрирование* (интерпретация) — метод исследования территории по ее аэро- и космическим изображениям, заключающийся в обнаружении, распознавании объектов, определении их границ, количественных и качественных характеристик с последующим отображением условными знаками. Результаты дешифрирования используют как материал для анализа состояния объектов или процессов, подлежащих изучению, а также при создании планов и карт.

В дистанционном зондировании дешифрирование и фотограмметрия являются самостоятельными научными дисциплинами.

Главным отличием дистанционного зондирования от наземных измерений, наблюдений и обследований является то, что для получения информации о пространственном положении и качественном составе изучаемых объектов земной поверхности используют аэро- и космические снимки, представляющие собой модель местности.

Началом дистанционного зондирования поверхности Земли можно считать фотографирование Парижа с воздушного шара, выполненное французом Ф. Надаром в 1858 г.

В настоящее время дистанционное зондирование является основным методом изучения поверхности Земли. Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) используются для решения разнообразных задач, которые можно объединить по направлениям:

## **ВВЕДЕНИЕ**

---

- создание планово-картографического материала различных масштабов и тематической направленности, например, кадастровых планов, почвенных карт;
- мониторинг земной поверхности, включая объекты недвижимости;
- экология и охрана окружающей среды (экологический мониторинг, контроль технического состояния существующих нефте-, газопроводов, транспортных коммуникаций, промышленных площадок);
- получение экспресс-информации о состоянии объектов и явлений (техногенные загрязнения, пожары, наводнения и т. п.);
- решение инженерных задач: определение уклонов местности, объемов земляных работ, выполнение отводов земельных участков, землеустроительное проектирование, создание фасадных планов зданий и сооружений по материалам наземной фотосъемки, моделирование участков земной поверхности для целей проектирования и т. п.;
- проведение наблюдений за деформациями участков земной поверхности, зданий и сооружений, оползневыми процессами;
- паспортизация объектов технического назначения;
- решение задач сельскохозяйственного назначения (определение состояния посевов, урожайности и т. п.).

При обследовании больших территорий, труднодоступных районов и опасных для человека зон дистанционное изучение с воздушных или космических летательных аппаратов является безальтернативным. Высокая объективность, надежность результатов дистанционного зондирования, их документальность (снимок территории — это отображение реальной информации на определенный момент времени) позволяют считать дистанционное зондирование современным и перспективным методом сбора различных данных о земной поверхности.

Дистанционное зондирование на современном научно-техническом уровне основывается на технологиях компьютерной обработки материалов аэро- и космических съемок, получаемых в цифровом или аналоговом виде (фотографическое изображение). Для компьютерной обработки аналоговое изображение с помощью сканеров преобразуют в цифровой вид — раcтровое изображение. Далее в среде специализированного программного обеспечения производят фотограмметрическую и интерпретационную обработку снимков. Полученные данные используют для создания картографической продукции — цифровых топографических и тематических (например, кадастровых) планов и карт. Хранение картографической и иной информации в цифровом виде позволяет иметь оперативный доступ, возможность своевременного обновления и обмена этой информацией.

Применяемые в кадастрах и землеустройстве геоинформационные системы (ГИС) используют материалы дистанционного зон-

## ВВЕДЕНИЕ

дирования комплексно: получение заданных материалов съемок — фотограмметрическая и интерпретационная обработка полученных материалов — анализ результатов — оценка результатов — создание информационных фондов данных — разработка оптимального инженерного решения.

Выходная картографическая продукция, создаваемая по данным дистанционного зондирования, представляется в виде моделей — цифровых моделей местности (ЦММ), цифровых моделей рельефа (ЦМР), цифровых моделей ситуации (ЦМС). Как самостоятельный вид выходной продукции создаются тематические информационные слои (приусадебных земель, дорожной сети, почвенных разновидностей и т. п.).

Материал в учебнике сформирован по нескольким основным самостоятельным, но связанным между собой направлениям:

- физические основы аэро- и космических съемок;
- съемочные системы, технологии аэро- и космических съемок, позволяющих получить первичную информацию об изучаемых объектах;
- геометрические свойства снимков, полученных топографическими аэрофотоаппаратами и космическими съемочными системами;
- основные положения цифровой фотограмметрии, технологии создания ортофотопланов по материалам аэро- и космических съемок;
- изучение теории и технологии дешифрирования снимков;
- применение дистанционного зондирования для решения прикладных задач в области землеустройства, кадастров, государственного мониторинга земель, картографии.

Учебник «Фотограмметрия и дистанционное зондирование» может быть использован при подготовке специалистов смежных направлений: геодезистов, почвоведов, экологов, мелиораторов и т. д.

ЧАСТЬ I  
АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ  
ЗЕМЛИ

Материалы дистанционного зондирования используют при решении разнообразных задач: картографировании, мониторинге земель, экологических исследованиях и охране окружающей среды, получении информации о быстропротекающих процессах и явлениях. По снимкам, полученным с воздушных или космических носителей, изготавливают карты и планы, используемые в землеустройстве и кадастрах, определяют геодезические координаты отобразившихся точек местности, в том числе поворотных точек границ землепользований и объектов, изучают качественные свойства этих объектов и т. п.

Точность и достоверность извлечения смысловой информации и определения пространственного положения изучаемых объектов в значительной степени зависят от геометрических свойств аэро- и космическим снимков, искажений яркостных характеристик объектов, технических параметров съемочной аппаратуры и внешних условий выполнения съемки.

В данной части учебника анализируется влияние основных внешних (природных) факторов, рассмотрены технические характеристики различных типов съемочных систем.

## **Глава 1. Физические основы аэро- и космических съемок Земли**

Цели изучения:

- уметь кратко описать влияние различных компонентов съемочной системы на изобразительные и геометрические свойства снимков;
- знать характеристики излучения, применяемого при аэро- и космических съемках;
- знать оптические свойства атмосферы и уметь оценить их влияние на качество получаемых изображений;
- владеть основами технологий производства аэро- и космических съемок.

### **■ 1.1. Основные понятия, термины и определения**

---

Аэро- и космические съемки (АКС) — первые технические этапы дистанционного зондирования. На данных этапах выполняют измерение (регистрацию) отраженного или собственного электромагнитного излучения. Измеряют и регистрируют излучение с некоторого расстояния от изучаемого объекта с помощью различных датчиков или съемочных систем. В зависимости от места установки съемочной системы измерение и регистрацию излучения производят *в наземных условиях, с воздушного (аэро-) или космического летательного аппарата (носителя)*. Для получения информации о земной поверхности большой площади или протяженности аэро- и космические методы являются наиболее эффективными и оперативными.

При изучении локальных явлений или относительно небольших по размерам объектов, например, определении объемов земляных работ, деформации зданий и построек, мониторинге ледников, оползней и др., выполняются наземные съемки с помощью цифровых съемочных устройств или лазерных сканеров.

Под *съемочной системой* понимают технические средства, с помощью которых выполняется регистрация электромагнитного излучения.

В зависимости от типа съемочной аппаратуры информация может быть представлена в различном виде. Например, в виде двумерной *аналоговой записи* на фотографическом носителе (фотоснимки) или поэлементной *цифровой записи* на магнитном носителе. Результаты регистрации электромагнитного излучения, представленные в виде изображения изучаемого объекта (участка земной поверхности), в аналоговой или цифровой форме записи называют *видеоинформацией*.

## ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ЗЕМЛИ

Процедура преобразования результатов аналоговой или цифровой записи сигналов в видимое изображение называется *визуализацией*.

Аэро- и космические съемки Земли разделяют на *пассивные* и *активные*. При пассивной съемке информацию получают двумя способами: первый — посредством регистрации отраженного от объекта солнечного светового потока; второй — измерением радиационного потока, излучаемого самим объектом (собственное излучение). При активной съемке поверхность исследуемого объекта облучают с борта аэро- или космического летательного аппарата с помощью искусственного облучателя (лазера — оптического генератора, радиогенератора), а отраженное излучение регистрируют соответствующие бортовые приемные устройства.

Аэро- и космические съемки 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 съемочные системы (*фотографические и оптико-электронные*), а из активных — *радиолокационные системы бокового обзора (РЛС БО)* и *лазерные системы*.

### ■ 1.2. Схема получения видеинформации при аэро- и космической съемке

Рассмотрим общую схему получения первичной видеинформации при проведении аэро- и космических съемок земной поверхности (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Схема получения первичных данных дистанционного зондирования

## **ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ**

При съемке в отраженных 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. Отраженный от объектов радиационный поток имеет иной спектральный состав, поляризацию и энергетический уровень. Характер изменений (модуляция) зависит от химических и физических свойств снимаемых объектов. Поэтому отраженный поток электромагнитного излучения несет сведения о свойствах изучаемых объектов.

На пути от объекта до приемника съемочного устройства отраженное 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 радиомагнитным полем Земли, ионосферными и тропосферными влияниями атмосферы на изменение радиосигнала. В качестве приемников излучения в съемочных системах служат фотографические пленки, фотоэлектрические и термоэлектрические элементы. Если съемку выполняют с помощью радиосъемочной аппаратуры, то для приема радиоизлучения от объекта используют антенны.

Материалы съемок поступают на пункты приема. При выполнении фотографических съемок здесь производят фотохимическую обработку фотопленки, получают аэрофильмы (аэронегативы), с помощью которых изготавливают контактные снимки (позитивы). При съемке нефотографическими съемочными системами результаты измерений излучения передаются по радиоканалу, на пунктах приема записывают передаваемую информацию, ее визуализируют и размножают цифровые изображения. На пунктах приема оценивают изобразительное и фотограмметическое качество материалов съемок, выполняют фотометрическую и геометрическую коррекцию нефотографической видеинформации. После этого результаты дистанционного зондирования передают потребителю на фотографических или электронных носителях.

В настоящее время на территории страны существует сеть региональных государственных и негосударственных пунктов приема космической информации. При благоприятных погодных условиях съемки и наличии радиосвязи с пунктами приема получают изображение земной поверхности в реальном времени.

Как видно, процедура получения видеинформации достаточно сложная. На каждом этапе происходит искажение электромагнитного излучения, формирующего изображение. Знание особенностей этих искажений позволяет учитывать их при планировании, выполнении съемок или при дальнейшей обработке материалов аэро- и космических съемок.

## ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ЗЕМЛИ

### ■ 1.3. Электромагнитное излучение, используемое при аэро- и космических съемках земной поверхности

При проведении аэро- и космических съемок для создания картографических материалов, экологического изучения территорий, мониторинга земель используют наиболее информативные для этого диапазоны электромагнитного излучения (рис. 1.2): длины волн электромагнитного излучения  $\lambda$  более 1 мм.

Диапазоны делятся на области и зоны спектра.

Основной естественный источник облучения земной поверхности — Солнце. Поэтому при проведении дистанционного зондирования земной поверхности чаще всего регистрируется отраженное от объектов солнечное излучение.

Спектр электромагнитного излучения Солнца практически совпадает со спектром излучения абсолютно черного тела с температурой 5570°К. Распределение энергии по спектру зависит от длины волны и характеризуется спектральной плотностью энергетической яркости. Суммарная энергия облучения в некотором спектральном интервале  $\lambda_1 - \lambda_2$ , создаваемая Солнцем на верхней границе атмосферы на элементарной площадке, расположенной



Рис. 1.2. Схема деления спектра электромагнитного излучения, применяемого при производстве аэро- и космических съемок

перпендикулярно к направлению падения лучей, определяется интегралом

$$E = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \phi(\lambda) d\lambda, \quad (1.1)$$

где  $\phi(\lambda)$  — спектральная интенсивность излучения.

Электромагнитное излучение, поступающее на снимаемую поверхность, состоит из двух составляющих: прямое солнечное излучение и диффузное — рассеянное атмосферой и отраженное объектами земной поверхности. От соотношения доли прямой и диффузной радиации зависит характер освещенности объектов. В общем случае при безоблачном небосводе вклад рассеянной радиации в суммарную освещенность невелик.

Суммарная освещенность объекта зависит от высоты Солнца. Высота Солнца определяется широтой места наблюдения, датой и местным временем наблюдения.

Максимальное количество (до 99,9 %) солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, приходится на спектральный интервал  $\lambda = 0,3 - 4,0$  мкм с преобладанием в видимой зоне спектра  $\lambda = 0,4 - 0,7$  мкм. При длине волны более 5 мкм отражение излучения не происходит.

Объекты земной поверхности излучают в пространство собственную радиацию. Собственное излучение также относят к естественному. Собственное излучение в видимой зоне спектра практически отсутствует. В спектральной зоне от 2 до 5 мкм интенсивности собственного и отраженного излучения примерно одинаковы. При выполнении аэро- и космических съемок объектов Земли регистрация излучения в данной зоне спектра производится суммарно. Собственное излучение испускается земными объектами на длинах волн более 5 мкм и называется тепловым излучением. Максимум собственного излучения приходится на длину волны  $\lambda = 10$  мкм. Интенсивность самозлучения зависит от температуры объекта и длины волны.

Аналогично отраженному излучению собственное может быть диффузным и направленным.

В качестве искусственных источников излучения, используемых для освещения (облучения) объектов земной поверхности, применяют оптические генераторы (лазеры) и радары (радиолокаторы). Искусственные источники различают по интенсивности, спектральному составу и поляризации генерируемого излучения, потребляемой мощности питания и т. п. Техническими характеристиками искусственных источников излучения являются: максимальная пиковая сила излучения, амплитудно-временной показатель силы излучения, относительная спектральная интенсивность

## **ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ЗЕМЛИ**

излучения, диаграмма направленности излучения. Интегральная облученность, создаваемая на поверхности объекта, помимо перечисленных характеристик, зависит от времени облучения и высоты полета. Искусственные облучатели применяют при съемках поверхности Земли как с воздушных, так и с космических летательных аппаратов.

### **■ 1.4. Роль атмосферы при проведении аэро- и космических съемок**

Все виды излучения (солнечное или от искусственного источника, отраженное или собственное) частично рассеиваются, поглощаются и отражаются атмосферой. При этом ослабляется общий уровень излучения, изменяются поляризация, спектр несущих и модулированных частот, происходит рефракция лучей и т. п.

Атмосфера состоит из газов, водяного пара и различных примесей, так называемых аэрозолей (мелчайших взвешенных твердых и жидкых частиц). Основная масса атмосферы (99,9 %) сосредоточена в слое ниже 50 км, поэтому здесь и происходят основные искажения проходящего через нее излучения.

Атмосфера представляет собой фильтр с достаточно нестабильными пропускными характеристиками. Нестабильность вызывается сложным вещественным составом и хаотичным движением воздушных потоков атмосферы, обусловленных различием температуры и давления в ее слоях. Для описания оптических свойств используют критерий, называемый пропускной способностью атмосферы. Этот критерий зависит от оптической плотности, наличия механических частиц, водяных паров, длины волны излучения, толщины слоя атмосферы, через который проходит излучение, и т. д. Искажению подвергается как отраженное, так и собственное излучение объектов. Чем больше оптическая толщина атмосферы между объектом и съемочной аппаратурой, тем больше искажение. При малых высотах съемки, до 200 – 400 м, атмосфера практически не изменяет спектральный состав излучения.

Газы и аэрозоли, входящие в состав атмосферы, изменяют спектр проходящего электромагнитного излучения: полностью или частично поглощают лучи некоторых спектральных зон. Основные поглотители солнечного излучения — водяной пар, двуокись углерода и озон. Существуют спектральные интервалы, в которых атмосфера прозрачна для прохождения лучей. Их называют «окна прозрачности» (рис. 1.3), и в них излучение практически не поглощается.

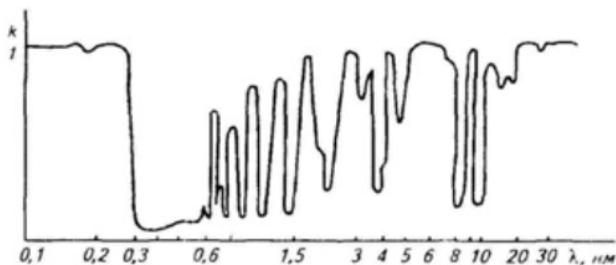


Рис. 1.3. График пропускной способности атмосферы

Съемки поверхности Земли должны выполняться в спектральных интервалах, прозрачных для прохождения лучей. Такими в оптическом диапазоне являются видимая область спектра и некоторые спектральные зоны в инфракрасной (ИК) области:  $\Delta\lambda = 0,95 - 1,05; 1,2 - 1,3; 1,5 - 1,8; 2,1 - 2,4; 3,3 - 4,2; 4,5 - 5,1; 8,7 - 9,0; 10,0 - 14,0$  мкм. Спектральные интервалы  $\Delta\lambda = 3 - 5$  мкм и  $\Delta\lambda = 8 - 14$  мкм называют соответственно «ближним» и «дальним» тепловым окном прозрачности атмосферы.

Механические частицы и водяной пар в атмосфере образуют так называемую атмосферную дымку, которая снижает контраст изображения. Возникновение атмосферной дымки обусловлено рассеянием излучения частицами и аэрозолями, размер которых значительно меньше длины волны  $\lambda$ . Интенсивность рассеяния в соответствии с законом Релея обратно пропорциональна  $\lambda^4$ . Наибольшему рассеянию подвергается излучение в ультрафиолетовой, фиолетовой и синей зоне спектра. Синие лучи рассеиваются примерно вдвадцать раз больше, чем инфракрасные. Следовательно, при съемке в синей зоне спектра можно ожидать ухудшения качества изображения.

Рассеяние излучения пропорционально толщине слоя атмосферы, через который оно проходит, что учитывают при расчетах интенсивности рассеяния.

Интенсивность рассеяния зависит от угла между направлением падающего и отраженного потока. Поэтому положение естественного или искусственного источника облучения относительно объекта съемки, а также направление излучения, учитывают при съемках.

Следующий критерий, влияющий на построение снимка, — рефракция светового луча в атмосфере (атмосферная рефракция). Атмосферная рефракция — это искривление светового луча, направленного к объективу съемочной системы. Объясняется это тем, что в атмосфере происходит уменьшение плотности воздуха с увеличением высоты относительно земной поверхности. При прохождении светового луча из области с большей плотностью в область с меньшей плотностью происходит его отклонение. Если атмосферу описать мо-

## ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ЗЕМЛИ

делью, состоящей из нескольких горизонтальных слоев с изменяющейся плотностью воздуха, то рефракцию можно представить в виде графика на рис. 1.4.  $ASa$  — луч, неискаженный влиянием рефракции атмосферы,  $ASa'$  — реальный луч, строящий изображение точки  $a'$  на снимке. Расстояние  $aa'$  на снимке есть искажение положения точки, вызванное влиянием рефракции атмосферы. Рефракция атмосферы происходит в горизонтальной и вертикальной плоскости. При выполнении аэро- или космических съемок горизонтальная рефракция атмосферы значительно меньше вертикальной, и ее не учитывают.

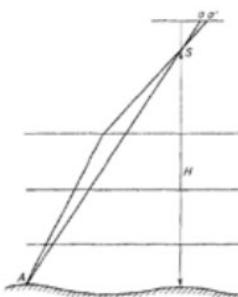


Рис. 1.4. Влияние вертикальной (фотограмметрической) рефракции атмосферы на деформацию изображения

Вертикальная рефракция атмосферы, ее называют фотограмметрической, рассчитывается для стандартного состояния атмосферы, зенитного расстояния луча ( $Z$ ), угла, под которым луч проходит атмосферу, длины волны излучения, давления и т. п. Рефракцию атмосферы  $R$  измеряют в минутах. Значения фотограмметрической рефракции  $R$  в стандартной атмосфере при  $Z=45^\circ$  и  $\lambda = 656 \text{ мкм}$  для различных высот  $H$  над поверхностью Земли следующие:

$H, \text{ км}$	1	2	4	8	18	40	80	200	300
$R, \text{ мин}$	2	5	9	15	22	12	6	2,5	1,5

Рассмотренные оптические свойства атмосферы оказывают влияние при производстве аэро- и космических съемок. При их организации и проведении учитывают оптику атмосферы с целью повышения изобразительного и метрического качества получаемых снимков.

## ■ 1.5. Объекты земной поверхности как отражатели и излучатели энергии

При съемке земной поверхности объект местности является источником энергетического поля, несущим информацию. Энергетическое излучение, исходящее от объекта, съемочная система ре-

гистрирует из определенной точки пространства в заданном угловом интервале. При этом поверхность объекта представляется суммой элементарных площадок. В зависимости от расположения центра наблюдения (положения съемочной системы) и элементарной площадки объекта регистрируемое излучение изменяется по интенсивности и спектральному составу. Результаты регистрации (измерения) отображаются на снимке в виде черно-белых или цветных полей яркости. При этом образовавшееся изображение — уникально, так как спектральный состав, суммарная интенсивность и направленность излучения изменяются во времени. Поэтому существует малая вероятность повторения сочетания условий, определяющих свойства энергетического поля, а значит, мала вероятность получения иного снимка с аналогичным распределением полей яркости.

Изменяется излучение вследствие множества причин (суточные и сезонные изменения состояния объекта природно-естественного и антропогенного характера), которые можно разделить на две группы. К первой относят факторы, определяющие свойства самого объекта (физические, химические и др.), ко второй — внешние условия формирования энергетического поля, например, условия освещения объекта.

Полнота и достоверность информации, получаемой при съемке земной поверхности, зависит в значительной мере от правильного учета свойств энергетического поля, создаваемого объектом съемки.

При пассивных аэро- и космических съемках интерес представляют лучи, отраженные и излучаемые объектами земной поверхности.

Критериями отражательной способности служат коэффициенты интегральной яркости, коэффициенты спектральной яркости, интегральные и спектральные индикаторы рассеяния.

Коэффициентом интегральной яркости  $r$  (КЯ) называют отношение интегральной яркости объекта ( $B$ ) в данном направлении к интегральной яркости идеально отражающей поверхности ( $B_0$ ), определяемых при одинаковых условиях освещения и наблюдения. Идеально отражающей считают поверхность, которая полностью и равномерно по всем направлениям отражает падающую на нее радиацию. Коэффициент интегральной яркости определяется в широкой спектральной зоне и вычисляется по формуле (1.2):

$$r = B/B_0 \quad (1.2)$$

Если яркости измеряли в узких спектральных зонах, то их называют монохроматическими яркостями. Отношение монохроматических яркостей объекта ( $B_\lambda$ ) и идеально отражающей поверхности ( $B_{0\lambda}$ ), измеряемых при одинаковых условиях освещения и наблюдения, называют коэффициентом спектральной яркости  $r_\lambda$  (КСЯ).

$$r_{\lambda} = B_{\lambda}/B_{0\lambda}. \quad (1.3)$$

Коэффициенты интегральной и спектральной яркости могут определяться для различных направлений отражения излучения.

Коэффициенты интегральной и спектральной яркости зависят (общий случай) от многих факторов:

$$r_{\lambda} = f(\lambda, h_0, A_0, D/Q, A, \phi, \dots), \quad (1.4)$$

где  $\lambda$  — длина волны, на которой определяется КСЯ;  $A_0$  — азимут Солнца относительно структуры поверхности объекта;  $D$  — поток рассеянной радиации, падающей на поверхность объекта;  $Q$  — поток суммарной радиации, падающей на поверхность объекта;  $A$  — азимут направления наблюдения относительно плоскости главного вертикала;  $h_0$  — высота Солнца;  $\phi$  — угол отклонения направления наблюдения от отвесного положения.

Число факторов, определяющих КСЯ и КЯ, может быть значительным. Например, для сельскохозяйственного угодья это тип почвы, количество в почве гумуса, минеральных солей, уровень влажности, вид растительности, фаза вегетации, угнетенность, фитопатология и запыленность растений и т. п. Большинство факторов оказывает свое воздействие одновременно, что проявляется в значительных вариациях критериев отражательной способности однотипных объектов.

Коэффициенты спектральной яркости объекта определяют одновременно в нескольких зонах спектра. Используя полученные данные, строят кривые КСЯ (рис. 1.5), показывающие зависимость коэффициентов от длины волны излучения.

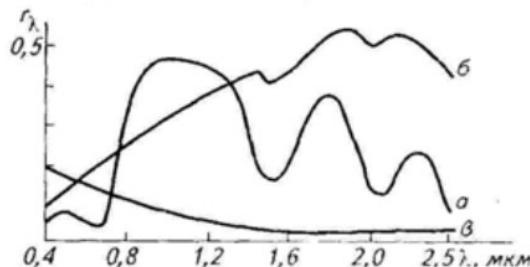


Рис. 1.5. Графики КСЯ основных классов природных образований

Различные классы объектов имеют свои специфические формы кривых КСЯ. По форме кривых КСЯ объекты разделяют на четыре класса: растительность, почвы и горные породы, водные поверхности, снега и облака. При выполнении съемок для целей создания планов и карт, используемых в кадастровых работах и землеустройстве, изучения объектов сельскохозяйственного назначения наибольший интерес представляют первые три класса.

**Кривые КСЯ объектов с растительными покровами** (рис. 1.5, а) имеют повышение в зеленой зоне спектра на длине волны около 0,55 нм, понижение на длине волны  $\lambda = 0,66$  нм, вызванное поглощением солнечной радиации хлорофиллом растений, резкое повышение в инфракрасной области. В зависимости от фазы вегетации, фитопатологии и иных факторов форма кривых КСЯ объектов данного класса изменяется в значительных пределах. Например, кривые КСЯ посевов злаковых культур по мере их созревания принимают плавную форму.

**Кривые КСЯ почв и горных пород** имеют незначительный подъем при увеличении длины волны (рис. 1.5, б). Влажность, химический состав, содержание гумуса, минеральных солей и т. п. определяют уровень и крутизну подъема кривых.

**Кривые КСЯ водных объектов** имеют плавно и монотонно понижающийся уровень при увеличении длины волн (рис. 1.5, в). Степень засоленности, тип иловых отложений, биологический и растительный состава воды обуславливают вариации КСЯ водных поверхностей.

Сведения о коэффициентах интегральной и спектральной яркости приводятся в литературе и справочниках в виде таблиц, а для КСЯ прилагаются графики кривых. Справочные сведения должны иметь описание физических, химических свойств почв, тип растительности, фазу вегетации, состояние растений, условия освещения и т. п.

При выполнении аэро- и космических съемок и последующем анализе изображений необходимы сведения о пространственном распределении отраженной световой энергии. Это распределение характеризуется **индикатрисой рассеяния**, представляющей собой поверхность, проходящую через концы векторов КЯ и КСЯ, определенных для различных углов отражения, которую, соответственно, называют интегральной или спектральной.

Для описания индикатрисы рассеяния используют два ее сечения: в плоскости главного вертикала Солнца ( $A = 0 - 180^\circ$ ) и перпендикулярной ему ( $A = 90 - 270^\circ$ ). Неравномерность пространственного отражения объекта зависит от размеров, формы, пространственной ориентации элементов его поверхности, высоты Солнца и его азимутального положения относительно объекта и т. п. По направленности пространственного отражения объекты разделяют на (рис. 1.6):

*отражающие равномерно* по всем направлениям падающее на поверхность излучение (рис. 1.6, а). Такие поверхности называют ортотропными. К ним относят поверхности с мелкой структурой, например различные ровные песчаные поверхности;

*зеркально отражающие* излучение по направлению от источника света (рис. 1.6, б), к ним относят водные поверхности без волн, снежный наст, влажные солончаки, такыры и прочее;

*отражающие* световой поток преимущественно в сторону источника излучения (рис. 1.6, в), такими могут быть поверхности с круп-

## ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ЗЕМЛИ

ной структурой — вспаханная пашня, сухая широколиственная растительность и другие;

*смешанная форма отражения* как в сторону источника освещения, так и в противоположное направление (рис. 1.6, г) — увлажненные газоны, сенокосы, пастбища и другие среднеструктурные поверхности.

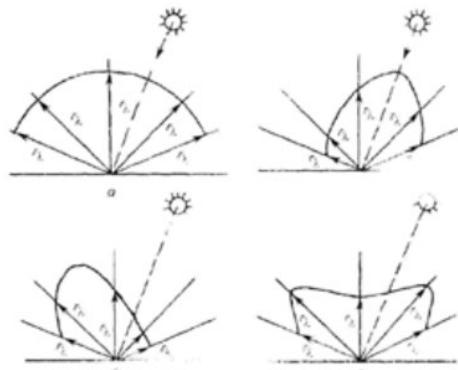


Рис. 1.6. Сечение индикатрис рассеяния основных типов поверхностей  
(направление сечений A = 0–180°)

Неравномерность пространственного отражения в различных спектральных зонах неодинакова. Асферичность интегральных и спектральных индикатрис уменьшается с увеличением высоты Солнца.

Как отмечалось, критерии отражательной способности объектов земной поверхности зависят от многих факторов. Поэтому их значения могут изменяться в широких пределах. Для их применения в практических целях необходим достаточный набор статистических данных, по которым вычисляют вероятностные значения критериев отражательной способности и их дисперсии. При этом критерии должны быть определены при однотипных условиях наблюдений.

Определение критериев отражательной способности, исследование их динамики выполняют в результате проведения комплекса работ, называемого *спектрометрированием*. С помощью приборов (спектрометров, радиометров) по определенной методике выполняют измерения яркости объектов и эталонной поверхности. В качестве эталонной поверхности используют любую, отражательные свойства которой известны и постоянны. При вычислении критериев отражательной способности учитывают отличия отражения эталонных поверхностей, применяемых при спектрометрировании, от идеальной поверхности. Одновременно с измерениями выполняют описание условий освещения и состояния объекта на момент измерений. По результатам измерений вычисляют критерии отражательной способности.

Спектрометрирование осуществляют в лабораториях и полевых условиях. Полевое спектрометрирование выполняют непосредственно на поверхности объекта, а также с воздушных или космических летательных аппаратов.

Собственное излучение объектов, регистрируемое при проведении аэро- или космических съемок, имеет характеристики, которые могут быть получены на основе законов электромагнитного излучения абсолютно черным, серым и нечерным телом.

Как известно, абсолютно черным телом называется тело, которое полностью поглощает все падающее на него излучение. Спектр излучения абсолютно черного тела определяется его температурой. Распределение излучения по спектру подчиняется закону Планка (рис. 1.7, 1). Для изучения и повышения эффективности производства аэро- и космических съемок кривые излучения абсолютно черного тела, полученные при разных температурах, могут использоваться для моделирования солнечной радиации и излучательной способности объектов земной поверхности. Спектральная кривая распределения излучения серого тела подобна спектральной кривой черного тела, но характеризуется меньшей интенсивностью (рис. 1.7, 2). Нечерным телом называются объекты, самоизлучение которых избирательно (селективно) (рис. 1.7, 3).

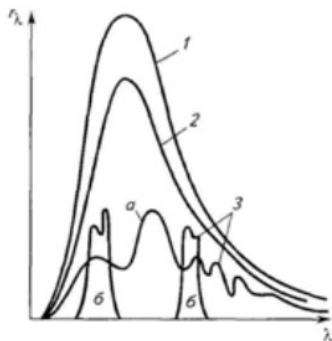


Рис. 1.7. Спектральное распределение энергии излучения тел:

1 — черного; 2 — серого; 3 — нечерного  
(*а* — селективного распределения; *б* — полосового излучения)

Абсолютно черное тело излучает электромагнитную энергию, определяемую по закону Стефана — Больцмана:

$$M_{\text{er}} = \varepsilon_r \sigma T^4 (\text{Вт} \cdot \text{см}^{-2}), \quad (1.6)$$

где  $\varepsilon_r = M_{\text{er}} / M_{\text{est}}$ ,  $M_{\text{est}}$  — энергетическая светимость абсолютно черного тела при температуре  $T$ ,  $\sigma = 5,67 \times 10^{-12}$  ( $\text{Вт} \cdot \text{см} \cdot \text{К}^{-4}$ ) — постоянная Больцмана,  $\varepsilon_r$  — интегральный коэффициент излучения.

## **ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ЗЕМЛИ**

---

Самоизлучение объектов может быть диффузным и направленным.

Большинство природных образований в тепловой области спектра имеет сферическую индикатрису излучения, которое практически подчиняется закону Ламберта — интенсивность излучения пропорциональна косинусу угла между нормалью к поверхности объекта и направлением наблюдения. Объекты антропогенного происхождения обычно имеют направленное излучение.

Критерии отражательной и излучательной способности учитываются при организации и производстве аэро- и космических съемок. С их помощью решают следующие задачи:

выбирают одну или несколько зон спектра, в которых производят съемку объектов земной поверхности. На снимках, получаемых в выбранных зонах, обеспечивается наилучшее разделение изображений изучаемых объектов;

определяют время суток и сезон съемки, которые обеспечивают решение предыдущей задачи;

разрабатывают технические требования к спектральной чувствительности приемников излучения съемочных систем.

Оптимизацию зон спектра и времени съемки выполняют аналитическим или графическим способом, с последующим аналитическим контролем правильности выбора.

Интегральные и спектральные индикатрисы рассеяния используют для расчета угла изображения (захвата) съемочной системы, в пределах которого неравномерность пространственного отражения снимаемых объектов не окажет влияния на изменение оптической плотности (цвета) их изображений на снимке. Такие съемочные системы считают фотометрическими. В зависимости от типа объектов угол захвата может быть в интервале от 3 – 30°. Применяемые съемочные системы имеют угол захвата значительно больше. В этом случае для исключения влияния неравномерности пространственного отражения при последующей обработке снимков ограничивают рабочую площадь. Ее размер и расположение на снимке рассчитывают в соответствии с углом, определяемым с помощью индикатрис рассеяния.

При использовании в дистанционном зондировании инфракрасной и тепловой областей спектра выбор съемочной системы и оптимизация условий съемки выполняются с учетом коэффициентов и индикатрис излучения.

### **Контрольные вопросы**

---

1. Составьте блок-схемы пассивной и активной съемки.
2. Можно ли считать влияние атмосферы при выполнении аэро- и космических съемок постоянным фактором? Изменится

## **ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ**

- ли цвет объекта на поверхности Земли при наблюдении его с различных высот?
3. Какое влияние оказывает атмосфера на геометрию прохождения отраженных от поверхности объектов лучей?
  4. Можно ли считать оптические характеристики природных объектов постоянными?
  5. Назовите факторы, влияющие на величины КСЯ и форму индикаторов рассеяния.
  6. Перечислите направления применения критериев отражательной способности природных объектов.
  7. Можно ли считать рекомендации по использованию КСЯ и индикаторов рассеяния неизменными при различных условиях проведения съемок?

## **Глава 2. Аэро- и космические съемочные системы**

Цели изучения:

- уметь классифицировать съемочные системы;
- знать основные критерии информационных свойств съемочных систем;
- владеть навыками оптимизации выбора съемочных систем.

### **2.1. Классификация съемочных систем**

---

Научно-технические достижения в области радиоэлектроники, оптики, телекоммуникации явились основой для конструирования различных съемочных систем. При всем многообразии типов съемочных систем они решают одну задачу — получение снимка в качестве модели местности, обеспечивающей пользователя необходимой и достаточной информацией.

Классифицировать съемочные системы можно по различным критериям. Для пользователей материалами дистанционного зондирования современные съемочные системы разделяют по нескольким основным критериям:

- по типу летательного аппарата с установленной съемочной аппаратурой — на *воздушные* и *космические*;
- по виду регистрируемого излучения — на *пассивные* системы, регистрирующие отраженное солнечное или собственное излучение, и *активные*, фиксирующие отраженное объектом излучение после его облучения радаром или лазером;
- по спектральному диапазону регистрируемого излучения — на работающие в *оптическом* диапазоне и *радиодиапазоне*;
- по числу спектральных зон, в которых производят съемку, — на *однозональные* и *многозональные*. Однозональные системы регистрируют излучение в одной, обычно в широкой зоне спектра. При многозональных съемках получают одновременно несколько изображений одной и той же территории в различных зонах спектра электромагнитного излучения;
- по типу сенсора — на *фотографические* и *нефотографические* съемочные системы. В фотографических системах в качестве приемника излучения (сенсора) используют фотографические черно-белые или цветные пленки. Изображения могут быть получены в натуральных или неестественных цветах. В нефотографических системах используют различные типы сенсоров: фотодиоды, термодатчики, приборы с зарядовой связью (ПЗС-матрицы и ПЗС-линейки) и т. п. Результаты съемки, полученные нефотографическими системами, представлены в цифровом формате;

— по способу и срокам доставки видеинформации — на *оперативные и неоперативные*. Фотографические съемочные системы являются неоперативными, так как для доставки экспонированной пленки требуется посадка летательного аппарата. Нефотографические системы относят к оперативным. С их помощью видеинформация в цифровом виде передается по радиоканалу в режиме реального времени. В случае нахождения летательного аппарата вне зоны радиовидимости видеинформация предварительно записывается на магнитный носитель, а затем передается по радиоканалу на пункт приема;

— по способу построения изображения можно провести несколько классификаций съемочных систем.

Классификация может быть продолжена исходя из многообразия конструкций и технических характеристик съемочных систем.

## ■ 2.2. Основные критерии съемочных систем

Различные типы съемочных систем создают изображения с неодинаковыми информационными свойствами.

Для оценки информационных возможностей съемочных систем применяют следующие критерии: линейная разрешающая способность, спектральная разрешающая способность, фотограмметрическая точность, фотометрическая точность.

*Линейной разрешающей способностью* съемочной системы называют ее возможность раздельно воспроизводить на снимке мелкие детали снимаемого объекта. Для фотографических систем разрешающая способность ( $R$ ) определяется количеством раздельно воспроизводимых черных линий в 1 мм изображения при таком же белом интервале между ними.

Для числа воспроизводимых линий  $R$  и ширины линии  $\rho_c$  справедлива следующая зависимость

$$\rho_c = 1/2R. \quad (1.1)$$

Величину  $\rho_c$  называют *разрешением на снимке*.

Используя формулу 1.1, можно определить минимальный размер различимого элемента изображения.

Например, если съемочная система имеет разрешающую способность  $R = 50 \text{ мм}^{-1}$ , то это означает, что в 1 мм изображения может быть зафиксировано 100 черных и белых линий и размер различимого элемента изображения будет равен 0,01 мм.

Размер соответствующего элемента на поверхности снимаемого объекта называют *разрешением съемочной системы*.

Разрешающая способность съемочной системы определяется путем съемки *миры*. Мира — специальный тест-объект, представля-

## ГЛАВА 2. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

ющий собой основу, на которую нанесен рисунок в виде черных и белых полос. Вместо полос могут быть использованы черные и белые сектора круга. В первом случае миру называют *штриховой*, во втором — *радиальной* (рис. 2.1). Среди штриховых наиболее часто применяется пятишкольная мера. Она представляет собой тридцать решеток, каждая из которых содержит пять светлых полос на черном фоне. Длина полос в десять раз больше их ширины. В каждой последующей решетке ширина полос уменьшается на 0,1.

Съемку меры выполняют в лабораторных условиях или с летательного аппарата. Размер меры должен обеспечивать воспроизведение ее деталей на реальном снимке.

Разрешающая способность съемочных систем, в которых приемниками 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 (lines per inch — линий на дюйм). Например, 600 или 1200 dpi означает, что минимальный размер элемента изображения равен 0,04 и 0,02 мм соответственно.

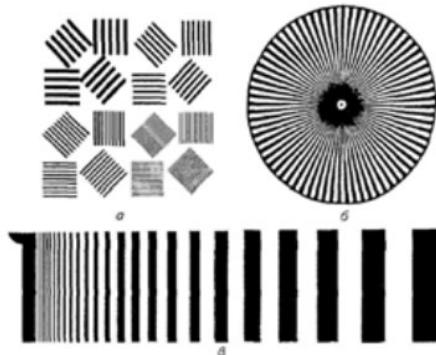


Рис. 2.1. Типы тест-объектов (миров):  
а — штриховые; б — радиальные; в — П-образная мера с изменением частоты штрихов

Под термином *спектральная разрешающая способность* съемочной системы понимают минимальную ширину спектральной зоны, в которой производится съемка. Ширина спектральной зоны определяется возможностью используемого сенсора воспринимать интегральный сигнал (уровень излучения), создаваемый в данной зоне. Для фотографических систем она приблизительно равна 40–50 нм, для нефотографических систем — 10–20 нм и менее. Современные гиперспектральные съемочные системы регистрируют излучение в зоне шириной 1–2 нм.

*Фотограмметрическая точность* съемочных систем — критерий геометрического искажения получаемого снимка. Степень гео-

метрического искажения определяется позиционной точностью построения оптического изображения и последующей деформацией данного оптического изображения приемником излучения. Существуют топографические и нетопографические съемочные 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 съемочные системы, имеющие значительные искажения геометрии построения изображения, но с постоянной и известной моделью деформации. Используя модель деформации, можно учесть геометрические искажения снимка при цифровой фотограмметрической обработке. Для нетопографических съемочных систем фотограмметрическая точность — неосновной показатель, главным является получение изображения с высокими изобразительными свойствами.

Съемочные системы, обеспечивающие постоянство отношения яркости объекта к величине регистрируемого сигнала от этого объекта по полю изображения, относят к *фотометрическим*. Причинами, снижающими фотометрическую точность, могут быть оптический тракт съемочной системы, нестабильность работы ее электронной цепи, непропорциональность регистрации сигналов сенсором и др. В качестве одного из показателей фотометрической точности может быть использовано отношение сигнал/шум — критерий, определяющий отношение основного сигнала, несущего информацию, к величине сигнала-шума (помехи). Чем выше отношение сигнал/шум, тем выше фотометрическая точность системы.

Рассмотренные критерии можно считать основными и общими при оценке и сравнении различных съемочных систем. Для отдельных типов съемочных систем могут быть определены специфические критерии.

---

### Контрольные вопросы

---

1. Какие критерии положены в основу классификации съемочных систем?
2. Что означает термин «фотограмметрическая точность» съемочной системы? Можно ли считать точной фотограмметрической системой съемочную систему со значительными, но известными по величине и направлению деформациями?
3. Что можно считать «фотометрическим шумом» в съемочных системах?
4. Каков физический смысл понятий «линейная разрешающая способность» съемочной системы, «разрешение» съемочной системы?

## **Глава 3. Фотографические съемочные системы**

Цели изучения:

- уметь описать основные типы фотографических систем;
- иметь представление об устройстве кадровых топографических аэрофотоаппаратов;
- знать их достоинства и недостатки.

### **3.1. Общие сведения**

---

Фотографирование земной поверхности началось практически одновременно с открытием фотографии. В настоящее время фотографический способ регистрации электромагнитного излучения — один из основных способов при производстве съемок земной поверхности с воздушных летательных аппаратов. Современные аналоговые фотографические материалы обладают высокими характеристиками, что позволяет конкурировать с цифровыми сенсорами.

Знание свойств фотографических материалов, закономерностей построения изображения в различных тапах фотокамер позволяет оптимизировать процесс аэросъемочных работ, последующую фотограмметрическую обработку и дешифрирование снимков.

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 пропорциональность оптической плотности (цвета) на снимке яркостям объектов;
- высокая изученность фотографического процесса и возможность управления им;
- стоимость фотоснимков в настоящее время ниже стоимости снимков, полученных нефотографическим способом;
- высокая разрешающая способность получаемых изображений.

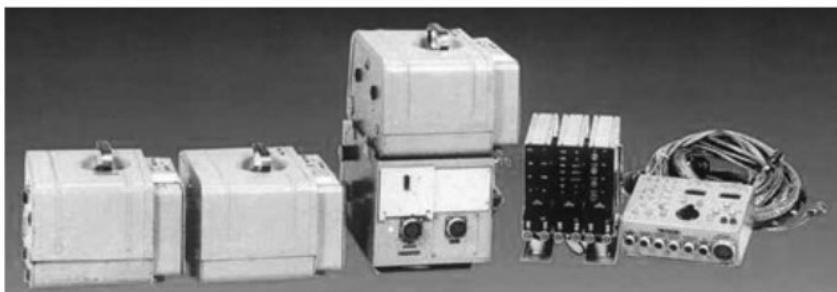
Существенными недостатками фотографического способа регистрации электромагнитного излучения можно считать:

- ограничение спектральной зоны съемки в пределах 0,3 – 1,1 мкм;
- необходимость проведения фотохимической обработки;
- неоперативность доставки получаемой информации;
- зависимость от погодных условий;
- необходимость проведения специальной процедуры преобразования аналогового изображения в цифровое для дальнейшей компьютерной обработки снимков.

## ■ 3.2. Кадровые топографические аэрофотоаппараты

Фотографические съемочные системы, применяемые для съемки земной поверхности с различных воздушных летательных аппаратов, называют *аэрофотоаппаратами* (АФА). Аэрофотоаппараты можно классифицировать, как уже было рассмотрено, по способу построения снимка, количеству используемых каналов, а также по длине фокусного расстояния объектива, разрешающей способности, назначению и т. д.

Наиболее применение имеют *кадровые топографические аэрофотоаппараты*. На рис. 3.1 в качестве примера показан внешний вид одного из типов кадровых топографических аэрофотоаппаратов.



*Рис. 3.1. Комплект топографического аэрофотоаппарата ТАФА-20*

На рис. 3.2 показана блок-схема построения изображения в кадровых АФА, которую принято считать классической: изображение строится в плоскости, относительно нее расположены неподвижный объектив; главная оптическая ось занимает неизменное положение, перпендикулярно плоскости снимка; изображение строится по закону центральной проекции. Экспонирование аэрофотопленки по всей площади снимка происходит одномоментно.

Основными устройствами АФА являются съемочная камера и кассета.

Съемочная камера состоит из оптического блока 6 и корпуса 5. В нижней части оптического блока расположен объектив 4 с закрепленным на нем светофильтром 3. В верхней части этого блока, в фокальной плоскости аэрофотообъектива, располагается прикладная рамка 13. Пленка 11 в АФА располагается в кассете 8 на катушках 10. В плоскости прикладной рамки в момент фотографирования происходит выравнивание аэрофотопленки. Существуют несколько способов выравнивания аэрофотопленки. Например, с помощью прижимного стола 9 аэрофотопленка прижимается к выравнивающему стеклу 7. В некоторых типах АФА выравнивание пленки производится за счет создания воздушного разряжения между пленкой и выравнивающим столом. Невыравнивание аэрофотопленки приводит к геометрическим де-

### ГЛАВА 3. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

формациям и нерезкости изображений, снижает разрешающую способность снимка. Управление работой АФА осуществляется с помощью блока 12. Аэрофотокамера закрепляется в аэрофотоустановке 2 над стеклом 1, герметизирующим люк летательного аппарата. Фотографирование осуществляется через стекло люка.

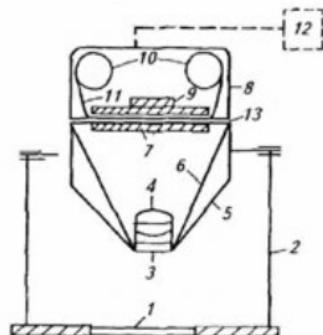


Рис. 3.2. Схема устройства аэрофотоаппарата:

- 1 – стекло люка самолета; 2 – аэрофотоустановка; 3 – светофильтр объектива;
- 4 – объектив; 5 – корпус аэрофотокамеры; 6 – оптический блок АФА;
- 7 – выравнивающее стекло; 8 – приемная и передающая фотокассеты;
- 9 – прижимной стол; 10 – приемная и передающая катушки с аэрофотопленкой;
- 11 – аэрофотопленка; 12 – пульт управления; 13 – прикладная рамка

На серединах сторон прикладной рамки (в некоторых конструкциях также в ее углах) имеются координатные метки, которые фиксируются (впечатываются) при съемке на каждом аэроснимке. Форма меток может быть различной, например, в виде острого угла, направленного к центральной части снимка, или в виде крестов. Прикладная рамка ограничивает размеры снимка. Наиболее широко применяемые форматы  $18 \times 18$ ,  $23 \times 23$  и  $30 \times 30$  см. Формат кадра может быть не квадратным.

В некоторых типах АФА (АФА-ТЭС) в плоскости прикладной рамки находится выравнивающее стекло, на поверхность которого наносят контрольные метки в виде сетки крестов с шагом 10 или 20 мм. Толщина штрихов крестов — 2–3 мкм, а точность их нанесения — 2 мкм. Используя сетку крестов, учитывают искажения изображений на снимке.

Расстояния между координатными и контрольными метками (крестами) определяют при фотограмметрической калибровке АФА. Результаты определений заносят в формуляр аэрофотоаппарата. Используют их для выявления и учета деформации аэрофотопленки, а также для создания системы координат снимка при фотограмметрической обработке снимков. По резкости изображения контрольных меток (крестов) оценивают качество выравнивания аэрофотопленки.

*Кассета* — съемная часть аэрофотокамеры — предназначена для размещения аэрофотопленки, ее перемотки и отмеривания по

размеру кадра, а также, как уже сказано ранее, выравнивания пленки в плоскость. Кассета, в зависимости от толщины подложки, вмещает аэрофотопленку длиной 60 или 120 метров, что соответствует для отечественных АФА 300 или 600 снимков размером 180 × 180 мм.

**Аэрофотообъектив** представляет собой оптико-механическое устройство, состоящее из оптической и механической части. Оптическая часть — собственно объектив — это закрепленные в корпусе линзы различной кривизны и формы. Подбор линз выполняется с целью получения оптического изображения с заданными свойствами. Узлы механической части, затвор и диафрагма, размещаются в межлинзовом пространстве аэрофотообъектива.

**Затвор** — это устройство, регулирующее время (выдержку), в течение которого происходит экспонирование аэрофотопленки. Выдержки в аэрофотозатворах изменяются в интервале от 1/40 до 1/1000 сек и менее. Изменение выдержек в аэрофотоаппаратах происходит ступенчато (например, 1/125, 1/250, 1/500), что позволяет регулировать экспозицию кратно двум.

В момент открытия затвора летательный аппарат и вместе с ним аэрофотоаппарат совершает линейные и угловые перемещения относительно снимаемой местности. Это вызывает перемещение оптического изображения относительно аэрофотопленки. В результате происходит «смаз» фотографического изображения, уменьшающий резкость и разрешающую способность снимка на 30 — 50 %. Смаз фотографического изображения можно уменьшить путем уменьшения выдержки  $t$  при съемке. Для минимизации влияния поступательного движения летательного аппарата выдержку рассчитывают по формуле (3.1)

$$t = m \delta_{gon} / W, \quad (3.1)$$

где  $m$  — масштаб снимка;  $\delta_{gon}$  — величина допустимого смаза;  $W$  — скорость летательного аппарата.

Однако есть предел уменьшения выдержки. При коротких выдержках получим недостаточную для съемки экспозицию. Поэтому в некоторых типах аэрофотоаппаратов применяют устройства, называемые компенсаторами сдвига изображения. Принцип их работы заключается в том, что с помощью специальных устройств в момент экспонирования устраняется перемещение оптического изображения относительно светочувствительного слоя. Помимо сдвигов оптического изображения, вызванных линейными и угловыми движениями летательного аппарата, на качество изображения оказывают влияние вибрационные сдвиги. Основная причина их появления — вибрация от работы моторов летательных аппаратов.

**Диафрагма** служит для изменения диаметра входного отверстия объектива. В аэрофотоаппаратах диаметр входного отверстия объектива регулирует величину светового потока, проходящего через

### ГЛАВА 3. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

объектив. Чем больше диаметр диафрагмы, тем больше освещенность экспонируемой аэрофотопленки. В практике для выражения размера отверстия объектива используют характеристику, называемую «относительным отверстием». Относительное отверстие объектива  $i/k$  есть отношение диаметра входного (действующего) отверстия  $i$  к фокусному расстоянию объектива  $f$ :

$$1/k = i/f. \quad (3.2)$$

В объективах используют стандартные дискретные значения относительных отверстий, знаменатели которых равны 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22; 32. Их рассчитывают таким образом, что переход к соседнему индексу диафрагмы изменяет освещенность светочувствительного фотоматериала в два раза. Эти значения отмечаются на вращающемся кольце диафрагм, расположенном на объективе и регулирующем диаметр входного отверстия. С помощью кольца диафрагм можно установить заданную величину относительного отверстия.

Возможность изменения освещенности аэрофотопленки (диафрагмой) и выдержки (затвором) с шагом кратным двум увеличивает шкалу дискретности экспонирования. Создание более точной экспозиции при фотосъемке позволяет получить изображения с заданными изобразительными свойствами.

Основные характеристики аэрофотообъектива, определяющие метрические и изобразительные свойства снимков, — фокусное расстояние, дисторсия, разрешающая способность, угол поля изображения, неравномерность светораспределения по полю снимка.

*Фокусным расстоянием* объектива (главным расстоянием аэрофотоаппарата) называется расстояние от задней узловой точки объектива до главного фокуса. Через главный фокус перпендикулярно оптической оси проходит фокальная плоскость, в которой строится изображение и где располагается аэрофотопленка. Фокусное расстояние определяют при фотограмметрической калибровке АФА с точностью до 0,01 мм (или до 0,001 мм) и записывают в аттестат аэрофотообъектива. В АФА применяют объективы с фокусными расстояниями от 20 – 30 мм до нескольких метров. Фокусное расстояние АФА  $f$  и высота фотографирования (расстояние до земной поверхности)  $H$  определяют масштаб аэрофотографирования:

$$1/m = f/H, \quad (3.3)$$

где  $m$  — знаменатель масштаба фотографирования.

При неизменной высоте фотографирования, чем больше фокусное расстояние, тем крупнее масштаб съемки.

Важная характеристика топографических АФА — дисторсия объектива. Дисторсия — частный случай aberrации оптической системы, приводит к искажению связки проектирующих лучей, стро-

ящих оптическое изображение, т. е. к искажению центральной проекции. Проектирующий луч, исходящий из точки A, проходит через объектив S под углом  $\omega$  к главной оптической оси SO, но выходит под углом  $\omega'$  (рис. 3.3). Углы  $\omega$  и  $\omega'$  не равны между собой. Вследствие этого точка A изобразится на снимке в точке  $a'$  вместо точки  $a$  на расстоянии  $\Delta r$ .

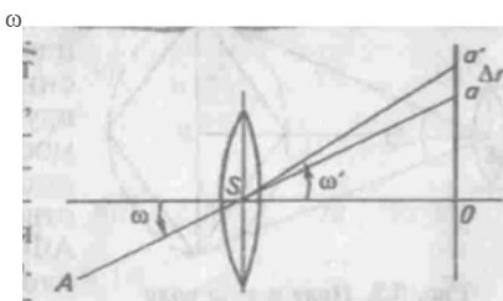


Рис. 3.3. Смещение изображения точки, вызванное влиянием дисторсии объектива

Для различно направленных к объективу проектирующих лучей происходит неравномерное преломление. Неравномерность смещения  $\Delta r$  точек по полю снимка и приводит к нарушению подобия объекта и его изображения (рис. 3.4).

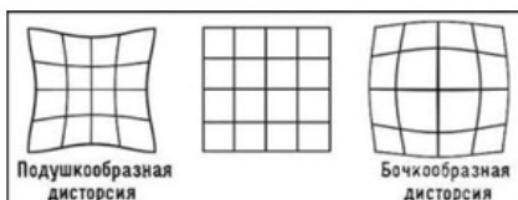


Рис. 3.4. Виды деформации изображения, вызванные влиянием дисторсии объектива

Геометрически дисторсию в какой-либо точке снимка можно представить вектором, определяющим направление и величину смещения изображения данной точки от ее неискаженного положения. Различают радиальную дисторсию, имеющую направление к центру или от центра снимка, и тангенциальную дисторсию, направление которой перпендикулярно радиальному. Дисторсия определяется при фотограмметрической калибровке АФА в дискретных точках по всей площади кадра. Для различных типов объективов ее величина варьирует от 0,002 – 0,005 мм до десятых долей миллиметра. Объективы, в которых дисторсия практически не искажает изображение, называют *ортоскопическими*. При технологиях компьютерной фотограмметрической обработки снимков возможен учет иска-

### ГЛАВА 3. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

жений, вызванных дисторсией. В положение точек изображения вводят поправки, равные величинам дисторсии с обратным знаком.

Под разрешающей способностью объектива понимают его свойство раздельно воспроизводить оптическое изображение двух близко расположенных точек или линий. При ее определении используют штриховые и радиальные меры, аналогично определению разрешающей способности съемочных систем. В центре изображения, построенного объективом, разрешающая способность выше, чем на краю. Поэтому при изучении мелких деталей снимаемых объектов предпочтительнее использовать центральные части снимков. В длиннофокусных объективах падение разрешающей способности от центра к краю незначительно. Существуют аэрофотообъективы, у которых разрешающая способность практически не изменяется по полю изображения.

Светораспределение в плоскости снимка — одна из важных характеристик, определяющих фотометрические свойства аэрофотообъектива. Освещенность, создаваемая в фокальной плоскости, уменьшается от центра к краю. Функция светораспределения описывается, согласно закону Ламберта, формулой

$$E_\beta = E_0 \cos\beta^n, \quad (3.4)$$

где  $E_0$  — освещенность в центре поля изображения,  $\beta$  — угол, образуемый главной оптической осью и направлением на точку,  $n$  — коэффициент равный 1, 2, 3, 4 в зависимости от типа объектива,  $E_\beta$  — освещенность в точках поля изображения.

Неравномерность светораспределения приводит к тому, что объекты одинаковой яркости при отображении их в центре или на краю снимка имеют различную оптическую плотность (цвет).

Угол, образованный лучами, исходящими из задней узловой точки объектива и опирающимися на диагональ прикладной рамки АФА, называют углом поля изображения (рис. 3.5). По величине угла поля изображения аэрофотоаппараты подразделяются на узкоугольные (менее 15°), нормальноугольные (15–60°), широкоугольные (более 60°).

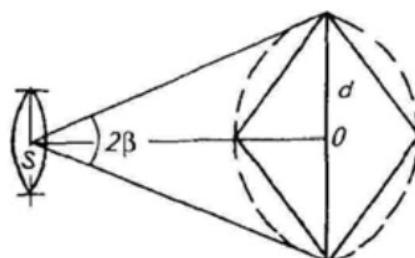


Рис. 3.5. Поле и угол поля изображения

## **ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ**

При увеличении угла поля изображения увеличивается неравномерность светораспределения от центра к краю и уменьшается разрешающая способность снимка. В узкоугольных АФА эти изменения выражены в меньшей степени. Для устранения неравномерности светораспределения, которая в широкоугольных аппаратах величина значительная, применяют напыление объективов металлическим порошком с плотностью слоя, уменьшающегося от центра к краю.

Аэрофотоаппарат помещают в *аэрофотоустановку* (АФУ), предназначенную для его крепления на летательном носителе, ориентирования в заданном положении и уменьшения влияния вибрации. Продольную сторону прикладной рамки АФА ориентируют по направлению полета летательного аппарата, а также устанавливают заданный угол наклона снимка. Данные действия производятся вручную или автоматически. В зависимости от возможных задаваемых углов отклонения оптической оси АФА от отвесного направления различают АФУ: плавные — при этом углы отклонения не превышают  $3^\circ$ ; перспективные — с углами отклонения до  $40 - 45^\circ$ . Для уменьшения влияния продольных и поперечных наклонов летательных аппаратов применяют *гиростабилизирующие* аэрофотоустановки, обеспечивающие горизонтальность плоскости снимка с точностью до  $5 - 7'$ .

*Командный прибор* (интервалометр) предназначен для автоматического включения аэрофотоаппарата через определенный промежуток времени. По принципу работы они разделяются на электрические и оптико-электронные. После подачи электрического сигнала с командного прибора выполняется цикл последовательных операций для получения аэрофотоснимков: перемотка пленки, взвод затвора, выравнивание пленки в плоскость, экспонирование (срабатывание затвора). Длительность цикла различна у большинства АФА и находится в интервале 1,2 – 2,5 сек.

Управляют работой всего комплекса узлов аэрофотоаппарата с пульта управления. Здесь же осуществляется синхронизация работы АФА и сопровождающей съемку специальной аппаратуры. Например, космической навигационной аппаратурой GPS, позволяющей определять на момент съемки пространственное положение снимка.

Топографические аэрофотоаппараты используют для получения снимков, предназначенных для создания топографических, сельскохозяйственных, кадастровых планов, при мониторинге территории и т. п. Применяют отечественные аэрофотоаппараты типа АФА-ТЭ (топографический электрический, с выравниванием пленки вакумным способом) и АФА-ТЭС (топографический электрический с выравнивающим стеклом в плоскости прикладной рамки), а также зарубежные АФА. В таблице 3.1 приведены характеристики некоторых типов аэрофотоаппаратов.

Новейшие научно-технические достижения в электронике, оптике, фотографии, вычислительной технике позволили разработать

### ГЛАВА 3. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

и перейти к использованию нового поколения аэрофотосъемочного оборудования. Отличительной особенностью современного оборудования является:

- наличие сменных объективов с различными фокусными расстояниями объективов, их быстрая и удобная смена во время съемки;
- сложная оптическая система обеспечивает высокую (более 100 лин/мм) разрешающую способность изображения практически одинаковую по всему полю кадра;
- остаточная дисторсия 2–3 мкм;
- наличие большого диапазона выдержек 1/100–1/1000 сек и компенсаторов сдвига изображения, что позволяет производить аэрофотосъемку с малых высот и при больших скоростях летательных аппаратов;
- оптико-электронные командные приборы, управляющие работой камеры в полуавтоматическом режиме;
- наличие стабилизирующих платформ, обеспечивающих получение снимков с углами наклона не более 10'; автоматическое регулирование экспозиций.

Таблица 3.1

#### Характеристика некоторых типов топографических аэрофотоаппаратов

	Топографические аэрофотоаппараты							
	АФА-ТЭ	АФА41	АФА-ТЭС 5М	АФА-ТЭС 7	ФА ТЭС 10	LMK 30	LMK15	RC30
Фокусное расстояние	70,100, 140,200, 500	100,200	50	70	100	305	152	Сменные объективы 88, 153, 303
Дисторсия	0,03–0,01	0,025–0,04	0,01	0,01	0,01	0,002	0,003	0,002
Разрешающая способность лин/мм центр край	25–40	45–60	55	70	90	65	70	110
	12–25	12–20	16	25	30	65	70	110
Относит. отверстие	1:9–1:7	1:8–1:6,3	1:9	1:6,1:8	1:6,1:8	-	-	-
Способ выравнивания пленки	вакуум	вакуум	прижим к стеклу					
Формат снимка, см	18 x 18	18 x 18	18 x 18	18 x 18	18 x 18	23 x 23	23 x 23	23 x 23

Управляют работой аэрофотоаппарата и съемочным процессом в целом с помощью специального бортового компьютера. Компьютер помещен в крепкий корпус, не содержит движущихся частей

(в отличие от обычных твердых дисков), имеется электронная защита, что значительно снижает вероятность его выхода из строя в полете. Программой обеспечиваются следующие функциональные возможности:

- графическое отображение на дисплее маршрута полета и разворотов над фотографируемым участком местности;
- точное открытие затвора в точке пространства с заданными координатами и регистрацией их на краю снимка в системе WGS-84;
- отображение любой исходной информации, необходимой при дальнейшей фотограмметрической обработке: время суток, дата, точность определения координат центров фотографирования и т. п.

Одним из современного типов аэрофотоаппаратов является разработанный фирмой Leica (Швейцария) топографический аэрофотоаппарат RC-30 (рис. 3.6) с навигационной системой ASCOT (рис. 3.7).



Рис. 3.6. Внешний вид АФА RC-30

Рис. 3.7. Навигационная система ASCOT

В комплект аэрофотоаппарата входит GPS-приемник, предназначенный для получения в процессе аэрофотосъемки координат центров проекций (объектива).

### ■ 3.3. Деформация изображения в кадровых аэрофотоаппаратах

Получение снимка, как было рассмотрено ранее, происходит под влиянием множества факторов: особенностей съемочной системы, условий освещения объекта съемки, условий проведения съемки, фотохимической обработки. Под их воздействием формируется реальный снимок. *Идеальный* снимок — это снимок, полученный по заданному закону геометрического построения изображения. Получение идеального снимка возможно при отсутствии искажающего влияния физических факторов. В кадровых аэрофотоаппаратах в основе получения изображения лежит центральное

### **ГЛАВА 3. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

проектирование. В идеальной центральной проекции точка изображения, центр проекции и точка местности находятся на одной прямой. Это положение называют условием *коллинеарности*. При выполнении аэро- и космических съемок под воздействием ряда перечисленных физических факторов положение точек снимка изменяется — нарушается условие коллинеарности. При фотограмметрической обработке снимков координаты точек местности вычисляют после измерений их координат на снимке. Если не учитывать искажение положения точек на снимке, то геодезические (географические) координаты могут быть определены с погрешностями, превышающими допустимые. Поэтому при фотограмметрической обработке необходимо знать величину и направление искажения положения точек на реальном снимке. В данном параграфе сделано обобщение влияния уже рассмотренных ранее факторов, вызывающих нарушение условия коллинеарности.

Воздействие физических факторов на геометрические искажения снимка имеет систематический или случайный характер. Систематические искажения могут быть определены с заданной точностью и учтены при фотограмметрической обработке снимков, например, деформация изображения, обусловленная влиянием дисторсии объектива. Искажения случайного характера учитывать сложнее, поэтому в процессе получения изображения создаются условия проведения съемок, при которых минимизируется их влияние.

Перечислим основные факторы в последовательности прохождения излучения от объекта съемки до фотографической пленки (сенсора). В этот же ряд факторов включим и процесс фотохимической обработки.

**Рефракция света в атмосфере** — влияние данного фактора рассмотрено в параграфе 1.4.

**Рефракция в защитном стекле фотолюка.** В результате разности температур и давления воздуха на внешней и внутренней поверхности стекла люка защитное стекло прогибается, возникает кривизна и клиновидность. Происходит отклонение луча, что вызывает дефокусировку аэрофотокамеры и деформирует изображение. При расчетах их допустимых значений учитывают разности температур между внешней средой и внутри летательного аппарата, коэффициент преломления стекла фотолюка и т. п. Рефракция имеет величину порядка 3–5 мкм, а дефокусировка — нескольких десятых долей миллиметра.

**Рефракция в светофильтре.** Вызвана непараллельностью его сторон, в зависимости от качества изготовления может достигать нескольких микрометров.

**Дисторсия объектива аэрофотоаппарата.** В современных топографических АФА дисторсия равна 2–3 мкм, в нетопографических аппаратах может достигать десятых долей миллиметра.

**Фотографический смаз изображения.** Вызван линейными и угловыми перемещениями оптического изображения относительно фотопленки при фотографировании. Допускается, в зависимости от метода фотограмметрической обработки снимков, величина в пределах 0,02 – 0,05 мм.

**Отклонение поверхности аэрофотопленки от фокальной плоскости АФА.** Определяется величиной зазора между светочувствительным слоем и плоскостью прикладной рамки и составляет 5..30 мкм.

**Остаточная погрешность выравнивания пленки в плоскость.** Для уменьшения геометрических искажений и повышения резкости изображения в АФА фотопленка перед экспонированием выравнивается в плоскость. Погрешность выравнивания зависит: от способа выравнивания пленки (механический или вакуумный), клиновидности, толщины и величины прогиба выравнивающего стекла. В центральной части кадра невыравнивание пленки вызывает смещение изображения порядка 2 – 2,5 мкм, на краю снимка может достигать 150 мкм.

**Неравномерность толщины фотоэмulsionного слоя аэрофотопленки.** При изготовлении фотопленки фотоэмulsionю (светочувствительный слой) наносят на основу (подложку) способом полива. Поэтому толщина фотоэмulsionного слоя в пределах снимка неодинакова. Для аэрофотопленок на триацетатной основе изменение толщины фотоэмulsionного слоя не превышает 2 мкм на 10 мм, частные изменения достигают 6 – 7 мкм. Смещение точки изображения, вызываемое различием толщины фотослоя в центральной части снимка порядка 2 мкм, на краю снимка может достигать величины 20 мкм, а для широкоугольных АФА и более.

**Деформация фотопленки, вызванная сушкой после фотохимической обработки и хранением снимков (рассмотрена в главе 4).**

Перечисленные основные факторы, вызывающие нарушение условия коллинеарности проектирующих лучей, проявляют свое действие, как правило, совместно. Исключить или уменьшить их влияние можно путем выбора соответственных съемочных средств и условий проведения съемок или учитывая их при фотограмметрической обработке снимков.

---

### Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки фотографического способа регистрации информации.
2. Перечислите основные характеристики аэрофотообъективов.
3. Составьте принципиальную схему конструкции АФА.
4. Каковы принципы построения изображения в кадровых, щелевых и панорамных аэрофотоаппаратах?

### **ГЛАВА 3. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

---

5. Что означают понятия «оптический сдвиг изображения» и «фотографический смаз изображения»?
6. Как влияет дисторсия объектива на геометрические свойства изображения?
7. Перечислите основные факторы, приводящие к деформации изображений, полученных кадровыми АФА.

## Глава 4. Фотографические материалы, применяемые при аэро- и космических съемках

Цели изучения:

- иметь представление о сущности фотографического способа хранения информации;
- знать: основы сенситометрических испытаний; критерии черно-белых и цветных фотографических материалов; основы негативного и позитивного процессов.

### ■ 4.1. Понятие о черно-белом фотографическом процессе

Получение фотографического изображения основано на фотохимическом (фотографическом) эффекте. Под воздействием энергии излучения некоторые природные или созданные человеком вещества изменяют свое состояние. При этом вещества, являющиеся результатом фотохимической реакции, образуют фотоизображение. В фотографическом процессе наиболее часто используют галогениды серебра (галоидное серебро): бромистое ( $AgBr$ ), хлористое ( $AgCl$ ), йодистое ( $AgI$ ) и их сочетания.

Фотографический эффект описывается в общем виде следующей формулой:



где  $h\nu$  — энергия фотона ( $h$  — постоянная Планка;  $\nu$  — частота электромагнитных колебаний);  $Ag$  — металлическое серебро;  $Br$  — бром.

Энергия, поступающая на галогенид серебра, вызывает начальную фазу реакции разложения. Эта реакция происходит медленно. Для ее ускорения применяют химические реагенты (проявители). Образованное при этом металлическое серебро ( $Ag$ ) есть та частица, из которой строится изображение. Чем интенсивнее световой поток, тем активнее происходит фотохимическая реакция и тем больше образуется металлического серебра (на снимке это участки различных оттенков черного цвета).

Весь процесс получения фотографического изображения состоит из нескольких этапов. На первом этапе — съемочном — с помощью оптической системы строится изображение на светочувствительном слое фотографического материала, находящегося в ее фокальной плоскости. Освещенность отдельных участков оптического изображения будет пропорциональна яркостям соответствующих участков снимаемого объекта. В результате взаимодействия световых лучей и галогенидов серебра происходит фотохимическая реакция и образуется так называемое скрытое изображение. На следующем эта-

## ГЛАВА 4. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ

пе — негативном — с помощью химических реактивов выполняется превращение скрытого изображения в видимое. Продукт этого этапа — негатив (закрепленное на фотоматериале обратное по яркости изображение объекта). Негатив, будучи промежуточным продуктом, используется в следующем этапе для получения позитива, который представляет собой аналоговую копию объекта съемки. Все три этапа связаны между собой, и погрешности, возникающие при их выполнении, влияют на качество снимков.

### 4.2. Строение черно-белых фотографических материалов

Фотоматериалы различают по их назначению, техническим характеристикам, строению, качественному составу и т. п. Их изготавливают в виде фотопленки, стеклянных фотопластинок, фотобумаги. При выполнении аэрофотосъемки с помощью топографических АФА применяют черно-белые и цветные аэрофотопленки.

Схема расположения основных слоев черно-белой аэрофотопленки показана на рис. 4.1. На основу (подложку) 5 наносится один или два фотоэмulsionционных (светочувствительных) слоя 1, 2. Имеются вспомогательные слои: защитный слой 1 (задубленная желатина) покрывает эмульсионный слой и защищает его от механических повреждений и влаги, слои 4 обеспечивают надежное соединение отдельных слоев и подложки, противоореольный слой 6 поглощает лучи, отразившиеся от подложки.

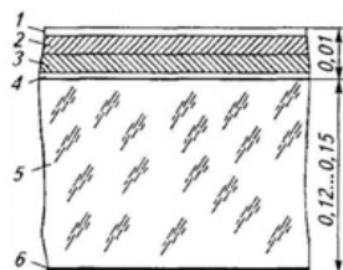


Рис. 4.1. Строение черно-белой аэрофотопленки:

1 — защитный слой; 2, 3 — фотоэмulsionционные слои; 4 — подслой; 5 — основа (подложка); 6 — противоореольный слой

Светочувствительный слой (фотоэмulsionия) представляет собой желатину с распределенными в ней частицами светочувствительного вещества (галогенидами серебра, например, бромистого серебра). В фотоэмulsionию также добавляют вещества, улучшающие ее свойства:

- стабилизирующие вещества, способствующие сохранению фотографических свойств эмульсионного слоя в течение длительного времени;

- дубильные вещества, повышающие механическую прочность и теплостойкость фотоэмulsionии;
- оптические сенсибилизаторы (органические красители), способствующие увеличению чувствительности фотослоя к лучам зеленой, красной или инфракрасной зоны спектра.

Толщина светочувствительного слоя на аэрофотопленке в сухом состоянии колеблется от 5 до 25 мкм. В этом слое кристаллы (зерна) галоидного серебра, размеры которых около 1 мкм, располагаются в 20 – 40 беспорядочных ярусов. Расположение кристаллов, их пространственное распределение по толщине слоя, по размерам определяет структуру непроявленного фотоэмulsionионного слоя. Эта характеристика важна тем, что изначально устанавливает качественные параметры будущего изображения.

Основу (подложку) аэрофотопленок изготавливают из триацетата, лавсана или материала типа «кронар» и «эстар». К материалам, применяемым для создания аэрофотопленок, предъявляются высокие требования: механическая прочность и эластичность, малая деформация при сушке после фотохимической обработки, прозрачность и оптическая однородность, устойчивость к температурным изменениям и хемическому воздействию реагентов.

Критерием подложки, определяющим позиционную точность изображения на снимке, является ее деформация. Она может быть плоскостной, определяемой по двум взаимно перпендикулярным направлениям в плоскости снимка, и вертикальной, вследствие непостоянства толщины аэрофотопленки (изменение толщины порядка 4 – 8 мкм). Плоскостную деформацию разделяют на равномерную и неравномерную.

Исследования деформаций различных типов аэрофотопленок позволяют сделать следующие выводы:

- наибольшая равномерная деформация наблюдается у пленок на триацетатной основе в пределах 0,06 – 0,25 %, что при формате снимка 180 × 180 мм приводит к изменению длины линии на 0,1 – 0,5 мм. Равномерная деформация может изменяться для различных кадров в одном аэрофильме до двух крат; при нагревании (при вводе снимка в компьютер при помощи сканера) величина деформации может изменяться до 1,5 крат; для лавсановых основ равномерная деформация в два раза меньше, чем у триацетатных;
- неравномерная деформация (неодинаковая по различным направлениям) для обоих типов основ составляет в среднем 0,01 – 0,02 %, что соответствует на краю снимка 7 – 14 мкм. Данный вид деформации имеет небольшие изменения от воздействия различных факторов;
- локальная или местная деформация для аэрофотопленок на триацетатной основе достигает величины 6 мкм, для лавсановой подложки — 4 мкм; при компьютерной фотограмметрической обработке снимков локальную деформацию учитывают с помощью контрольных меток (крестов), впечатываемых в каждый снимок при съемке.

### ■ 4.3. Сенситометрические характеристики аэрофотопленок

Сенситометрические характеристики определяют свойства фотоматериала реагировать на поступающий на него при съемке световой поток. Эти характеристики для каждой фотоматерии получают в результате сенситометрических исследований. Учение о методах исследований сенситометрических характеристик светочувствительных материалов называется фотографической сенситометрией. Рассмотрим некоторые понятия, применяемые в сенситометрии, фотографии, фотометрии и дешифрировании:

*световой поток*  $F$  — мощность лучистой энергии, оцениваемая по производимому ею зрительному ощущению; 1 люмен — зрительное ощущение, создаваемое 0,0016 Вт лучистой энергии при длине волны 556 нм;

*сила света*  $J$  — отношение светового потока к телесному углу, в котором он распространяется:  $J = 1 \text{ лм} / 1 \text{ стер} = 1 \text{ свеча}, 1 \text{ стерадиан} = \text{телесный угол } \Pi = 57,3^\circ$ ;

*яркость*  $B$  — характеристика светящихся тел, равная отношению силы света в данном направлении к площади поверхности источника, видимой по этому направлению, измеряется в системе СИ в нитах;

*освещенность*  $E$  — отношение светового потока к величине поверхности (распределение светового потока по площади), измеряется в люксах;

*выдержка (время освещения)*  $t$  — время, в течение которого фотографический слой подвергается непрерывному воздействию света;

*экспозиция* — количественная мера световой энергии, поступающей на светочувствительный слой; определяется как произведение освещенности  $E$  на время освещения  $t$ :

$$H = E_t \text{ (лкс. сек).} \quad (4.2)$$

*Оптическая плотность*  $D$  — мера фотографического почернения светочувствительного слоя. Выражается в виде десятичного логарифма коэффициента непрозрачности (коэффициент непрозрачности есть отношение прошедшего через оптическую среду светового потока к падающему):

$$D = \lg(1/T) = \lg Q, \quad (4.3)$$

где  $T$  — коэффициент пропускания (прозрачности),  $Q$  — коэффициент непрозрачности.

При  $T = 1$  оптическая плотность  $D = 0$ , при  $T = 0,1$   $D = 1$ .

Причины, по которым для оценки фотографического почернения используется оптическая плотность, а не коэффициент пропускания, следующие: 1) оптическая плотность пропорциональна количеству металлического серебра в фотоизображении, образу-

ющего это почернение; 2) логарифмический способ выражения оптической плотности соответствует логарифмическому закону зрительного восприятия.

Основные фотографические характеристики светочувствительных материалов определяют в процессе сенситометрических исследований. Для этого устанавливают функциональную зависимость оптической плотности от величины экспозиции  $D = f(H)$ . Используя зависимость, определяют искомые фотографические (сенситометрические) характеристики: плотность вуали  $D_0$ , коэффициент контрастности  $\gamma$ , интегральная  $S_{ob}$  и спектральная светочувствительность  $S_\lambda$ , фотографическая широта  $L$ .

*Оптическая плотность вуали*  $D_0$  — почернение неэкспонированного фотоматериала или его участков после химической обработки. Оптическая плотность вуали возрастает с увеличением срока хранения фотоматериала (происходит самопроизвольный переход галогенида серебра в металлическое серебро) или при нарушении режима химической обработки. Вуаль снижает контраст изображения, что может привести к исчезновению мелких деталей объекта. Для аэрофотопленок величина вуали допускается не более 0,2.

*Коэффициент контрастности*  $\gamma$  характеризует свойство фотографического слоя реагировать на некоторый интервал экспозиций ( $\Delta H$ ) большей или меньшей разностью оптической плотности ( $\Delta D$ ) соседних объектов  $\Delta D = \gamma \Delta H$ . Его величина изменяется с изменением режима фотохимической обработки: при увеличении времени проявления фотоматериала (в определенных пределах) увеличивается его  $\gamma$ ; применяя различные типы проявителей, также можно управлять значением коэффициента контрастности.

*Светочувствительностью*  $S_{ob}$  фотоматериала называют способность фотографического слоя создавать большую или меньшую оптическую плотность при одинаковой экспозиции. Светочувствительность определяется как величина обратно пропорциональная экспозиции  $H_{D_0}$ , создающей на фотографическом материале, после химической обработки, заданную оптическую плотность  $D_0$ :

$$S = K_s / H_{D_0}. \quad (4.4)$$

Значения коэффициента  $K_s$  и величина заданной оптической плотности  $H_{D_0}$  определяются применяемой сенситометрической системой. Этих систем несколько: отечественная система ГОСТ, система DIN, система ASA, международная система ISO. В системе ГОСТ, действующей в нашей стране с 1963 года, для аэрофотопленок общего назначения коэффициент  $K_s = 10$ , для позитивных пленок  $K_s = 1$ .

Светочувствительность фотоматериала — величина непостоянная и зависит от интенсивности падающего на нее светового потока, а главное от режима фотохимической обработки (тип проявителя, время и температура проявления).

## ГЛАВА 4. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ

Пленки одинаковой светочувствительности имеют разные численные значения в различных сенситометрических системах.

*Фотографическая широта L* — свойство фотопленки сохранять в некотором интервале экспозиций пропорции яркостей объектов, равные пропорциям оптических плотностей их изображений на фотоснимке.

Чем больше фотографическая широта, тем больший интервал градаций яркостей объектов будет передаваться без искажений. Изменяя режим фотохимической обработки фотопленок, можно изменять величину фотографической широты.

*Спектральная светочувствительность* эмульсионного слоя фотоматериала характеризует его способность реагировать на лучи различного спектрального диапазона. Спектральная светочувствительность фотоматериалов зависит от типа сенсибилизаторов (специальных добавок), находящихся в фотоэмulsionии. Различают следующие типы фотоэмультсий (рис. 4.2):

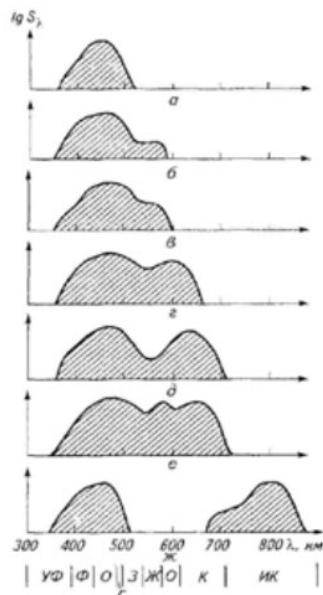


Рис. 4.2. Спектральная чувствительность различных типов фотоэмультсий (фотопленок)

- несенсибилизированные — чувствительны к синим лучам спектра;
- ортохроматические и изоортогохроматические — чувствительны к синим, зеленым и желтым лучам;
- панхроматические и изопанхроматические взаимодействуют с лучами всей видимой зоны спектра;

— инфрахроматические фотоэмulsionии (фотослои) обладают максимальной чувствительностью к лучам инфракрасной зоны спектра.

Различные типы данных фотоэмulsionий имеют максимумы чувствительности, соответствующие различным длинам волн. Это отражается в их маркировке, например, инфрахроматические фотопленки И-840, И-960 максимально чувствительны к излучению с длиной волны соответственно 840 нм и 960 нм.

Для повышения изобразительных и информационных свойств аэрофотоснимков съемку выполняют с применением светофильтров — стеклянных окрашенных плоскопараллельных пластин. В зависимости от типа красителя, используемого для их изготовления, светофильтры пропускают или не пропускают (отрезают) излучение определенной длины волны. Светофильтры с заданными пропускными характеристиками устанавливают на объективе аэрофотоаппарата и тем самым регулируют спектр излучения, поступающего на фотопленку. Фотографический эффект, создаваемый в фотоэмulsionционном слое, при их применении будет иным по сравнению со съемкой без светофильтров и оценивается *эффективной светочувствительностью*. Отношение общей светочувствительности к эффективной называют кратностью светофильтра  $q$ , которую вычисляют по формуле

$$q = S/S_{\lambda}, \quad (4.5)$$

где  $S$  — общая светочувствительность фотоматериала при освещении его интегральным световым потоком без светофильтра;  $S_{\lambda}$  — светочувствительность фотоматериала, полученная при его освещении через светофильтр.

Кратность светофильтра учитывают при фотосъемке. При расчете оптимальной экспозиции ее значение увеличивают в  $q$  крат.

Выбирая и устанавливая соответствующие светофильтры, производят фотосъемку в заданной зоне, повышая информационные свойства черно-белых снимков. Светофильтры применяют также для устранения влияния воздушной дымки, снижающей контраст изображения объектов местности. Ее влияние увеличивается с высотой фотографирования. На объектив аэрофотоаппарата устанавливается желтый светофильтр (ЖС), отрезающий коротковолновый спектр излучения, создаваемый атмосферной дымкой. При этом повышается контраст изображений объектов, а также увеличивается количество отображенных на снимке мелких малоконтрастных деталей.

#### **■ 4.4. Структурометрические характеристики фотопленок**

---

Зернистая структура фотоэмulsionционного слоя — важный параметр аэрофотопленки для получения снимков с определенными изобразительными свойствами. Зерна фотоэмulsionии при экспони-

## ГЛАВА 4. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ

ровании рассеивают световые лучи, что ограничивает воспроизведение мелких деталей, снижает резкость изображения и уменьшает пределы увеличения снимков. Рассмотрим некоторые понятия, являющиеся функциями структурных свойств фотоматериалов.

*Коэффициент (фактор) зернистости* используется для визуальной оценки размеров зернистости фотоэмulsionии. Он служит показателем предельного увеличения изображений, который вычисляют по формуле

$$Q = 100/n, \quad (4.6)$$

где  $n$  — коэффициент увеличения, при котором визуально определяется появление зерна на изображении.

Чем больше размер зерна, тем больше коэффициент зернистости фотоэмulsionии и, соответственно, меньше коэффициент увеличения fotosнимка, обеспечивающего высокое изобразительное качество увеличенного fotoизображения. Коэффициент  $Q$  определяется на приборах гранулометрах. В справочниках о фотоматериалах приводятся сведения об этом коэффициенте в разделе «Гранулометрические характеристики».

Разрешающая способность фотоматериала относится к резольвометрическим характеристикам и определяет способность фотоэмulsionного слоя раздельно воспроизводить мелкие, близко расположенные детали фотографируемого объекта.

*Разрешающая способность* зависит от размера зерна фотоэмulsionного слоя: чем больше зерно, тем меньше разрешающая способность.

Для получения снимков с высокими изобразительными свойствами желательно применять мелкозернистые фотоматериалы. Но мелкозернистые fotoэмulsionные слои обладают малой светочувствительностью. Специфика выполнения аэрофотосъемок (необходимость коротких выдержек) предполагает применение высокочувствительных фотопленок. Поэтому аэрофotosнимки имеют достаточно крупную структуру изображения. Как следствие, существует ограничение в коэффициентах увеличения снимков при фотографической печати позитивов и при работе с изображением, визуализированным на мониторе компьютера.

## ■ 4.5. Этапы фотографического процесса

Первый этап фотографического процесса — фотографирование местности — аэрофотосъемка. При выполнении аэрофотосъемки необходимо правильно рассчитать поступление такого количества световой энергии (экспозицию), при котором на снимке будет обеспечена пропорциональная передача яркостей объектов и получена

разрешающая способность фотоизображения, соответствующая этому параметру данного типа аэрофотопленки. При аэрофотосъемке экспозиция регулируется в основном временем экспонирования (выдержкой). Выдержку  $t$  рассчитывают по экспонометрической формуле:

$$t = 4K_s nq / EZK_a SHD (r + L_i), \quad (4.7)$$

где  $K_s$  — коэффициент сенситометрической системы;  $n$  — знаменатель относительного отверстия объектива (диафрагма);  $q$  — кратность светофильтра;  $E$  — освещенность объекта;  $K_a$  — коэффициент рассеяния в фотокамере;  $SHD$  — светочувствительность фотопленки;  $r$  — средний коэффициент яркости объекта;  $L_i$  — коэффициент яркости воздушной дымки.

В современных фотографических съемочных устройствах экспонометрическую формулу решают с помощью автоматического регулятора экспозиций, обеспечивая требуемое фотографическое качество изображения.

Большое разнообразие аэрофотопленок позволяет выбрать нужный тип, исходя из условий освещения объекта, отражательной способности природных объектов, цели съемки и т. д.

*Негативный процесс* выполняют после проведения аэрофотосъемки. В результате получают экспонированную аэрофотопленку, на которой в виде скрытого изображения записана информация о фотографируемом объекте. Скрытное изображение представляет собой участки экспонированной фотопленки, где под действием энергии световых лучей произошла фотохимическая реакция (фотографический эффект). Для преобразования скрытого изображения в видимое производится негативный процесс.

Негативный процесс представляет собой фотохимическую обработку экспонированной фотопленки, включающий: проявление, первую промывку, фиксирование, вторую промывку и сушку. Его результат — негатив. На негативе изображение обратно яркостям объектов съемки: объектам большей яркости соответствуют их изображения большей оптической плотности, и наоборот.

*Фотографическое проявление* представляет собой химическую реакцию преобразования галоидного серебра, подвергнувшегося воздействию света. Под действием водных проявляющих растворов происходит переход экспонированного галоидного серебра в металлическое. В тех местах, где энергия светового потока была выше (что соответствует большей яркости объекта), происходит более активная фотохимическая реакция. В результате избирательного восстановления галоидного серебра на снимке получают распределение пятен темного металлического серебра, которое и создает изображение. Проявление фотопленки осуществляют в строгом соответствии с режимом, применяемым при сенситометрических испытаниях (реко-

#### **ГЛАВА 4. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ**

мендованный тип проявителя, время и температура проявления). Проявляющие растворы (проявители) представляют собой состав химических веществ, растворенных в воде. В состав проявителя входят проявляющие, ускоряющие, противовуалирующие вещества, сохраняющие и т. п.

После проявления выполняют  *первую промывку* — удаляют из фотоэмульсионного слоя остатки проявляющего раствора (проявителя).

Следующим этапом является  *фиксирование (закрепление)*. Если после промывки вынести проявленный фотоматериал на свет, то под действием света неэкспонированные частицы галоидного серебра (их в фотоэмульсии остается порядка 70 – 80 %) начнут превращаться в металлическое серебро. Через некоторое время фотоматериал станет одинаково черным и изображение исчезнет. Фиксирование проводят в одном растворе фиксажа, в состав которого входит гипосульфит натрия. При фиксировании остатки неэкспонированного галоидного серебра вступают в реакцию с гипосульфитом натрия. В результате образуется растворимое в воде соединение, которое вымывается из фотоэмульсионного слоя при  *второй промывке* вместе с остатками фиксажа. В фотоэмульсии остается металлическое серебро, составляющее изображение на негативе. Промывка должна быть продолжительной в проточной воде. Если в фотослое останется фиксаж, то со временем изображение пожелтеет и может исчезнуть.

Для автоматизации фотохимической обработки аэрофильмов применяют проявочные машины (например, 80П-1). Скорость непрерывного движения фотопленки составляет 90 – 95 м/ч.

Сушку химически обработанного аэрофильма выполняют таким образом, чтобы исключить или уменьшить возможные деформации подложки и фотоэмульсионного слоя. Применяют конвекционные способы сушки — пленка равномерно с двух сторон обдувается нагретым воздухом с относительной влажностью 50 – 60 %. Для сушки аэрофильмов используют специальные барабаны, шкафы и приборы.

Полученные негативные материалы подлежат метрологической оценке. Определяется фотографическое качество и резкость изображения.

*Позитивный процесс*. Если аэронагативы по качеству отвечают нормативным требованиям, с них получают позитивные копии — *фотоотпечатки (позитивы)*. На позитивах изображение по яркости обратно негативу, но прямое по отношению к объекту. Позитивный процесс может быть выполнен в режиме классической фотографической обработки или с помощью компьютерных технологий. При фотографическом варианте *фотоотпечатки (позитивы)* обычно изготавливают на фотобумаге. Иногда используется позитивная фотопленка (ее светочувствительность невысокая — порядка 1 – 3 единиц ГОСТ).

Последовательность отдельных этапов позитивного процесса аналогична съемочному и негативному процессам: после экспонирования (печати) выполняют проявление, промывку, фиксирование, промывку и сушку.

Существуют два способа печати с негативов позитивных копий: контактный и проекционный.

При контактном способе позитивный фотоматериал (фотобумага или позитивная пленка) и негатив плотно прижимаются эмульсионными слоями. Экспонирование производят через негатив. Масштаб изображения позитива равен масштабу негатива. Контактная печать выполняется на контактных копировальных приборах, принципиальная схема которых приведена на рис. 4.3, или на автоматических печатающих приборах.

Резкость изображения на отпечатанных контактных снимках зависит от плотности прижима позитивного материала к негативу. Отсутствие объектива при данном способе печати исключает поспешности на позитиве, вызываемые неидеальностью оптической системы.

Проекционная печать позволяет получать позитив в ином масштабе, чем негатив. Для этого используют приборы — фотоувеличители (рис. 4.4).

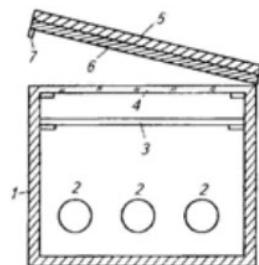


Рис. 4.3. Схема контактного копировального прибора:

- 1 – корпус;
- 2 – лампы освещения;
- 3 – матовое рассеивающее стекло;
- 4 – стекло, на котором располагается негатив;
- 5 – прижимное устройство;
- 6 – уплотнитель;
- 7 – контактный выключатель.

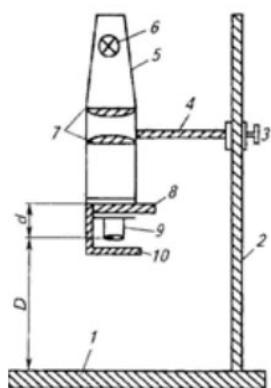


Рис. 4.4. Схема фотоувеличителя:

- 1 – экран;
- 2 – штанга;
- 3 – муфта крепления;
- 4 – кронштейн;
- 5 – корпус осветителя;
- 6 – лампа освещения;
- 7 – конденсор;
- 8 – рамка с негативом;
- 9 – объектив;
- 10 – светофильтр

## ГЛАВА 4. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ

Масштаб проецированного изображения (увеличенного снимка) зависит от расстояния между объективом и экраном  $D$ , которое изменяют перемещая проектор по вертикальной штанге 2. При большем расстоянии  $D$  коэффициент увеличения больше.

Для получения резкого изображения на экране, а следовательно и на снимке, должно выполняться оптическое сопряжение трех плоскостей: негатива, объектива и экрана (позитива). Это условие выражается следующей зависимостью:

$$1/D + 1/d = 1/F_{\text{об}}, \quad (4.8)$$

где  $D$  — расстояние от задней узловой точки объектива до плоскости экрана;  $d$  — расстояние от задней узловой точки до плоскости негатива;  $F_{\text{об}}$  — фокусное расстояние объектива фотоувеличителя.

Таким образом, изменяя расстояние  $D$  для достижения необходимого масштаба позитива, требуется изменение  $d$ , согласно формуле (4.8). В обычных фотоувеличителях это выполняют вручную, а резкость оценивается визуально. В аэрофотогеодезическом производстве используют фотоувеличители с коэффициентом увеличения до 40–100 крат, при этом оптическое сопряжение (получение резкого изображения на экране) решается автоматически.

Применение объектива при данном способе печати может вызывать геометрические искажения на позитиве, вызываемые неидеальностью оптической системы.

Фотобумага, применяемая для получения контактных или увеличенных снимков, так же как и негативные материалы, обладает сенситометрическими и структурными характеристиками. Они в значительной мере определяют фотографическое и изобразительное качество фотопечатки. Строение фотобумаги похоже на строение фотопленок.

Существуют различные виды фотобумаг, отличающиеся по типу эмульсионного слоя, подложки (тонкая бумага, картон), контрастности, с матовым или глянцевым покрытием. В фотобумагах типа «фотокарт» бумажная основа помещена между двумя тончайшими слоями полимерной пленки, поэтому после фотохимической обработки не размокает и, как следствие, практически не деформируется. Такой тип фотобумаги используется для производства увеличенных до большого размера аэрофотоснимков или их фрагментов.

При печати фотобумага подбирается в зависимости от коэффициента контрастности негатива: чем больше коэффициент контрастности негатива  $\gamma_{\text{нер}}$ , тем меньшую контрастность (средний градиент)  $\gamma_b$  должна иметь фотобумага, и наоборот. Условие правильного воспроизведения яркостей объекта на отпечатке выражается формулой  $\gamma_{\text{нер}} \times \gamma_b = 1$ .

Фотохимическая обработка фотобумаги аналогична обработке фотопленки в негативном процессе. Фотоэмulsionийный слой фо-

тобумаги несенсибилизирован (чувствителен к синим лучам спектра) и поэтому работу с ней, включая проявление, фиксирование и промывку, можно проводить при желтом или красном освещении. Сушат фотоотпечатки на специальных стеллажах или с помощью приборов — глянцевателей.

В связи с переходом на технологии компьютерной обработки изображений изменилась процедура позитивного процесса. С помощью технических устройств — сканеров — негативное аналоговое изображение (аэронегатив) преобразуют в цифровой вид и вводят в компьютер. Программными средствами можно изменять фотографическое качество негативного изображения и преобразовывать его в позитивное. При этом можно уменьшать или увеличивать коэффициент контрастности, изменять оптическую плотность в отдельных частях изображения, повышать детальность проработки мелких объектов в тенях и т. п. Для этих целей используют специальные программные модули или программы, например, *Photoshop*. Тиражирование позитивного изображения производится с помощью современных технических средств — фотопринтеров и плоттеров.

## **■ 4.6. Понятие о цветной фотографии**

---

Глаза человека воспринимают во много раз большее число цветов и оттенков цветного изображения, чем количество тонов черно-белого изображения. Это обеспечивает получение большего объема информации при использовании цветной фотографии для фотосъемок земной поверхности, особенно в целях выявления очагов поражения древесной растительности, посевов, локальных загрязнений почв и т. п.

Рассмотрим основные характеристики цвета: цветовой тон или оттенок, насыщенность цвета, светлота или относительная яркость.

*Цветовой тон (цвет)* — это основной критерий, отличающий его от серого и белого.

*Насыщенность цвета* есть степень разбавленности его белым.

*Светлота* характеризует относительный цветовой контраст. Например, если одна часть цветной поверхности освещена, а другая находится в тени, то при одинаковой насыщенности они различаются по светлоте.

В основе цветной фотографии заложена выдвинутая М.В. Ломоносовым теория о трехкомпонентном цветовом делении зрения. В соответствии с этой теорией глаз человека имеет три группы колбочек, воспринимающих три основных цвета: синий (С), зеленый (З) и красный (К). С их помощью можно воспроизвести любой цвет. Воспроизведение происходит путем смешения трех основных цветов. Схему смешения цветов можно анализировать на примере треугольника цветов (рис. 4.5).

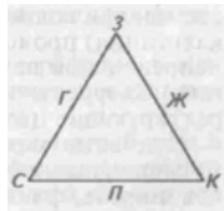


Рис. 4.5. Треугольник цветов

Буквами Г, Ж, П обозначены дополнительные цвета, соответственно голубой, желтый и пурпурный. С помощью цветного треугольника легко определить набор цветов для получения нужного цвета. Белый (Б) цвет получают сложением основных цветов  $B = C + Z + K$ , черный (Ч) путем сложения дополнительных  $Ч = Г + Ж + П$ . Заменяя основные цвета на дополнительные и дополнительные на основные, можно получить различные комбинации цветообразования:

$$\begin{array}{lll} Г = C + Z, & Ж = Z + K, & П = C + K, \\ Б = C + Ж, & Б = Z + П, & Б = Г + K, \\ С = Г + П, & З = Г + Ж, & К = Ж + П. \end{array}$$

Получение цветов в результате смешения основных называется аддитивным смешением. Смешение дополнительных цветов для получения основных, путем вычитания из белого некоторых цветов, называется субтрактивным синтезом цветов. Последний способ проще реализуется и поэтому применяется в цветной фотографии.

В цветных фотографических материалах (фотопленках и фотобумагах) применяется принцип разделения и синтезирования цветов, представленный на схеме (рис. 4.6).

Цветные фотопленки и фотобумаги имеют по три элементарных фотослоя, а в некоторых случаях четыре. Каждый из слоев чувствителен к лучам определенного спектра: первый — к синим, голубым и пурпурным; второй — к голубым, зеленым и желтым; третий — к желтым, красным и пурпурным. В каждом слое находятся красители, которые после химической обработки окрашивают его в дополнительный цвет. Первый слой окрашивается в желтый цвет, второй — в пурпурный, третий — в голубой. После химической обработки изображения объектов на цветном негативе будут иметь цвета, не соответствующие оригиналу. Их цвета определяются сложением цветов изображений объектов на элементарных слоях (рис. 4.6 – III).

Цветной позитивный процесс аналогичен цветному негативному процессу. В результате цветовоспроизведение цветного позитива должно соответствовать цветовой гамме объекта. Это называется балансом цветов. При длительном хранении пленки, неправильной химической

## ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ

обработке, использовании при съемке не соответствующего по спектру освещения (например, фотопленка для съемки при солнечном освещении экспонируется в лучах ламп накаливания) происходит разбалансирование цветов, что приводит к неправильной передаче цветов объекта на позитивном изображении. Корректировка цвета выполняется при печати корректирующими цветными светофильтрами.



*Рис. 4.6. Схема получения цветного изображения:*

*I — цветной объект, II — окрашенные слои цветной фотопленки, III — окрашенные слои цветного негатива, IV — окрашенные слои позитивного материала, V — цветной позитив; 1–6 — светочувствительные слои цветных фотоматериалов*

Основные характеристики черно-белых фотоматериалов — светочувствительность, коэффициент контрастности, фотографическая широта, фактор зернистости и разрешающая способность — не меняют своих понятий в цветной фотографии. Методики их определения и формулы для их расчетов имеют некоторые отличия.

Существенным недостатком цветных изображений является пониженная по сравнению с черно-белыми материалами разрешающая способность, что может ограничивать области их применения. Объясняется это наличием трех элементарных светочувствительных слоев на фотоматериале. Если каждый слой имеет свою разрешающую способность  $R_1, R_2, R_3$ , то суммарная разрешающая способность всех слоев может быть определена по известной эмпирической формуле:

$$1/R_0 = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3. \quad (4.9)$$

Например, если условно примем разрешающую способность каждого элементарного слоя равной  $100 \text{ мм}^{-1}$ , то результирующая разрешающая способность (без учета влияния других факторов) будет в три раза меньше, т. е.  $R = 33 \text{ мм}^{-1}$ .

## **ГЛАВА 4. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ**

Разновидностью цветной аэрофотографии является спектрозональная фотография. Регистрация изображения происходит на двух или трех цветных слоях фотопленки. В отличие от цветного фотографирования в натуральных цветах при спектрозональной съемке получают изображения в ложных цветах, не соответствующих цветам объектов. Псевдоцвета изображений объектов позволяют добиться наибольших цветовых контрастов. Например, пашня может изобразиться красным или синим цветом. За счет повышения на снимках цветовых контрастов надежнее и легче выполняется визуальное выявление изображений малоконтрастных объектов.

Спектрозональная съемка выполняется для изучения состояния посевов, лесов, при почвенном картографировании, при геологических исследованиях и т. д.

Для спектрозонального фотографирования применяют цветные фотопленки с маркировкой СН — спектрозональные негативные. Различные типы спектрозональных пленок имеют элементарные слои, чувствительные к различным зонам спектра. В зависимости от спектральной отражательной способности изучаемых объектов выбирается тот или иной тип спектрозональной фотопленки.

Печать спектрозональных снимков выполняют контактным или проекционным способом. Химическая обработка для получения негативов и позитивов аналогична обработке цветных фотоматериалов.

Достоинством цветной и спектрозональной фотографии является высокая энергетическая разрешающая способность, что позволяет получить больший объем информации на снимке.

При компьютерной обработке цветных снимков потребуется в три раза больше объема памяти для хранения цифрового цветного изображения. Это объясняется тем, что при вводе в компьютер цветного снимка применяемый для этих целей цветной сканер сканирует и представляет в цифровом виде изображение каждого элементарного слоя. Стоимость цветных снимков выше стоимости снимков, полученных на черно-белых фотоматериалах.

Развитие теории фотографии, совершенствование фотографических материалов и технических средств их фотохимической обработки позволили повысить качество цветных изображений. Упростился и ускорился процесс получения цветных позитивов.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие химические преобразования вещества являются основой фотографического процесса?
2. Что представляет собой фотографическая эмульсия?
3. Назовите основные свойства подложки аэрофотопленки.

## **ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ**

4. Назовите основные этапы сенситометрических исследований пленок.
5. Какое назначение имеет характеристическая кривая при сенситометрических исследованиях? Назовите сенситометрические параметры пленок, учитываемые при выполнении съемочных работ.
6. Что означает понятие «сенсибилизированные аэрофотопленки»?
7. Как влияют гранулометрические параметры пленок на их изобразительные и сенситометрические свойства?
8. Чем вызвана необходимость оптимизации экспозиции при выполнении аэрофотосъемки?
9. Какие химические процессы производят при получении негатива?
10. Опишите схему получения цветного изображения. Каковы преимущества и недостатки цветного изображения по сравнению с черно-белым?

## **Глава 5. Нефотографические съемочные системы**

Цели изучения:

- изучить основные принципы работы некоторых типов нефотографических систем;
- знать их технические характеристики, достоинства и недостатки получаемых ими изображений.

К нефотографическим системам относят несколько классов съемочных устройств, которые разработаны с целью расширения технических возможностей аэро- и космических методов изучения Земли. Принципиальным их отличием от фотографических систем является применение иных сенсоров, регистрирующих широкий спектр излучения от земной поверхности, иных способов построения и передачи изображения, представлении результатов съемки в цифровом виде. Съемочные системы, установленные на космических летательных аппаратах, позволяют получать информацию о процессах, проходящих на Земле в реальном или близреальном времени. Специфика космических полетов потребовала конструирование съемочных систем специального вида: компактных, малого веса и энергопотребления, с возможностью передачи без искажения информации на пункт приема непосредственно в процессе съемки и т. д. Конструктивные принципы, применяемые в космических съемочных системах, успешно используют при разработке нефотографических аэросъемочных систем.

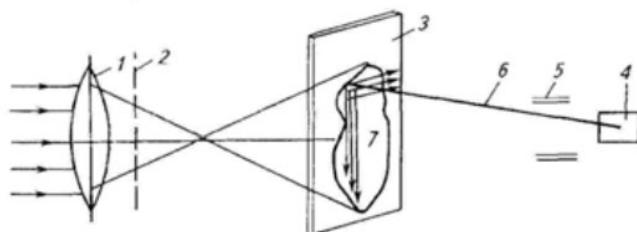
### **5.1. Кадровые телевизионные системы**

---

Кадровые телевизионные (ТВ) системы имеют сходство с кадровыми фотографическими системами. Существует оптическая система, затвор, компенсатор сдвига изображения. Снимок формируется по закону центральной проекции на фотоэлектрической поверхности (фотомишени), являющейся частью приемопередающего устройства — видикона (рис. 5.1).

Фотомишень можно считать аналогом фотопленки, но, в отличие от нее, используемой многократно. Схема процесса получения ТВ-снимка следующая. Оптическое изображение с помощью объектива фокусируется на фотомишень. На ее поверхности образуется поле электрических зарядов. Величина заряда на элементарной площадке фотомишени пропорциональна интенсивности падающего светового потока (экспозиции). Изображение представлено распределением электрических зарядов различной величины. При передаче на пункт приема оно сканируется электронным лучом, исходящим из электронного прожектора и управляемым отклоняющей

системой (конденсаторами). В момент взаимодействия электронного луча с элементарной ячейкой происходит сложение зарядов. Суммарный заряд поступает на усилитель, после чего передается антенной по радиоканалу на наземный пункт приема, поступившие сигналы визуализируются — преобразуются в изображение аналогичное фотографическому. В результате сканирования фотогенераторная поверхность очищается и готова к приему нового оптического изображения.



*Рис. 5.1. Схема видикона:*

1 – объектив; 2 – затвор; 3 – фотомишень; 4 – электронный прожектор;  
5 – управляющие конденсаторы; 6 – электронный луч; 7 – электронное изображение

В случае, когда прямая радиосвязь невозможна, производится запись результатов съемки на магнитный носитель. Передача информации начинается после входа в зону радиовидимости. Изображение в кадровых ТВ-системах может быть получено одновременно в нескольких спектральных зонах. Для этого используют несколько видиконов, имеющих различную спектральную чувствительность фотогенераторных поверхностей.

Недостатками кадровых ТВ-систем являются большие геометрические и фотометрические искажения, низкая разрешающая способность, а также зависимость от погодных условий. ТВ-снимки используют при исследовании больших территорий земной поверхности и поверхности океанов, изучении облачности и т. п.

Из отечественных ТВ-систем можно назвать систему «МЕТЕОР» с разрешением на местности от  $1,25 \times 1,25$  км в центре до  $2,0 \times 2,0$  км на краю снимка. Система RVR, установленная на серии спутников LANDSAT (США), имеет три спектральных канала с разрешением на местности при съемки с высоты 930 км от 0,04 до 0,08 км.

## ■ 5.2. Сканирующие съемочные системы

Сканирующие съемочные системы (сканеры) отличаются от других прежде всего принципом построения изображения. Изображение строится путем построчного сканирования (просматривания) местности (рис. 5.2, а).

## ГЛАВА 5. НЕФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

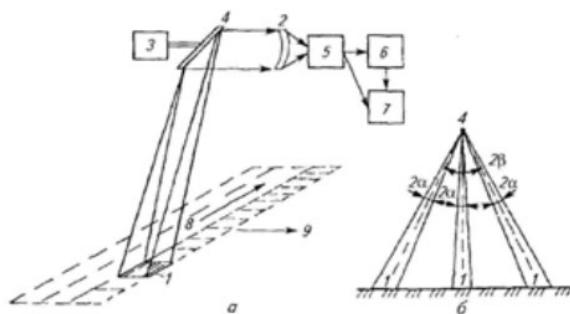


Рис. 5.2. Схема сканирования местности:

1 – площадка мгновенного обзора местности; 2 – объектив; 3 – механизм вращения зеркала; 4 – сканирующее зеркало; 5 – приемник излучения; 6 – устройство записи отраженного сигнала; 7 – устройство, передающее результаты записи; 8 – направление сканирования; 9 – направление полета

Сканирующее устройство воспринимает отраженный (излученный) электромагнитный поток от элементарных площадок снимаемого объекта 1, расположенных вдоль строки (направления сканирования). Размер площадки зависит от высоты съемки, мгновенного угла  $2\alpha$  изображения оптической системы сканера 2 и положения относительно оси сканирования (рис. 5.2, б). Угол захвата  $2\beta$  определяет ширину полосы на местности. Переход от одной строки к другой (построчная развертка) происходит в результате поступательного движения 9 летательного аппарата. Для исключения разрывов между строками скорость сканирования согласуется с высотой и скоростью полета. В качестве сканирующих устройств 4 используют врачающиеся оптические элементы: плоские зеркала, зеркальные призмы, пирамиды и т. п.

В сканирующих системах применяют различные типы приемников электромагнитного излучения: тепловые (теплоэлектрические) и фотонные (фотоэлектрические). Тепловые системы работают на основе преобразования тепловой энергии в электрический сигнал, в фотонных системах уровень сигнала определяется количеством поглощенных фотонов. Наибольшее применение получили сканеры, приемниками которых служат линейки ПЗС. Различные типы сенсоров имеют различную спектральную чувствительность и охватывают спектральный интервал от видимой зоны до дальней инфракрасной зоны (0,4 – 16 мкм). Выбор приемника излучения и его спектральной чувствительности зависит от спектрального интервала съемки.

Сканирование может осуществляться различными методами по различным направлениям. Чаще применяют оптико-механическое сканирование по одному или двум взаимно перпендикулярным направлениям. В первом варианте переход от одной строки изображе-

ния к другой выполняется в результате перемещения летательного аппарата. Во втором — за счет движения сканирующего устройства.

В сканерах устанавливается несколько сенсоров, позволяющих получать изображение одновременно в различных спектральных каналах. Измерение поступившего в приемник электромагнитного излучения производится путем сравнения возникшего аналогового видеосигнала от объекта с эталонным видеосигналом, создаваемым эталонным (искусственным или естественным) источником излучения. Результатирующему сигналу автоматически присваивается соответствующий цифровой код. Кодированные видеосигналы составляют цифровое изображение.

Результаты съемки передаются на пункт приема по радиоканалу. Поступившие кодированные сигналы записывают на магнитный носитель. Далее может быть выполнено преобразование кодированных сигналов и получение изображения, подобного фотографическому. В настоящее время результаты съемок удобнее передавать пользователю на магнитных носителях с последующей визуализацией на местах обработки снимков.

### **5.3. Термовые съемочные системы**

---

Широкое развитие и применение получили *термовые сканирующие системы*, относящиеся к пассивным. Данные системы используют для формирования излучения ближней ИК-зоны ( $\lambda = 0,76 - 3,0$  мкм), средней ИК-зоны ( $\lambda = 3,5 - 5,6$  мкм) и дальней ИК-зоны ( $\lambda = 8,0 - 14,0$  мкм). В этих спектральных зонах регистрируется собственное излучение объектов земной поверхности с помощью многозональных радиометров, радиометрических комплексов, тепловизионных систем и т. п. В зависимости от вида получаемой информации, характера изучаемых объектов и возможностей используемой аппаратуры съемку производят в одном или нескольких спектральных интервалах одновременно.

Термовая съемка представляет собой измерение двумерного поля излучения путем описанного ранее поэлементного сканирования объекта земной поверхности. Принцип получения изображения основан на измерении температур объектов местности. В зависимости от физических и химических свойств снимаемые объекты могут быть «теплее» или «холоднее». Термовая съемка позволяет регистрировать объекты невидимые невооруженным глазом человека. Преобразованные (визуализированные) результаты измерений температур имеют вид аналогичный фотографическому изображению местности. Точность регистрации температуры различными системами находится в пределах от 0,1 до 0,01 градуса. Съемка может выполняться как в дневное время, так и в ночное. Для исключения влияния солнечного излучения целесообразнее производить тепло-

## ГЛАВА 5. НЕФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

вую съемку ночью. Линейное разрешение на местности достигает  $0,01 - 0,12$  м при высотах съемки  $H = 200 - 300$  м.

Совершенствование ИК-приемников, оптических систем, методов термометрии позволяет получать ИК-снимки, сопоставимые по своим изобразительным свойствам с фотографическими. Для стереоскопического рассматривания снимки получают с перекрытиями (часть местности, изображенной на предыдущем снимке, фиксируется на последующем). Регистрация трех координат точек изображения позволяет визуализировать на мониторе компьютера трехмерное изображение. В таблице 5.1 приводятся характеристики отечественной многозональной радиометрической аппаратуры высокого пространственного и температурного разрешения.

Таблица 5.1

### Параметры отечественных тепловых съемочных систем

Параметры	Климат-СМ2	Тавр-СМ2	Мавр-СМ	Савр-СМ1
Спектральная зона, мкм:				
Видимая	0,45 – 0,52	0,45 – 0,52	то же	то же
	0,52 – 0,62	0,52 – 0,62		
	0,62 – 0,74	0,62 – 0,74		
Ближняя ИК	1,55 – 1,75	1,55 – 1,75		
	1,75 – 2,1	1,75 – 2,1		
	2,1 – 2,35	2,1 – 2,35		
Дальняя ИК	7,5 – 9,2	7,5 – 9,2		
	10,2 – 11,5	10,2 – 11,5		
	11,5 – 13,5	11,5 – 13,5		
Поле зрения, угл. град.	96	5	5	4,67
Линейное разрешение, м при $H=0,2; 2; 10$ км	0,3 (1,5) – 1,2 (6)	0,08 (0,4) – 0,2 (1)	2; 4 – 10; 20 ( $H=200, 400$ км)	0,01 – 0,5
Точность определения температур, град.	0,03	0,1	0,1	0,1

Высокое геометрическое и энергетическое разрешение цифровых тепловых снимков позволяет использовать их для картографирования подземных коммуникаций, выполнять оперативный и производительный мониторинг инженерных систем.

Тепловую аэросъемку совместно со съемкой в видимом диапазоне и других зонах спектра (мультиспектральная съемка) применяют в экологических приложениях для обнаружения и мониторинга различных загрязнений: сбросы городских коллекторов, загрязнения акваторий нефтепродуктами, определение засоления почв, зон подтопления и т. п.

В сфере управления лесными ресурсами по материалам тепловой съемки проводят таксационные работы, определяют состояние древесно-кустарниковой растительности, обнаруживают и осуществляют мониторинг лесных пожаров.

В сельском хозяйстве тепловые снимки используют для оценки урожайности сельскохозяйственных культур, оценки качественного состава почвенного покрова, определения зон и степени воздействия вредителей и болезней растений.

Тепловые снимки применяют для обнаружения месторождений углеводородного сырья с помощью специальных методов обработки изображений.

#### ■ 5.4. Оптико-электронные съемочные системы

---

Оптико-электронные съемочные системы (ОЭСС), при использовании технологий компьютерной фотограмметрической обработки снимков, получили широкое применение. Использование в ОЭСС в качестве приемника излучения (сенсора) прибора с зарядовой связью (ПЗС) расширяет класс съемочных систем, имеющих на выходе цифровое изображение.

Принцип работы прибора с зарядовой связью заключается в следующем. Светочувствительный слой представляет собой сетку кремниевых фотодиодов, расположенную за оптической системой. Каждый кремниевый фотодиод соединен с ячейкой хранения заряда. При воздействии светового потока в виде оптического изображения на фотодиод генерируется некоторое количество электрического заряда пропорционально падающему потоку. Заряд переносится в ячейку хранения заряда (ячейку памяти). Из ячеек памяти информация последовательно считывается и преобразуется в цифровой код (цифровое изображение).

При использовании в качестве сенсора ПЗС-матрицы снимок формируется аналогично закону построения в кадровых топографических аэрофотоаппаратов. Если сенсором служит ПЗС-линейка, то изображение (снимок) состоит из множества сканов, полученных при ее экспонировании. Каждый скан создается в результате поступательного движения летательного аппарата (рис. 5.3).

Линейное разрешение ОЭСС зависит от размера элементов (фотодиодов), составляющих ПЗС-матрицу или ПЗС-линейку. Их количество в современных цифровых съемочных системах достигает 80 млн элементов и более, что обеспечивает разрешающую способность близкой к фотографической. Использование ПЗС-матриц в качестве сенсора при создании формата снимка  $18 \times 18$  см,  $23 \times 23$  см ограничено технологической возможностью изготовления матриц большого размера. Обычно сенсор кадровых ОЭСС состоит из 4, 9 или более

## ГЛАВА 5. НЕФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

ПЗС-матриц. Каждая матрица служит для фиксирования изображения. Изображение каждой ПЗС-матрицы перекрываетается с соседними. С помощью программных средств, используя перекрывающиеся части снимков малого формата, формируется квазиснимок большего размера, для которого рассчитывается фокусное расстояние. Например, черно-белый сенсор аэрокамеры ULTRA CAM D фирмы Vexcel состоит из 9 матриц, имеет размер изображения  $11500 \times 7500$  pxl, при этом размер пикселя равен 9 мкм; разрешение на местности при высоте съемки 500 м (300 м) соответственно — 5 и 3 см; фокусное расстояние сменных объективов 75,100,125 мм, производительность — 1 снимок в секунду; объем записанной информации более 1,5 терабайта при количестве снимков 2775; съемка может производиться в четырех спектральных каналах — R, G, B (красный, зеленый, голубой) и ближний инфракрасный.

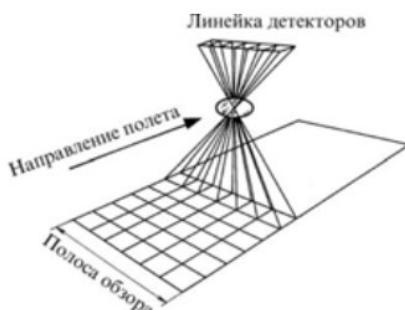


Рис.5.3. Схема построения изображения линейкой ПЗС

Аэрокамера DMC фирмы ZI имеет сенсор, состоящий из четырех матриц с общим количеством пикселей  $13\,500 \times 8000$ ; фокусное расстояние 40 – 120 мм.

Из зарубежных систем наиболее известна французская система SPOT с разрешением в черно-белом варианте (панхроматический спектральный интервал) 10 метров. Американской фирмой POSITIV SISTEMS разработан цифровой 4-канальный сканер ADAR SISTEM 5500 для легкого самолета. Спектральные интервалы изменяются с помощью набора сменных светофильтров. Разрешение на местности 0,5 м (3,0 м), при высоте полета  $H = 1100$  м (6600 м) и захвате на местности площади  $750 \times 500$  м ( $4500 \times 3000$  м).

Фирмой LH Systems создана самолетная цифровая система ADS-80. В основу положена схема сканера с тремя парами линеек ПЗС, расположенных в фокальной плоскости объектива. Пары линеек смешены относительно друг друга на половину элемента. Число элементов в каждой одинарной линейке равно 12 000 — в сдвоенной линейке получается разрешающая способность, как при использовании линейки, состоящей из 24 000 элементов. Поэтому использование сдвоенной линейки со смещением обеспече-

чивает увеличение разрешающей способности в два раза. Парные ПЗС-линейки расположены параллельно таким образом, что съемка в видимой зоне спектра производится первой парой линеек в направлении «вперед», второй — «отвесно», а третьей — в направлении «назад». Кроме сдвоенных линеек, работающих интегрально в видимой зоне, в фокальной плоскости располагаются четыре одинарных линейки для проведения многозональной съемки в узких зонах спектра:  $\lambda = 430 - 490$  нм,  $\lambda = 535 - 585$  нм,  $\lambda = 610 - 660$  нм и  $\lambda = 835 - 885$  нм.

Разрешение на местности в направлении полета составляет около 25 см. Время считывания информации с линеек равно 1,2 м/сек. Поэтому для исключения разрывов и наложений строк на изображении необходимо согласование скорости полета носителя и высоты съемки. Разрешающая способность ADS-80 сопоставима с топографическими аэрофотоаппаратами. Изображения, полученные ADS-80, используют для целей крупномасштабного картографирования.

Геометрические свойства сканерных изображений, подобных ADS-80, отличаются от снимков, полученных топографическими АФА. Каждая из строк представляет собой центральную проекцию узкой полосы земной поверхности. Причем каждая строка формируется из отдельных элементов изображения (пикселей), соответствующих определенным площадкам на местности, при различных пространственных положениях (линейных и угловых) летательного аппарата. Геометрические особенности изображений, полученных ОЭСС, накладывают определенные требования к математическому аппарату и специальному программному обеспечению, позволяющему учесть их при дальнейшей фотограмметрической обработке.



Рис. 5.4. Изображение, полученное ОЭСС

## ■ 5.5. Лазерные съемочные системы

Лазерные аэро- и космические съемочные системы относят к активным съемочным системам, работающим в оптическом диапазоне. В основе лазерной съемки заложен принцип работы светодальномера без отражателя — лазерная локация.

Отражателем является поверхность снимаемого объекта. В качестве облучателя используют полупроводниковый лазер, генерирующий излучение в ближней ИК-зоне в импульсном режиме (например, с частотой 150 кГц).

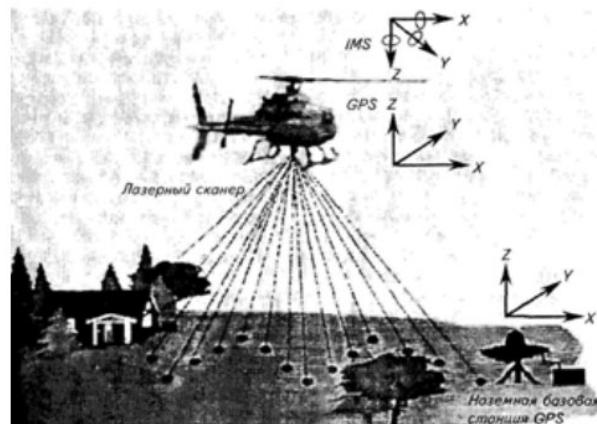


Рис. 5.5. Схема лазерной съемки

С помощью лазера производят направленное облучение поверхности. Сигнал, отраженный от элементарной площадки земной поверхности (объекта), принимает оптическая система.

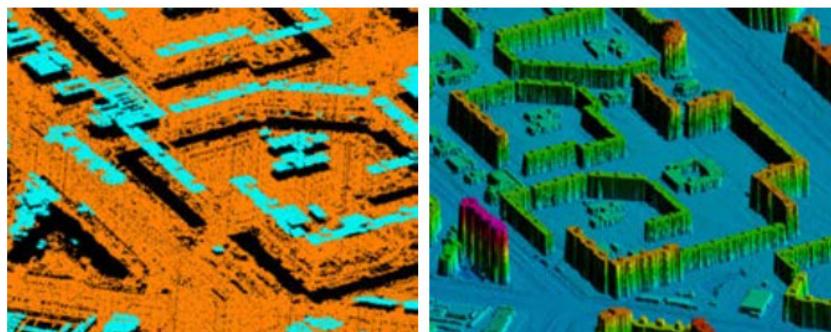
При каждом элементарном измерении в процессе сканирования регистрируются наклонная дальность до площадки отражения и направление относительно осей системы координат лазерного локатора (рис. 5.5). Положение локатора в геодезической системе координат ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) определяется бортовым GPS/ГЛОНАСС-приемником. Углы наклона и разворота зондирующего луча относительно осей геодезической системы координат определяются с помощью инерциальной аппаратуры. Это позволяет получить после обработки результатов измерений геодезические координаты элемента поверхности, вызвавшего отражение зондирующего луча. Точность пространственных координат обратно пропорциональна высоте съемки. Результат съемки — цифровое трехмерное изображение. Далее приведены технические характеристики авиационного лазерного сканера ALMT-1020 фирмы Optech Inc, Канада:

## ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ

высота съемки $H$ , м	80 – 2000
точность определения:	
высота точки местности, см	15 ( $H = 1200$ м) – 25 ( $H = 2000$ м)
плановых координат $X$ , $Y$ точки местности	1/2000 высоты полета $H$
ширина полосы сканирования	0,72 $H$
частота сканирования, Гц	до 100
импульсы лазера	50
минимально различимый элемент местности (разрешение) с высоты 300 м, см	25

В зависимости от типа лазерного локатора при съемке можно фиксировать до 5 отражений для каждого направления визирования. Это означает, что при одном элементарном измерении могут быть получены отклики от нескольких пространственных компонентов объекта. Например, последовательно от проводов линии электропередачи, лиственного покрова леса, поверхности земли.

Лазерные изображения получают в два этапа. На первом этапе сканером выполняется регистрация результатов измерений множества элементарных площадок — точек локационного отражения (ТЛО). Множество ТЛО называют «облаком точек», каждая из которых имеет координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .



Облако точек лазерных отражений для застроенной территории

3-мерная модель местности, построенная по ТЛО, представленная сеткой треугольников

Рис. 5.6. Результаты лазерной съемки

Например, модель лазерного сканера ALMT-3100 канадской фирмы Optech Inc имеет рабочую частоту зондирующих импульсов 100 Гц и обеспечивает плотность сканирования земной поверхности до 10 точек на  $1\text{ м}^2$ .

На втором этапе осуществляют компьютерную обработку результатов измерений и визуализацию изображения (рис. 5.6). Про-

## **ГЛАВА 5. НЕФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

---

граммными средствами можно исключить из обработки любой из откликов, задавая тем самым тематическую направленность преобразованных снимков. Например, оставить отклики от поверхности объекта и тем самым получить информацию о рельефе. Обработка результатов измерений может производиться на борту летательного аппарата.

Лазерные съемочные системы применяют для построения профилей рельефа на территориях, закрытых лесами, и создания цифровой модели рельефа местности. Их применение эффективно при обследовании линий электропередачи, батиметрической съемки внутренних водоемов и шельфа, инвентаризации и мониторинга лесов, мониторинга крупных инженерных объектов, например, открытых разработок полезных ископаемых.

При съемке городов и населенных пунктов получаемое трехмерное изображение позволяет успешнее проводить работы по организации территорий, оптимизировать размещение приемопередатчиков мобильной телефонной связи для достижения уверенного приема сигналов.

Помимо лазерных сканеров, используемых с воздушных и космических носителей, существуют наземные лазерные сканеры. Принцип работы этих съемочных систем аналогичен рассмотренным сканерам. Изображения, получаемые ими, применяются для изучения деформаций зданий и промышленных сооружений, составления фронтальных планов сложных архитектурных сооружений и т. п.

Обработку данных лазерного сканирования производят в специализированных программных комплексах, например Terra Scan H и Terra Modeler на базе MicroStation.

## **■ 5.6. Радиофизические съемочные системы**

---

Создание радиофизических съемочных систем основано на использовании радиоволн в качестве носителя информации об объектах земной поверхности. Их разделяют на два класса: использующие метод активной радиолокации и регистрирующие собственное излучение объектов в радиодиапазоне.

Из систем, относящихся к первому классу, наибольшее применение получили *радиолокационные станции бокового обзора* (РЛС БО). В основе их работы заложены принципы радиолокации. Генератор, установленный на борту летательного аппарата, вырабатывает радиоволны определенной длины, амплитуды, поляризации. С помощью антенны радиоизлучение (рис. 5.7) в виде плоского луча (1) направляется на земную поверхность (2) перпендикулярно направлению полета (3).

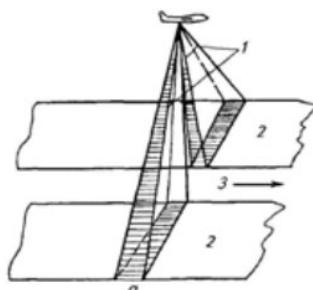


Рис. 5.7. Схема радиолокационной съемки

Длины радиоволн, используемые при съемке, находятся в диапазоне от 1 см до 1 м и более. Режим излучения может быть непрерывным или импульсным. После взаимодействия с объектами поверхности происходит модулирование несущего сигнала, изменяются его исходные характеристики. Степень модулирования определяется физическими и химическими свойствами объекта. Отраженный модулированный сигнал воспринимает приемная антенна, происходит построчная запись с последующей визуализацией результатов радиолокации. Яркость изображения объекта зависит от энергии возвратившегося сигнала. Прямолинейность распространения радиоволн, их чувствительность к изменению рельефа при отражении создают определенную специфику радиолокационного изображения. Она выражается в значительной изменчивости яркости изображений и сложной геометрии снимка. Первичную обработку результатов съемки выполняют на борту летательного аппарата или на земле. Геометрические искажения уменьшаются в результате выполнения геометрической коррекции снимка. Результат съемки — непрерывная полоса радиолокационного изображения. Аэросъемку выполняют со стандартных высот, например  $H = 3,5; 5; 6,5; 10,5$  км, при этом полоса обзора достигает ширины 15 и 37,5 км. Масштаб изображения неодинаков в продольном и попечном направлении. Разрешение РЛС БО уступает фотографическому. В таблице 5.2 представлены некоторые типы РЛС.

Таблица 5.2

Характеристики отечественных радиолокационных съемочных систем для первого (1) и второго (2) режимов съемки

Параметры	РЛС БО-Д		РСА-0		РСА-23	
	1	2	1	2	1	2
Диапазон, см	3	3	9–10	9–10	23	23
Полоса обзора, км	$2 \times 450$	200	180	$2 \times 180$	200	100
Разрешение, м	1000–2600	100–200	100–200	20	200	50
Угол наблюдения, град.	21–46	20–50	15–50	15–50	20–50	20–50

## ГЛАВА 5. НЕФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

Продольное разрешение зависит от размеров антенны и частоты используемых радиоволн. Усовершенствованные радиолокационные станции позволяют получить разрешение по полу снимка при съемке из космоса до 1 м, например, TerraSAR-X (Германия) (рис. 5.8). Преимущество радиолокационных съемок — независимость от погодных условий. Съемку можно проводить при сплошной облачности, в туман и даже дождь, поэтому РЛС-съемку называют «всепогодной». Она незаменима в районах, где погодные условия не позволяют использовать иные съемочные системы. Современные технологии обработки снимков делают возможным использования РЛС-снимков для картографических целей.

Радиолокационную съемку применяют в различных областях: изучение водных поверхностей; определение границ береговых линий (рис. 5.9), овражной сети, зон подтопления; мониторинг сельскохозяйственных культур, определение состояния посевов; изучение ледовой обстановки; мониторинг движения судов; мониторинг распространения нефтяных загрязнений; всепогодное наблюдение за природными и антропогенными катастрофами (наводнения, штормы, землетрясения, оползни, извержения вулканов); определение состава и состояния лесов, мониторинг вырубок; мониторинг смещений земной поверхности и сооружений; построение цифровых моделей местности (ЦММ) масштаба 1:10 000 и рельефа (ЦМР) с точностью 2 – 4 м; наблюдение за состоянием трубопроводов, железных дорог, контроль и управление городской средой и т. п.



Рис. 5.8. Радиолокационный снимок, полученный системой TerraSAR-X



Рис. 5.9. Радиолокационный снимок, полученный системой Radarsat-2

Сверхвысокочастотную радиометрию относят к пассивным методам исследования поверхности Земли. Ее выполняют с помощью СВЧ-радиометров, измеряющих собственное излучение объектов в нескольких каналах в спектральном интервале 0,15 – 30 см. Способы построения изображения и передачи информации на наземные пункты приема аналогичны применяемым при РЛС-съемке. Линейное разрешение СВЧ-радиометров в зависимости от типа прибора может быть от нескольких метров до десятков и более километров. Точность определения температур уступает тепловым съемочным системам. Достоинством СВЧ-съемки является то, что воспринимаемый радиометрами сигнал формируется в глубине изучаемого объекта и поэтому несет информацию о глубинных процессах.

В практике проведения аэро- и космических съемок часто применяют комплексное использование съемочных систем разных типов. Это позволяет получать разнoplановую информацию об исследуемых объектах. Например, комплект съемочных средств может состоять из:

- цифрового аэрофотоаппарата для получения цифровых цветных или спектрозональных изображений;
- цифровой лазерной системы, применяемой для создания модели рельефа;
- тепловизионного сканера, позволяющего получать изображение подземных коммуникаций.

---

#### Контрольные вопросы

1. Какие преимущества имеют кадровые телевизионные системы перед фотографическими?

## **ГЛАВА 5. НЕФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

---

2. Как строится изображение в сканирующих системах? Каковы преимущества и недостатки сканеров по сравнению с кадровыми съемочными системами?
3. В чем заключается принцип получения изображения в тепловых съемочных системах?
4. Какие достоинства имеют цифровые съемочные системы?
5. Каковы особенности в получении изображений лазерными съемочными системами?
6. В чем заключается метод активной радиолокации?

## Глава 6. Производство аэрофотосъемки

Цели изучения:

- знать основы выполнения аэро- и космических съемок;
- уметь составить заказ на проведение аэрофотосъемки;
- уметь выполнить техническую оценку материалов аэрофотосъемки.

### 6.1. Технические показатели аэрофотосъемки

При создании топографической основы фотограмметрическим методом используют снимки, полученные отечественными аэрофотоаппаратами типа АФА-ТЭ, АФА-ТЭС, а из зарубежных применяются LMK, RMK, RC-30 (Leica).

В качестве основных носителей съемочной аппаратуры применяют самолеты АН-2, АН-30, ИЛ-20М. В некоторых случаях съемку производят с вертолетов, мотодельтапланов, воздушных шаров и иных летательных аппаратов.

Таблица 6.1

Характеристики основных воздушных носителей

Показатель	Тип самолета		Вертолет КА-26
	АН-2	АН-30	
Диапазон скоростей, км/ч	140 – 250	240 – 490	0 – 160
Практический потолок, м	4500	8900	3100
Взлетная дистанция, м	690	1240	
Продолжительность полета, ч	7	6	3,5
Эксплуатационная скорость, км/ч	180 – 210	450 – 475	140
Дальность полета, км	1200	2300	400



а



б

Рис. 6.1. Самолеты АН-2 (а) и АН-30 (б), применяемые для аэрофотосъемки

## ГЛАВА 8. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Широкое применение получила аэрофотосъемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) цифровыми полупрофессиональными фотоаппаратами. При необходимости срочного обновления электронных карт, а также мониторинга изменений на небольших рассредоточенных в пространстве территорий применение БПЛА эффективнее по сравнению с использованием пилотируемых летательных аппаратов. Применение пилотируемой, пусть даже и малой авиации, будет приводить к неоправданным экономическим затратам.

Использование легко доставляемой к объекту съемки дистанционно управляемой авиамодели, оборудованной необходимой съемочной аппаратурой, позволяет оперативно выполнять аэрофотосъемочные работы даже при отсутствии устойчивых погодных условий, необходимых для выполнения традиционной АФС. Для применения БПЛА достаточно кратковременного «окна» хорошей погоды. Кроме этого, возможность съемки с малых высот позволяет ее проводить при низкой сплошной облачности.



Рис. 6.2. Портативная базовая станция

На борту БПЛА располагают GPS/ГЛОНАСС-приемник, что позволяет точно производить навигацию и съемку местности. Оператор на рабочем месте — наземной станции управления — контролирует и управляет процессом аэрофотосъемки. На экране монитора в реальном времени отображается информация о полете: скорость, высота, расстояние, маршрут, настройка автопилота, расход топлива и др. Результаты съемки могут передаваться по радиоканалу. Как пример приведены технические показатели беспилотного аэросъемочного комплекса «Птеро-СМ»:

Автоматический взлет	с пневматической катапульты
Автоматический полет	по заданной программе
Автоматическая посадка	на парашюте
Количество взлетов-посадок	300
Количество взлетов-посадок до очередного ТО	25
Площадка для взлета и посадки	100 × 70 м
Предельная ветровая нагрузка на старте	до 8 м/с

## ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ

Влажность	до 95 %
Диапазон эксплуатационных температур	–35... + 45 °C
Взлетная масса БЛА с полной нагрузкой	20 кг
Масса полезной нагрузки	до 5 кг
Дальность полета (с полезной нагрузкой 5 кг)	700 км
Дальность полета (с полезной нагрузкой 3 кг)	1200 км
Практический потолок	3000 м
Бортовой навигационный приемник	GPS/ГЛОНАСС

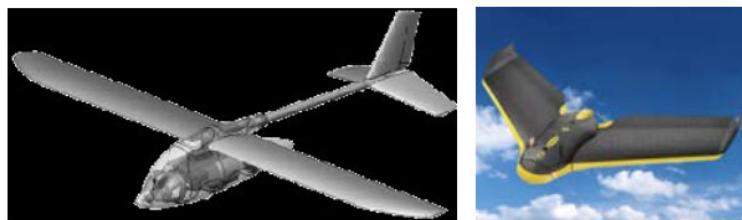


Рис. 6.3. Внешний вид беспилотных летательных аппаратов

В настоящее время для локальной аэрофотосъемки применяют квадракоптеры и гектокоптеры — легкие беспилотные летательные аппараты, соответственно снабженные четырьмя или шестью двигателями.

Комплекс аэрофотосъемочных работ состоит из нескольких этапов:

— разработка технического задания (проекта), включающего технические параметры съемки: границы участка съемки, высоту и масштаб фотографирования, фокусное расстояние АФА, продольное и поперечное перекрытие снимков, тип аэрофотопленки, сроки съемки и т. д. При использовании современных технических средств производства аэрофотосъемки, таких как навигационная система GPS/ГЛОНАСС и компьютерная система управления полетом и работой аэрофотоаппарата, разработка задания имеет свои особенности. На первом этапе получают координаты проектируемых центров фотографирования, т. е. точек в которых произойдет открытие затвора АФА (экспонирование). Для этого на топографическую карту масштаба 1:М = 1:100000 наносят заданную границу участка (объекта) аэрофотосъемки. Затем определяют координаты поворотных точек границы участка съемки, которые вводят в бортовой компьютер. В компьютер также вводят масштаб аэрофотосъемки, величину продольного и поперечного перекрытия, фокусное расстояние и формат снимков. По этим данным вычисляют координаты проектируемых центров фотографирования в системе координат WGS-84;

— подготовка аэрофотосъемочного оборудования, полетного задания и т. п.;

— аэрофотографирование: съемку выполняют в ясную солнечную погоду, при отсутствии облаков. В случае, когда высота съемки мень-

## **ГЛАВА 8. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ**

ше, чем нижний уровень сплошной облачности, проводят съемку, называемую «съемкой под зонтиком». При подобной съемке на полученных снимках отсутствуют тени от высоких построек, сооружений, деревьев, закрывающих на снимках мелкие детали и объекты;

– фотолабораторная обработка аэрофильмов (проявление, фиксирование, сушка, нумерация негативов, контактная печать аэроснимков) — при использовании топографических АФА;

– составление накидного монтажа и изготовление его репродукции, оценка фотографического и фотограмметрического качества материалов аэрофотосъемки;

– сдача материалов аэрофотосъемки заказчику.

По экономическим соображениям аэрофотосъемку производят в масштабе мельче масштаба создаваемого плана. По масштабу фотографирования съемку разделяют на: крупномасштабную ( $1:m > 1:15\,000$ ), среднемасштабную ( $1:16\,000 < 1:m < 1:50\,000$ ), мелкомасштабную ( $1:m < 1:51\,000$ ) и сверхмелкомасштабную ( $1:m < 1:200\,000$ ).

Аэрофотосъемку в зависимости от угла отклонения оптической оси объектива АФА от вертикали делят на плановую и перспективную.

*Плановой* называют аэрофотосъемку, выполняемую при вертикальном положении оптической оси, при этом угол отклонения допускается до  $3^\circ$ .

Использование гиростабилизирующих аэрофотоустановок при фотографировании местности позволяет получить снимки с углом наклона  $5 - 10$  мин (предельное значение угла  $40$  мин).

При *перспективной* съемке угол отклонения оптической оси от вертикали может достигать  $45^\circ$ . Ее выполняют для увеличения зоны захвата снимаемой местности при обзорных или рекогносцировочных работах.

При планово-перспективной съемке используют несколько аэрофотоаппаратов одновременно — одним АФА производят плановую съемку, другими перспективную. Это позволяет фотографировать полосу местности практически до горизонта.

По количеству и расположению снимков различают однокадровую (одинарную), маршрутную и многомаршрутную (площадную) аэрофотосъемку.

При *однокадровой* аэрофотосъемке получают одиночные снимки участков земной поверхности.

При *маршрутной* аэрофотосъемке изображение полосы местности представляется в виде некоторого количества снимков, полученных по направлению (маршруту) полета летательного аппарата. Маршрут полета может быть прямолинейным, криволинейным или ломанным. Это зависит от вида фотографируемого объекта и целей съемки. Например, при обследовании или проектировании линейных объектов (дорог, трубопроводов, линий электропередачи, каналов и т. п.) съемку производят по криволинейным или ломанным маршрутам.

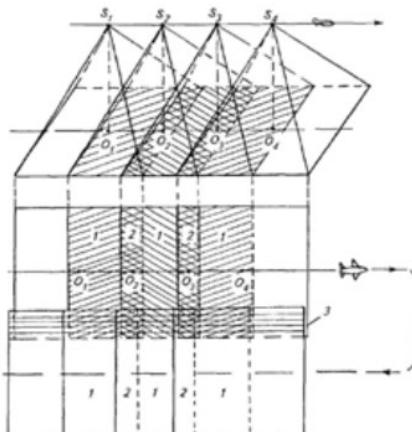
*Многомаршрутная* (площадная) фотосъемка представляет собой получение снимков местности с нескольких параллельных маршрутов (рис. 6.4). Маршруты прокладываются чаще всего по направлениям восток – запад – восток или север – юг – север. Площадная аэрофотосъемка применяется при картографировании или обследовании больших территорий. Если аэрофотосъемку производят в целях инвентаризации населенных пунктов, маршруты могут иметь произвольное направление.

Одномаршрутную и многомаршрутную аэрофотосъемку, производимую с помощью кадровых АФА, выполняют с перекрытиями соседних снимков. Перекрытиями называют части аэроснимков, на которых изображена одна и та же местность. Величину перекрытий выражают в процентах от длины стороны снимков.

*Продольным перекрытием*  $p_x$  называют взаимное перекрытие снимков одного маршрута. Оно рассчитывается по формуле

$$p_x = (l_x \cdot 100\%) / l, \quad (6.1)$$

где  $l_x$  — размер перекрывающихся частей снимка;  $l$  — длина стороны снимка по направлению маршрута.



## ГЛАВА 6. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ

перекрытие и т. д. Для каждого стандартного значения продольного перекрытия определены минимальные и максимальные пределы.

Величина продольного перекрытия обеспечивается частотой (временным интервалом) включения АФА, которая зависит от высоты фотографирования и путевой скорости летательного аппарата. Расстояние между соседними точками фотографирования в маршруте называется базисом фотографирования и обозначается  $B_x$ .

Поперечное перекрытие  $p_y$  — перекрытие снимков соседних маршрутов. Оно зависит от расстояния  $B_y$  между ними. Поперечное перекрытие определяется по формуле:

$$p_y = (l_y \cdot 100\%) / l, \quad (6.2)$$

где  $l_y$  — размер перекрывающейся части снимков двух смежных маршрутов.

Минимальное поперечное перекрытие — 20 %. Расстояние между маршрутами (рис. 6.5) рассчитывают по формуле

$$B_y = l_y \cdot m \cdot (100\% - p_y) / 100\%, \quad (6.3)$$

где  $l_y$  — длина поперечной стороны снимка;  $m$  — знаменатель масштаба аэрофотосъемки;  $p_y$  — заданное поперечное перекрытие.

Продольные и поперечные перекрытия позволяют определить центральную часть снимка, где его геометрические и фотометрические искажения минимальны. Эта часть снимка называется *рабочей площадью* снимка. Рабочая площадь снимка, ограниченная линиями, проходящими через середины двойных продольных и поперечных перекрытий, называется *теоретической* (рис. 6.5).

Размеры ее сторон  $b_x$  и  $b_y$  по соответствующим осям  $x$  и  $y$  рассчитываются по формулам:

$$b_x = l \cdot (100\% - p_x) / 100\%. \quad (6.4)$$

$$b_y = l \cdot (100\% - p_y) / 100\%. \quad (6.5)$$

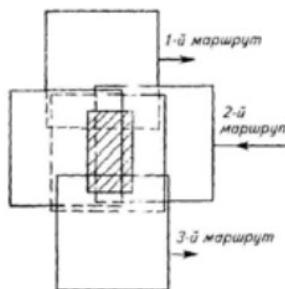


Рис. 6.5. Рабочая площадь снимка

Теоретическую рабочую площадь используют при расчетах, а практическую — при выполнении фотограмметрических работ. Она может выходить за пределы теоретической рабочей площади.

## ■ 6.2. Оценка качества результатов аэрофотосъемки

*Организация заключения договора на аэрофотосъемку.* Аэрофотосъемочные работы выполняют как государственные предприятия (аэрофотосъемочные отряды), так и различные фирмы, имеющие лицензии на производство аэрофотосъемки. Заказчиком может быть любая организация, у которой есть разрешительные документы на работу с материалами аэрофотосъемки.

Порядок заказа аэрофотосъемки состоит из следующих основных этапов.

Организация-заказчик направляет письменное предложение фирме-исполнителю, в котором указывает местоположение участка снимаемой местности (на мелкомасштабной карте наносят границы объекта съемки), его площадь, сроки съемки, тип АФА и т. п.; заказчик составляет и согласует с исполнителем техническое задание на выполнение аэрофотосъемки. В задании отмечают технические параметры съемки: назначение съемки, высоту фотографирования, фокусное расстояние АФА, съемочный масштаб, тип аэрофотоаппарата, тип аэрофотопленки и светофильтра, использование специальной аппаратуры, сопровождающей аэрофотосъемку (приборов GPS/ГЛОНАСС или иных), тип летательного аппарата. Указывают условия проведения аэрофотосъемки: примерные сроки, высоту солнца. Подтверждают площади и местоположение участка. В соответствии с техническим заданием исполнитель определяет стоимость комплекса аэрофотосъемочных работ, которую согласует с заказчиком. Заказчик и исполнитель составляют договор на выполнение аэрофотосъемки.

После выполнения аэрофотосъемочных работ оценивают качество материалов аэрофотосъемки. Порядок выполнения аэрофотосъемки состоит из:

- получения разрешений на проведение аэрофотосъемки и их согласования с компетентными органами в области выполнения такого вида работ;
- получения от заказчика утвержденных и подписанных руководством организации списков объектов, подлежащих аэрофотосъемке, и копий топографических карт масштаба 1:100 000 в СК-42 с границами административных районов и объектов аэрофотосъемки;
- подбора картографических материалов для проектирования аэрофотосъемки и сверки списков наименований объектов аэрофотосъемки с их наименованиями на топокартах;

## **ГЛАВА 8. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ**

- согласования списков наименования объектов аэрофотосъемки и их площадей в случае разнотечений;
- составления блоков аэрофотосъемки, которые формируются по принципу административных границ районов, а также экономической целесообразности полета воздушного судна в пределах конкретного объекта съемки и зависят от наличия в районе аэрофотосъемки аэродромов базирования, зон закрытых для полетов, зон ограничения полетов и границ со-предельных государств.

Проект составляется на дигитайзере по топографическим картам масштаба 1:100 000 и позволяет получить проект аэрофотосъемки, выполненный в спутниковой навигационной системе Ascot, что позволяет в точности реализовать запланированные маршруты и точки съемки, а определение координат центров фотографирования делает возможной дальнейшую обработку материалов аэрофотосъемки, снижающей объемы наземной привязки, но одновременно увеличивающей полетное время за счет меньших углов разворота, тем самым увеличивая радиус разворота для наилучшего приема сигналов навигационных спутников. Так, например, при выполнении аэрофотосъемки масштаба 1:40 000 с использованием фотокамеры RC-30 имеется возможность определения координат центров фотографирования с точностью не хуже 1 м.

Аэрофотосъемки проводятся с самолетов АН-30, сертифицированных для проведения аэрофотосъемочных работ. Воздушное судно должно иметь установочное место, позволяющее установить аэрофотосъемочный комплекс, в который входит гиростабилизирующая платформа РАВ-30, аэрофотоаппарат, визир, компьютер АСУ, GPS-антenna и навигационная система Ascot, что предполагает наличие в самолете двух фотолюков с термообдувом, электропривод открывания люка из салона самолета бортоператором и автопилота разворота.

Аэрофотосъемка проводится по проекту, составленному в программе Ascot. Установленная на борту GPS-система позволяет выдерживать направление линий маршрута полета самолета с уклонением не более 100 м, т. е. выполнять самолетовождение в соответствии с запланированной схемой полета, а также измерять и запоминать координаты точки центра фотографирования (КЦФ) каждого кадра, что позволяет в любое время и в любом месте по тем или иным причинам прервать полеты и выйти на ту же (конкретную) точку маршрута в любое другое время.

Система Ascot основана на использовании методов GPS для управления летносъемочными работами, и главным образом для выполнения съемок для целей стереофотограмметрии. С ее помощью имеется возможность достаточно легко выполнять графическое планирование полета, получать навигационную информацию в ходе всех

## ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ

этапов выполнения полета, автоматически управлять всеми бортовыми сенсорами (в особенности аэрофотосъемочными камерами), регистрацией необработанных данных GPS и выполнять апостериорную оценку точности полученных данных. Оборудование и программные компоненты данной системы разработаны специально для бортового использования. Планирование полета можно производить с помощью дигитайзера, мыши или цифрового ввода. Ascot поддерживает три различных типа проектирования: «блоки», «маршруты» и «точки». Проект может содержать все типы планирования.

Аэрофотосъемка выполняется на аэропленку AGFA PAN-200 для крупного масштаба и PAN-80 для масштаба 1:40 000, размер кадра 23 × 23 см. Для получения КЦФ необходимо выставить базовую станцию: двухчастотный GPS-приемник с дискретностью записи информации в 1 секунду, которую необходимо привязать GPS-методом к общей сети в системе координат WGS-84.

Расстояние от станции до воздушного судна не должно превышать 100 км. Например, при АФС масштаба 1:40 000 точность определения КЦФ будет не хуже 1 м в плане. Для масштаба АФС 1:10 000 эта величина не будет превышать 20 см в плане при условии удаления воздушного судна от базовой станции не более 50 км.

Цифровая аэрофотосъемка выполняется с использованием авиационного цифрового сенсора ADS-40, в комплект которого входят: головная часть SH-40, бортовой навигационный компьютер CU-40, гиростабилизирующая установка PAV-30, блок памяти ММ 40 – 500 Гб.

Инерциальная система IMU, входящая в состав аэрофотоаппарата, имеет ограничения на время непрерывного прямолинейного полета. При скорости самолета в 360 км/ч это ограничивает длину маршрута до нескольких десятков километров.

Установленная на борту воздушного судна аeronавигационная система Ascot позволяет производить самолетовождение в соответствии с запланированной схемой полета.

Данные GPS обрабатываются совместно с данными инерциального устройства IMU. Это накладывает ограничения на удаленность воздушного судна от референцной станции (50 км), на которой сохраняется необходимая точность. Кроме того, наличие хорошего созвездия навигационных спутников является необходимым условием получения изображения. Малое количество спутников или их неблагоприятное расположение не позволяют выполнить съемку. Окончательная обработка информации производится в отделе фотограмметрии.

Проявка отснятых аэрофильмов производится в фотолаборатории ОАР согласно технологии обработки экспонированной аэропленки AGFA PAN-200 и PAN-80 на проявочной машине GEVATON. Проявка одного аэрофильма осуществляется приблизительно за 2 часа.

## **ГЛАВА 8. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ**

При условии положительной оценки качества проявленного аэрофильма производится его нумерация на приборе «Фильммастер».

Создание производных материалов аэросъемки: контактной печати, увеличенной печати, репродукций накидного монтажа производится в фотолаборатории ОАР на контактных принтерах «SCANOTRON P-11» с выдержкой от 6" до 25". Проявка контактной печати выполняется на машине RAPILINE с производительностью примерно 40 – 50 снимков в час.

Затем выполняется составление накидного монтажа и изготовление его репродукций. Заключительным этапом аэросъемочного процесса и создания его производных в ОАР является составление паспорта аэрофотосъемки.

**Оценку качества материалов аэрофотосъемки** выполняют с целью выявления соответствия реально полученных результатов требованиям технического задания и существующим нормативам, значения которых определены инструкциями и наставлениями по производству аэрофотосъемок. Оценивают фотографическое и фотограмметрическое качество материалов аэрофотосъемки.

*Фотографическое качество* зависит от состояния атмосферы, освещения объекта съемки, технических условий проведения аэрофотографирования, фотохимической обработки. При визуальной оценке на аэрофотонегативах не должно быть обнаружено механических повреждений, изображений облаков, теней от них, бликов, ореолов. Изображение на снимках должно быть резким, с хорошей проработкой деталей в светлых и темных участках. Оптическая плотность (тон) и контрастность должны соответствовать нормативам. При визуальном способе для сравнения можно использовать снимки-эталоны. Этalonными являются снимки, фотографическое качество которых оценено высококвалифицированными специалистами-экспертами. Применение приборов позволяет более точно и объективно оценить фотографическое качество аэрофотоизображений.

*Фотограмметрическое качество* материалов аэрофотосъемки оценивают по следующим критериям.

1. Определяют продольные и поперечные перекрытия. Величина перекрытий определяется с помощью специальной линейки, позволяющей измерять перекрытия в процентах. Если аэрофотосъемка выполнена с продольным перекрытием 60 или 80 %, минимальное значение перекрытия допускается соответственно 56 и 78 %. Минимальное поперечное перекрытие допускается 20 %. Обычно определение перекрытий выполняют по накидному монтажу.

*Накидным монтажом* называют временное соединение контактных снимков, осуществляемое совмещением (наложением) их перекрывающихся частей. В результате получают непрерывное фотографическое изображение снятой территории.

Снимки укладывают и закрепляют на специальных деревянных щитах, иногда покрытых пробковым слоем. При 80%-ном перекрытии снимки укладываются через один, при 90%-ном — через два. Независимо от величины продольного перекрытия обязательно используют крайние снимки маршрутов. Укладываются снимки таким образом, чтобы номера снимков были видимы на накидном монтаже. Снимки размещают на щите так, чтобы их номера располагались горизонтально. Номер может быть в правом верхнем углу или на южной (нижней) стороне снимка.

На первый закрепленный снимок укладывается второй из данного маршрута таким образом, чтобы максимально точно совместить изображения их перекрывающихся частей. Совмещают изображения способом «мельканий». Суть этого способа заключается в том, что на предыдущий снимок укладывается последующий так, чтобы изображения их перекрывающихся частей примерно совпали. Затем верхний снимок многократно в быстром темпе отгибают и прижимают к нижнему. При неточном совмещении снимков наблюдаемые изображения объектов будут перемещаться. Возникает эффект мультипликации. Для устранения перемещения положение верхнего снимка уточняют сдвигом в нужном направлении. После закрепления второго снимка аналогично укладываются остальные снимки маршрута. Снимки второго и последующих маршрутов укладываются также способом «мельканий», добиваясь совмещения изображений как в зонах продольных, так и поперечных перекрытий. При 30%-ном поперечном перекрытии монтируют все маршруты, при 60%-ном — через маршрут. При значительной территории съемочного участка составляют несколько накидных монтажей, каждый из которых, как правило, покрывает четыре смежные трапеции.

2. *Непрямолинейность аэрофотосъемочного маршрута.* Для ее определения находят главные точки крайних снимков маршрута. За главные точки принимают пересечение линий, соединяющих противоположные координатные метки. Затем соединяют прямой линией и измеряют расстояние между ними  $L$  (рис. 6.6). После этого

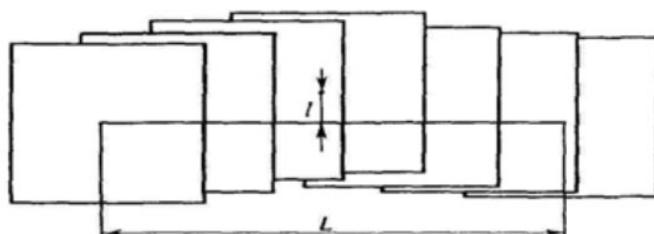


Рис. 6.6. Схема определения непрямолинейности аэрофотосъемочного маршрута

измеряют расстояние  $L$  от этой прямой до главной точки наиболее удаленного снимка. Это расстояние называется стрелкой прогиба

## ГЛАВА 8. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ

маршрута. Отношение стрелки прогиба к длине маршрута, выраженное в процентах, есть непрямолинейность маршрута.

$$n = I \cdot 100\% / L. \quad (6.6)$$

Величина непрямолинейности маршрута не должна превышать 2% при высоте фотографирования  $H$  более 750 м и в масштабе съемки 1: $m$  мельче 1:5000, и не более 3%, если  $H < 750$  м и 1: $m$  крупнее 1:5000.

3. Разворот снимка относительно направления маршрута («елочки») можно определять двумя способами: первый — путем измерения угла между линией  $xx$ , соединяющей координатные метки снимка, и базисом фотографирования (рис. 6.7); второй — измерением угла между осью маршрута и поперечной стороной снимка. Допустимые углы «елочки» при фокусных расстояниях 100, 140, 200, 350 и 500 мм соответственно равны 5, 7, 10, 12 и 14°.

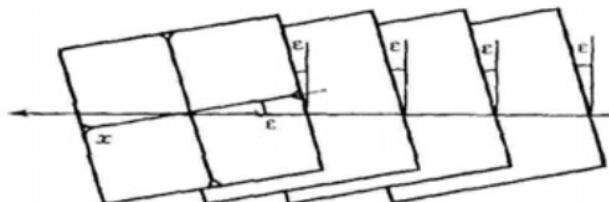


Рис. 6.7. Схема определения разворота снимка («елочки»)

4. Угол наклона снимка — отклонение главного оптического луча от вертикали. Угол наклона снимка можно определять по изображению круглого уровня, видимого в одном из его углов. Если на снимках нет изображений уровней, то углы наклона определяют фотограмметрическим способом. Как уже отмечалось, при плановой съемке углы наклона не должны превышать 3°.

После завершения работ по оценке качества материалов аэрофотосъемки выдают заключение о ее соответствии требованиям инструкции и техническому заданию. В случае несоответствия требованиям выполняют повторную (сплошную или выборочную) аэрофотосъемку.

5. Фактическую высоту фотографирования  $H$  над средней плоскостью съемочного участка определяют по измеренным базисам на накидном монтаже и топографической карте по формуле:

$$H = f \cdot d_k m / d_{nm}, \quad (6.7)$$

где  $d_k$  — базис на карте;  $d_{nm}$  — базис на накидном монтаже.

При аэрофотосъемке равнинной местности базисы выбирают по диагоналям накидного монтажа. Концами базисов служат досто-

## ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ

верно опознаваемые точки на накидном монтаже и соответствующие им на карте. При съемке местности со значительным рельефом базисы выбирают в пределах одного маршрута.

Отклонение фактической высоты от заданной вычисляют в процентах. Допустимое отклонение не должно превышать 3–5 %.

6. *Обеспеченность границ участка* (объекта) съемки — проверка наличия аэрофотоснимков, покрывающих всю территорию в пределах границ участка съемки. Контроль выполняют по накидным монтажам всего участка или отдельным маршрутам. Для этого на аэрофотоснимках опознают поворотные точки границ участка съемки и сравнивают с обозначенными проектными границами на топографической карте. С накидных монтажей участков, где аэрофотосъемка не завершена (имеются пропуски), делают репродукции, на которых сверху подписывают — «участок не завершен».

После оценки качества материалов аэрофотосъемки изготавливают репродукции накидного монтажа. Репродукция накидного монтажа — это его уменьшенная в два – четыре раза копия. Репродукция изготавливается чаще традиционным фотографическим способом. Перед фотографированием на накидном монтаже прикрепляют надписи с указанием года выполнения и масштаба аэрофотосъемки, номенклатуры трапеции, шифра объекта и масштаба будущей репродукции.

В технологиях компьютерной обработки снимков составляют накидной монтаж программными средствами аналогично рассмотренной технологии. Оператор на мониторе анализирует качество выполненной аэрофотосъемки. С помощью принтера или плоттера на печать выводится репродукция (копия) накидного монтажа. Репродукции используют при работе с большим числом аэрофотоснимков, для составления проекта геодезической привязки снимков и т. п.

После производства аэрофотосъемки заказчик получает:

- аэрофильмы (аэрофотонегативы) в неразрезанном виде, на катушках, упакованные в плотно закрытые металлические банки;
- контактные отпечатки с аэрофотонегативов;
- негативы репродукций накидных монтажей;
- репродукции накидных монтажей;
- топографические карты с проектными и фактическими осьми маршрутов аэрофотосъемки;
- журналы регистрации аэрофотонегативов и негативов репродукций накидных монтажей;
- данные показаний приборов GPS/ГЛОНАСС;
- контрольные негативы прикладной рамки аэрофотоаппарата;
- характеристики АФА: фокусное расстояние, величины дисторсии по осям и зонам, координаты главной точки, расстояние между координатными метками;
- паспорт аэрофотосъемки, другие материалы и сведения, предусмотренные договором.

## **ГЛАВА 8. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ**

При съемке оптико-электронными съемочными системами материалы аэрофотосъемки передают заказчику в цифровом виде на электронных носителях.

### **■ 6.3. Особые условия проведения аэрофотосъемки городских территорий**

Аэрофотосъемку городов и крупных населенных пунктов городского типа выполняют с учетом некоторых особенностей организации полетов и технических требований к получаемым изображениям фотографируемых территорий.

Важным этапом подготовки проведения летно-съемочных работ является согласование режима полетов над территорией города. При этом утверждают сроки, время суток и минимально допустимую высоту аэрофотографирования, воздушные коридоры подлета к участку съемки, типы аэросъемочных летательных аппаратов.

Технические параметры и условия проведения аэрофотосъемки определяются спецификой городского ландшафта. Это прежде всего значительная плотность высотных объектов (зданий и сооружений), которые при съемке кадровыми АФА закрывают определенные участки местности, так называемые «мертвые зоны». Помимо «мертвых зон» высотные объекты создают тени, длина которых пропорциональна их высотам и обратно пропорциональна высоте солнца. Участки местности, находящиеся в «мертвых зонах» и закрытые тенью, в большинстве случаев становятся недоступными для изучения по аэрофотоснимкам. Кроме того, на снимках недостаточно полно отображаются линии электропередачи, связи, колодцы теплосетей, водопроводов и других коммуникаций.

Особенности городского ландшафта предъявляют специальные требования к проведению аэрофотосъемки:

- для уменьшения «мертвых зон» аэрофотосъемку проводят с продольным перекрытием снимков  $P_x = 80\%$  и поперечным перекрытием  $P_y = 40–60\%$  и более;
- если аэрофотоснимки в дальнейшем будут использовать для получения только плановых координат (X, Y) точек местности (например, при инвентаризации недвижимости), то применяют аэрофотоаппараты с длиннофокусным объективом высокой разрешающей способности;
- для улучшения изобразительных свойств аэрофотоснимков применяют аэрофотопленки с высокой разрешающей способностью и большой фотографической широтой;
- фотохимическую обработку экспонированной аэрофотопленки проводят в мелкозернистом проявителе. Для проработки изобра-

жений деталей объекта в тенях коэффициент контрастности проявленного изображения должен быть равен 1,0 ( $\pm 0,2$ );

— для уменьшения влияния теней от высотных объектов съемку производят при максимально возможных высотах солнца. Если позволяют погодные условия, выполняется так называемая «съемка под зонтиком» — летательный аппарат находится ниже сплошной высокой облачности. При этом объект съемки освещается только рассеянной радиацией, и поэтому тени практически не образуются.

### **Контрольные вопросы**

---

1. Как подразделяется аэрофотосъемка?
2. Какие критерии определяют фотограмметрическое качество материалов аэрофотосъемки?
3. По каким параметрам оценивается фотографическое качество аэрофотоснимков?
4. Каковы особенности проведения аэрофотосъемки застроенных территорий? В чем преимущества съемки «под зонтиком»?
5. Как организуется заказ на аэрофотосъемку?
6. Какие материалы получает заказчик от исполнителя аэрофотосъемочных работ?

## **Глава 7. Понятие о космической съемке Земли**

Цели изучения:

- знать основы проведения космических съемок;
- уметь оценить достоинства и недостатки материалов космических съемок, применяемых для землеустройства и кадастров.

### **■ 7.1. Условия получения космических снимков**

---

Условия получения космических снимков существенно влияют на их геометрические и изобразительные свойства. Это в свою очередь определяет методологию и технологию фотограмметрической обработки снимков и интерпретацию изображений. Основными отличительными особенностями получения космических снимков являются:

- большая скорость и сложная траектория движения космического летательного аппарата (КЛА), относительно земной поверхности;
- значительная высота съемки (высота полета КЛА), исчисляемая сотнями и тысячами километров над земной поверхностью;
- влияние всего слоя атмосферы на геометрическое и энергетическое искажение отраженного или собственного излучения объектами земной поверхности, поступающего на вход съемочных систем.

Рассмотрим условия получения космических снимков.

Космическую фотосъемку поверхности Земли производят с pilotируемых космических аппаратов, орбитальных станций и беспилотных искусственных спутников Земли автоматически — по заданной программе. Съемку могут выполнять космонавты в так называемом «ручном режиме» или автоматически по заданной программе.

Движение КЛА происходит по траектории, называемой орбитой. При съемке поверхности Земли используют эллиптические, параболические и гиперболические орбиты.

При движении КЛА по *эллиптической орбите* Земля находится в одном из фокусов эллипса. Точка орбиты, расположенная ближе к центру Земли, называется перигеем (перигеем), а наиболее удаленная — апоцентром (апогеем).

*Параболическая* или *гиперболическая орбиты* соответствуют траектории движения КЛА по параболе или гиперболе.

При съемке Земли или иных планет возможны варианты получения изображения: при подлете, отлете или при прохождении мимо планеты КЛА.

Существенный недостаток съемок с КЛА, находящихся на перечисленных орbitах, — изменение удаленности съемочной системы от снимаемой поверхности. Пропорционально изменению высоты съемки изменяется масштаб получаемых снимков.

Съемка может выполняться со спутников Земли, находящихся на геостационарных орбитах. При этом варианте съемки положение спутника относительно поверхности не изменяется, так как его угловая скорость движения равна угловой скорости движения земной поверхности. При съемке с геостационарных спутников получают информацию об одной территории. Результаты съемки могут быть использованы для мониторинга этой территории с различным временным интервалом.

Наиболее приемлемыми, с точки зрения фотограмметрических преобразований, являются круговые орбиты КЛА. Круговые орбиты представляют собой окружности с центром, совпадающим с центром Земли (рис. 7.1). Радиус таких орбит  $r$  определяется как сумма радиуса Земли  $r_0$  и высоты полета  $H$  летательного аппарата (или высота съемки). Средний масштаб снимков при съемке с круговых орбит практически одинаков. Полосы снимаемой поверхности (полосы обзора), захватываемые с каждого витка летательного аппарата, также примерно одинаковы.

Плоскость орбиты КЛА пересекает плоскость экватора под некоторым углом  $i$ , который называют *наклонением орбиты* (рис. 7.1). Если наклонение орбиты равно  $90^\circ$ , то ее плоскость проходит через полюсы Земли. Такая орбита носит название *полярной*. При наклонении равном  $0^\circ$  плоскость орбиты КЛА совпадает с экватором, поэтому ее называют *экваториальной*. Использование полярной и близ-полярной орбиты обеспечивает выполнение съемки всей поверхности за счет вращения Земли вокруг своей оси. При уменьшении наклонения орбиты сокращается территория, захватываемая съемочной аппаратурой.



Рис. 7.1. Некоторые элементы круговой орбиты

## **ГЛАВА 7. ПОНЯТИЕ О КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ ЗЕМЛИ**

*Периодичность* (частота) съемки одной и той же территории в зависимости от параметров полета КЛА может быть от 4 раз в сутки до 5–6 раз в месяц и реже. Это связано с тем, что при наклонении орбиты не равном нулю ( $i > 0$ ), а также из-за вращения Земли точка пересечения орбиты КЛА с экватором смещается. Если на данном витке КЛА прошел над точкой 1 экватора (рис. 7.1), то после оборота вокруг Земли он пройдет уже над точкой 2 экватора, затем над точкой 3 и так далее. Регулярная повторяемость съемки позволяет применять получаемые материалы для обновления мелкомасштабных топографических и специальных карт, а также осуществлять мониторинг больших территорий.

Положение КЛА, а следовательно, положения съемочной аппаратуры в пространстве определяют в географических координатах  $X$  и  $Y$ .

*Высота полета* КЛА при круговых орбитах находится в пределах от 200 до 1000 км.

В зависимости от фокусного расстояния используемой съемочной системы и высоты полета КЛА снимки получают в масштабе от 50 000 до 10 000 000.

### **7.2. Отличие космических снимков от аэрофотоснимков**

Космические снимки получают оптико-электронными, с сенсором ПЗС-линейки, а также лазерными, тепловыми и радиолокационными системами, рассмотренными в главе 5. Фотографические съемочные системы не используют, так как не позволяют оперативно получать изображение земной поверхности. Нефотографические системы передают изображение в режиме on-line.

Продольное перекрытие изображений, полученных оптико-электронными съемочными системами, осуществляется применением трех линеек ПЗС, ориентированных соответственно «вперед», «отвесно» и «назад». Это частный случай конвергентной съемки.

Поперечное перекрытие снимков обеспечивается тремя приемами. В первом случае за счет вращения Земли: при этом снимки, получаемые с последующего витка, перекрываются снимками предыдущего витка (виток аналогичен маршруту при аэрофотосъемке). Если съемка выполняется при движении КЛА по полярной или близкой полярной орбите, поперечное перекрытие снимков будет непостоянным. Вблизи экватора перекрытие будет минимальным, в районе полюсов — максимальным. Чтобы поперечное перекрытие находилось в заданных пределах, необходимо согласование скорости обращения КЛА со скоростью вращения Земли.

Во втором случае перекрытие снимаемой полосы осуществляется поперечным наклоном (креном) летательного аппарата. Угол

кrena должен обеспечить заданное поперечное перекрытие снимков (рис. 7.2).

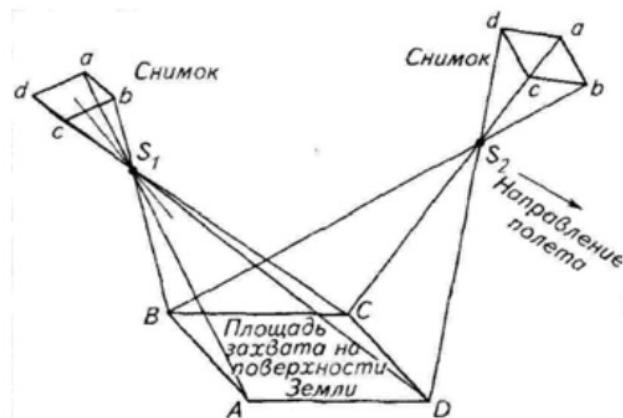


Рис. 7.2. Схема съемки с разворотом КЛА

Существенным отличием космической съемки, как уже отмечалось, является изображение на одном снимке территории площадью от нескольких десятков до тысяч квадратных километров. При этом на геометрии построения плоского изображения оказывается кривизна Земли. Точки земной сферической поверхности проецируются по законам центральной проекции на плоскость, в которой находится сенсор. За счет этого на краях снимка масштаб изображения мельче по сравнению с его центральной частью.

При съемке с круговых орбит фотосъемка выполняется таким образом, чтобы оптическая ось съемочной системы была ориентирована по направлению нормали к поверхности Земли.

Особенности получения космических снимков требуют применения специальной методологии при их дальнейшей фотограмметрической обработке и дешифрировании.

### Контрольные вопросы

1. Какие факторы проведения космических съемок определяют особые геометрические и изобразительные свойства получаемых снимков?
2. По каким орбитам происходит движение КЛА при производстве съемок? В чем преимущества каждой из них?
3. В чем заключаются отличия производства космических съемок от аэрофотосъемок?

### 7.3. Космические съемочные системы

На рубеже XX века в нашей стране наряду с государственными программами запуска космических летательных аппаратов и выполнения космических съемок появились коммерческие космические программы. Первый коммерческий спутник был запущен российской ракетой-носителем с космодрома на Дальнем Востоке в январе 1997 г. В настоящее время крупнейшие авиационные и космические компании участвуют в осуществлении собственных программ. Образовался рынок цифровых изображений. Потребитель в соответствии с решаемой задачей выбирает из предлагаемых каталогов наиболее приемлемые для него материалы съемок. На околоземных орбитах находятся несколько десятков космических летательных аппаратов с различными съемочными системами на борту. Получаемая при этом разнoplanовая информация — изображения или результаты измерений определенных характеристик объектов на поверхности Земли или атмосферы — передаются на пункты приема тех стран или коммерческих структур (или их представительств), которые осуществляют данную съемку. Космические летательные аппараты (КЛА) отличаются параметрами полета, а съемочные системы имеют различные характеристики (см. главу 5). Наземные комплексы приема и первичной обработки космической информации находятся в различных регионах.

Наиболее известные и используемые в мире данные получают с зарубежных и российских космических аппаратов высокого и сверхвысокого разрешения NOAA, LANDSAT (США), SPOT (Франция), IRS (Индия), RADARSAT (Канада), GEOEYE-1 (США), КАНОПУС-В (Россия), Ресурс-П (Россия) и т. д. Космические снимки имеют высокие изобразительные и метрические качества. В таблице 7.1 приведены технические показатели некоторых космических съемочных систем.

Таблица 7.1

**Основные технические характеристики оптико-электронных  
космических съемочных систем высокого разрешения и области  
их применения**

Тип съемочной системы (страна-разработчик)	Спектральный интервал излучения, мкм	Линейное разрешение (максимальное), м	Периодичность съемки объекта, сутки	Области применения
КА БКА (Беларусь)	0,52 – 0,850 (панхром) 54 – 0,60 (зеленый) 0,63 – 0,69; 0,6 – 0,72	2,1  10,5	5	Контроль землепользования и сельскохозяйственного производства; контроль естественных и возобновляемых природных ресурсов; выявление площадей, перспективных в поиске полезных ископаемых; контроль ресурсов и экологии

## ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ

	(красный) 0,75 – 0,86 (ближний ИК)			шельфа; контроль чрезвычайных ситуаций; наблюдение за объектами нефтегазового комплекса; обновление топографических карт; экологический контроль окружающей среды и др.
КАНОПУС-В (Россия)	0,52 – 0,850 (панхром) 54 – 0,60 (зеленый) 0,63 – 0,69; 0,6 – 0,72 (красный) 0,75 – 0,86 (ближний ИК)	2,1  10,5	5	Обнаружение очагов лесных пожаров, крупных выбросов загрязняющих веществ; мониторинг техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, в т. ч. стихийных гидрометеорологических явлений; мониторинг сельскохозяйственной деятельности, природных (в т. ч. водных и прибрежных) ресурсов; мониторинг землепользования; оперативное наблюдение заданных районов земной поверхности
Ресурс-П (Россия)	0,58 – 0,80 (панхром) 0,45 – 0,52 (синий) 0,52 – 0,60 (зеленый) 0,61 – 0,68 (красный) 0,72 – 0,80; 0,67 – 0,70; 0,70 – 0,73 (красный + ближний ИК)	1,0  3,0 – 4,0	3	Составление и обновление обще-географических, тематических и топографических карт; контроль загрязнения окружающей среды, в т. ч. экологический контроль в районах геологоразведочных работ и добычи полезных ископаемых, контроль водоохранных и заповедных районов; инвентаризация природных ресурсов (сельскохозяйственных и лесных угодий, пастбищ, районов промысла морепродуктов); создание земельного кадастра и контроль хозяйственных процессов для обеспечения рациональной деятельности в различных отраслях; информационное обеспечение поиска нефти, природного газа, рудных и других месторождений полезных ископаемых; контроль застройки территорий; получение данных для инженерной оценки местности в интересах хозяйственной деятельности; информационное обеспечение для прокладки магистралей и крупных сооружений, автомобильных, железных дорог, нефте- и газопроводов, систем связи; обнаружение незаконных посевов наркосодержащих растений и контроль их уничтожения; оценка ледовой обстановки; наблюдение районов чрезвычайных ситуаций с целью мониторинга стихийных бедствий, аварий, катастроф, а также оценки их последствий и планирования восстановительных мероприятий

## ГЛАВА 7. ПОНЯТИЕ О КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ ЗЕМЛИ

GEOEYE-1 (США)	0,45 – 0,90 (панхром) 0,45 – 0,52 (синий) 0,52 – 0,60 (зеленый) 0,625 – 0,795 (красный) 0,76 – 0,90 (ближний ИК)	0,41  1,65	1 – 3 (в зависимости от широты местности)	Создание и обновление топографических и специальных карт и планов до масштаба 1:2000; создание цифровых моделей рельефа с точностью 1 – 2 м по высоте; инвентаризация и контроль строительства объектов инфраструктуры транспортировки и добычи нефти и газа; выполнение лесоустроительных работ, инвентаризация и оценка состояния лесов; инвентаризация сельскохозяйственных угодий; создание планов землепользования, точное земледелие; обновление топографической подосновы для разработки проектов генеральных планов перспективного развития городов, схем территориального планирования муниципальных районов; инвентаризация и мониторинг состояния транспортных, энергетических, информационных коммуникаций; широкий круг задач в области охраны окружающей среды
SPOT-6,7 (Франция)	0,48 – 0,71 (панхром) 0,50 – 0,59 (зеленый) 0,61 – 0,68 (красный) 0,78 – 0,89 (ближний ИК)	1,5  8	–	Создание и обновление топографических и специальных карт до масштаба 1:25000; создание цифровых моделей рельефа с точностью 5 – 10 м по высоте; инвентаризация и контроль строительства объектов инфраструктуры транспортировки и добычи нефти и газа; мониторинг экологического состояния территорий в районах добычи, транспортировки нефти и газа, других полезных ископаемых; обновление топографической подосновы для разработки проектов схем территориального планирования муниципальных районов и субъектов Федерации; выполнение лесоустроительных работ, инвентаризация лесов; регулярный контроль лесопользования и мониторинг состояния лесов; инвентаризация сельскохозяйственных угодий, мониторинг состояния посевов, оценка засоренности, выявление вредителей и болезней сельскохозяйственных культур, прогнозирование урожайности; мониторинг и прогнозирование процессов заболачивания и опустынивания, засоления, карста, эрозии, степных пожаров и т. п.

## ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ

WORLD-VIEW-2 (США)	0,50 – 0,90 (панхром)	0,46	1,1 – 3,7 (в зависимости от широты местности)	Создание и обновление топографических и специальных карт и планов до масштаба 1:2000; создание цифровых моделей рельефа с точностью 1 – 3 м по высоте; инвентаризация и контроль строительства объектов инфраструктуры транспортировки и добычи нефти и газа; выполнение лесоустроительных работ, точная автоматизированная инвентаризация и оценка состояния лесов; инвентаризация сельскохозяйственных угодий, создание планов землепользования, точное земледелие; мониторинг состояния посевов, оценка засоренности, выявление вредителей и болезней сельскохозяйственных культур, прогнозирование урожайности; автоматизированное создание крупномасштабных карт и планов растительности, ландшафтов и природопользования; обновление топографической подосновы для разработки проектов генеральных планов перспективного развития городов, схем территориального планирования муниципальных районов; инвентаризация и мониторинг состояния транспортных, энергетических, информационных коммуникаций; широкий круг задач в области охраны окружающей среды
	0,40 – 0,45 (фиолетовый или coastal)	1,84		
	0,45 – 0,51 (синий)			
	0,51 – 0,58 (зеленый)			
	0,585 – 0,625 (желтый)			
	0,63 – 0,69 (красный)			
	0,63 – 0,69 (крайний красный или red-edge)			
	0,77 – 0,895 (ближний ИК-1)			
	0,86 – 1,04 (ближний ИК-2)			
KOMPSAT-3 (Корея, Франция)	0,45 – 0,90 (панхром)	0,7	–	Инвентаризация сельскохозяйственных угодий, создание планов землепользования, точное земледелие; широкий круг задач в области охраны окружающей среды; мониторинг океанов
	0,45 – 0,52 (синий)	2,8		
	0,52 – 0,60 (зеленый)			
	0,63 – 0,69 (красный)			
	0,76 – 0,90 (ближний ИК)			

Съемка с периодически запускаемых на орбиты спутников позволила создать архивы изображений различных районов земной поверхности, что дает возможность осуществлять мониторинг территорий и отдельных объектов и явлений.

Серия спутников LANDSAT (США) функционирует с начала семидесятых годов XX в. Съемка проводится с высоты орбиты 900 км. На спутниках используются многозональные съемочные системы типа

## ГЛАВА 7. ПОНЯТИЕ О КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ ЗЕМЛИ

MSS с линейным разрешением на местности  $55 \times 80$  м. THEMATIC MAPPER имеет линейное разрешение в видимой области спектра (канал PAN — панхроматический) 15 м и при многозональной съемке (MSI) — 30 м. Снимки применяют для изучения и мониторинга различных природных образований, водных объектов большой протяженности.

В целях мониторинга кадастровой информации и создания картографической продукции масштабов  $1:M = 1:2000 - 1:10000$  могут быть использованы космические оптико-электронные съемочные системы высокого разрешения. Космические изображения земной поверхности, получаемые со спутников IKONOS, QUICK BIRD, GEOEYE-1 (США), KOMPSAT-3 (КНДР, Франция), имеют соответственно разрешение на местности 0,41 — 1 м. Точность фотограмметрического определения координат объектов местности по снимкам спутника QUICK BIRD, снятых в панхроматической зоне (0,45 — 0,95 мкм), составляет соответственно: с использованием опорных точек 2 м, без опорных точек — 23 м.

Французская съемочная система SPOT IMAGE, установленная на спутниках типа SPOT, имеет четыре спектральных канала (4-й канал соответствует 1,55 — 1,75 мкм). Линейное разрешение при панхроматической съемке равно 5 — 10 м, а при многозональной — 20 м. Важным преимуществом данной системы является возможность получения снимков с перекрытием (получение стереопар), что позволяет производить стереофотограмметрическую обработку снимков. Снимок захватывает участок на земной поверхности размером примерно  $60 \times 60$  км.

Индийские спутники последнего поколения (IRS-1C, IRS-1D) оснащены съемочными системами, работающими в четырех спектральных каналах. Панхроматические снимки получают с разрешением 5 — 6 м, а зональные — 23 м и более.

Разработка компактных радиолокационных съемочных систем с малым потреблением энергии позволила использовать их при космических съемках. Радарные изображения, получаемые, например, с канадского спутника RADARSAT и европейского ERS, имеют разрешение 25 м. Современные методы радиолокации позволяют получать изображения с разрешением на местности до 0,9 м — TerraSAR-X, L (Германия). Изменяя ориентацию спутника в полете на соседних орbitах, производят стереорадиолокационную съемку. Существующие компьютерные программы позволяют выполнять фотограмметрическую обработку радарных снимков. При этом учитывают специфическую геометрию радиолокационных изображений, производят построение цифровых моделей рельефа как по стереопаре, так и с использованием методов радарной интерферометрии (определение геометрических параметров объектов на основе интерференции отраженных от них радиоволн).

## **ТЕСТЫ К ЧАСТИ I**

На территории страны имеется большое количество региональных пунктов приема космических изображений. Благодаря свободному доступу в Интернет снимки широко используются в отечественных организациях, занимающихся картографированием и исследованиями природных ресурсов. Существуют многолетние космические проекты исследования земной поверхности, разрабатываются и реализуются новые. Информацию о них и процедуре заказа снимков можно узнать через Интернет.

Для широкого пользования разработаны и применяются станции приема и обработки изображений (низкого и среднего разрешения) земной поверхности. Аппаратно-программные комплексы включают: персональные компьютеры, antennную систему, устройство сопряжения antennой системы с компьютером и программное обеспечение. С помощью параболической антенны, установленной на поворотном устройстве, производят прием передаваемых со спутника изображений. Программные средства обеспечивают слежение за спутником, автоматический прием данных, их визуализацию, просмотр и оценку. Визуализация изображения производится в черно-белом или цветном варианте, осуществляется синтезирование зональных снимков. Проводят географическую привязку всего снимка или его фрагмента, а также программными средствами рассчитывают географические координаты для каждого пикселя изображения.

Выполняют фотограмметрическое преобразование космических изображений, их тематическую обработку и представляют результаты обработки в картографическом виде.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие факторы проведения космических съемок определяют особые геометрические и изобразительные свойства получаемых снимков?
2. По каким орбитам происходит движение КЛА при производстве съемок? В чем преимущества каждой из них?
3. В чем заключаются отличия производства космических съемок от аэросъемок?

## **Тесты к части I**

1. Какие виды излучения используются при проведении аэро- и космических съемок Земли?
  - а) только отраженное солнечное и искусственное излучение;
  - б) только собственное излучение;
  - в) все виды перечисленного излучения.

## **ТЕСТЫ К ЧАСТИ I**

2. Что такое окна прозрачности атмосферы?
  - а) спектральные интервалы, пропускающие излучение;
  - б) спектральные интервалы не пропускающие излучение;
  - в) отношение интенсивности прошедшего через атмосферу излучения к уровню падающего излучения.
3. Что такое коэффициент спектральной яркости?
  - а) отношение прошедшего светового потока к падающему;
  - б) отношение отраженного светового потока к падающему;
  - в) отношение яркости отраженного от объекта светового потока к яркости идеального отражателя в данной спектральной зоне.
4. Что такое фотограмметрическая рефракция атмосферы?
  - а) преломление отраженного от объекта луча в вертикальной плоскости при выполнении АКС;
  - б) преломление отраженного от объекта луча в горизонтальной плоскости при выполнении АКС;
  - в) искажение координаты положения точки на снимке.
5. Что такое коэффициент интегральной яркости?
  - а) отношение интегральной яркости отраженного от объекта светового потока к интегральной яркости идеального отражателя;
  - б) отношение отраженного светового потока к падающему;
  - в) отношение яркости отраженного от объекта светового потока к яркости идеального отражателя в данной спектральной зоне.
6. Что такое продольное перекрытие снимков?
  - а) перекрытие двух смежных снимков одного маршрута;
  - б) перекрытие снимков смежных маршрутов;
  - в) совмещение двух снимков способом мелькания.
7. Что обозначает термин « елочка» при производстве аэрофотосъемки?
  - а) угол отклонения главного луча от отвесного положения;
  - б) отклонения маршрута от прямолинейного направления;
  - в) разворот снимка относительно направления маршрута.
8. Что такая площадная аэрофотосъемка?
  - а) съемка, выполненная по одному маршруту;
  - б) территория, подлежащая аэрофотосъемке;
  - в) получение снимков местности с нескольких маршрутов.
9. Что такое поперечное перекрытие снимков?
  - а) перекрытие двух смежных снимков одного маршрута;
  - б) перекрытие снимков смежных маршрутов;
  - в) совмещение двух снимков способом мелькания.

## **ТЕСТЫ К ЧАСТИ I**

10. Что такое высота фотографирования?
  - а) предельная высота полета самолета;
  - б) высота над средней секущей плоскостью местности;
  - в) высота над уровненной поверхностью.
11. Что называют накидным монтажом?
  - а) пакет контактных снимков;
  - б) временное расположение снимков в порядке их получения при съемке;
  - в) картографический материал для измерения размеров изображенных объектов.
12. Что такое линейная разрешающая способность съемочной системы?
  - а) способность раздельно воспроизводить на снимке мелкие детали снимаемого объекта;
  - б) мера искажения прямолинейности прохождения проектирующего луча;
  - в) количество спектральных зон, используемых при регистрации отраженного излучения в съемочной системе.
13. Что такое гиперфокальное расстояние объектива?
  - а) диаметр относительного отверстия объектива;
  - б) расстояние наилучшей резкости изображения;
  - в) расстояние вдоль оптической оси объектива, с которого начинается резкое изображение пространства при наведении на бесконечность.
14. Что такое глубина резкости объектива?
  - а) диаметр действующего отверстия объектива;
  - б) расстояние вдоль оптической оси равное фокусному расстоянию;
  - в) пространство вдоль оптической оси, все точки которого практически резко отображаются в фокальной плоскости.
15. Чем вызван оптический сдвиг изображения?
  - а) невыполнением главного условия оптики;
  - б) различием атмосферного давления и внутри съемочной камеры;
  - в) линейными и угловыми перемещениями съемочной камеры.
16. Для каких целей служит затвор в фотоаппарате?
  - а) для перемотки фотопленки;
  - б) для регулирования времени освещения фотоматериала;
  - в) для изменения глубины резкости объектива.
17. Зачем на выравнивающее стекло АФА наносится сетка крестов?
  - а) для определения размера снимка;
  - б) для учета деформаций изображения;
  - в) для учета изменений оптической плотности в пределах снимка.

## **ТЕСТЫ К ЧАСТИ I**

18. В каком спектральном интервале производится фотосъемка?
- а) в спектральной зоне съемки менее 0,3 мкм;
  - б) в пределах 0,3 – 1,3 мкм;
  - в) в пределах более 1,3 мкм.
19. Что такое аэрофотоустановка?
- а) устройство для определения оптимальной экспозиции при аэрофотосъемке;
  - б) прибор для определения положения аэрофотоаппарата в пространстве;
  - в) устройство для крепления АФА на летательном аппарате, ориентирования в заданном положении и уменьшения влияния вибрации.
20. Для чего предназначен командный прибор АФА?
- а) для определения экспозиции;
  - б) для устранения вибрации АФА;
  - в) для автоматического включения АФА через определенный интервал времени.
21. Что такое относительное отверстие объектива?
- а) диаметр входного отверстия объектива;
  - б) минимальный диаметр входного отверстия объектива;
  - в) отношение действующего отверстия объектива к фокусному расстоянию.
22. Что такое идеальный снимок?
- а) снимок, полученный при идеальных погодных условиях;
  - б) снимок, полученный при реальных условиях съемки;
  - в) снимок, полученный по заданному закону геометрического построения изображения.
23. Что происходит при проявлении экспонированного фотоматериала?
- а) происходит химическая реакция, в результате которой экспонированные частицы галогенидов серебра переходят в металлическое состояние;
  - б) частицы галогенидов серебра удаляются из фотоэмulsionционного слоя;
  - в) частицы галогенида серебра изменяются в размере.
24. Что понимают под термином «сенситометрия»?
- а) научное направление, изучающее методы определения основных светочувствительных величин;
  - б) научное направление, изучающее методы определения геометрических свойств снимков;
  - в) научное направление, изучающее методы яркостных характеристик объектов.

## **ТЕСТЫ К ЧАСТИ I**

25. Что называют характеристической кривой фотоматериала?
- а) график, выражающий зависимость оптической плотности от логарифма экспозиции;
  - б) график, иллюстрирующий изменение оптической плотности при переходе от участков с различной плотностью;
  - в) график изменения оптической плотности в зависимости от времени проявления.
26. Что такое экспозиция при фотографировании?
- а) количественная мера световой энергии, поступающей на светочувствительный слой;
  - б) время, в течение которого освещается светочувствительный слой;
  - в) преобразование экспонированного галоидного серебра в металлическое.
27. Какова допустимая величина оптической вуали аэрофотопленок?
- а) 0, 5 ед. плотности;
  - б) 0,3 ед. плотности;
  - в) 0,2 ед. плотности.
28. Для каких целей используется прибор сенситометр?
- а) для измерения деформаций на снимке;
  - б) для экспонирования фотоматериалов при испытаниях фотоматериалов;
  - в) для определения разрешающей способности снимков.
29. Что такое сенсибилизированные черно-белые фотоматериалы?
- а) фотоматериалы, покрытые защитным слоем;
  - б) фотоматериалы, имеющие высокую разрешающую способность;
  - в) фотоматериалы, имеющие чувствительность к различным (дополнительно к синим) лучам спектра.
30. Что создается сложением основных цветов (синего, красного и пурпурного) при цветном фотографировании?
- а) белый цвет;
  - б) дополнительные цвета;
  - в) черный цвет.
31. Какое основное преимущество имеет радиолокационная съемка?
- а) малые геометрические искажения РЛС-изображений;
  - б) съемка при любых погодных условиях;
  - в) отсутствие искажений яркостных параметров объектов.
32. Каким критерием выражается разрешающая способность в оптико-электронных съемочных системах, сенсором в которых используют ПЗС-приемники?

**ТЕСТЫ К ЧАСТИ I**

---

- а) числом линий на один миллиметр;
  - б) размером минимального изображения;
  - в) числом элементов или линий в одном дюйме изображения.
33. Каков принцип регистрации информации в тепловых съемочных системах?
- а) измерение интенсивности электромагнитного излучения;
  - б) измерение температуры изучаемых объектов;
  - в) использование фотохимического эффекта.
34. Какой картографический продукт получают в результате проведения лазерной съемки?
- а) набор измерений отраженного сигнала;
  - б) двумерное изображение;
  - в) трехмерную модель местности.
35. Почему тепловую съемку предпочтительнее проводить ночью?
- а) отсутствие помех от других летательных средств;
  - б) отсутствие помех теплового фона, создаваемого солнцем;
  - в) увеличение температурных контрастов.



ЧАСТЬ II  
АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ —  
ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ



В дистанционном зондировании под первичными информационными моделями понимают первичные (непреобразованные) аэро- и космические снимки, получаемые в аналоговом или цифровом виде. Первичными снимками считают такие, которые не преобразованы в иную проекцию, отличную от исходной. В предыдущей части учебника рассмотрены фотографические и нефотографические съемочные системы, в которых построение изображений осуществляется различными способами.

В данной части рассмотрены геометрические свойства снимков, полученных топографическими аэрофотоаппаратами. Выполнен анализ влияния угла наклона снимка и рельефа местности на метрические свойства этих снимков. Даются рекомендации по выбору параметров аэрофотосъемки для получения снимков с заданными метрическими свойствами, позволяющими решать некоторые инженерные задачи непосредственно на первичных снимках.

К первичным информационным моделям относят производные от аэрофотоснимков: увеличенные снимки, фотосхемы, стереофотосхемы.

## **Глава 8. Топографический снимок – центральная проекция**

Цели изучения:

- знать закономерности построения изображения снимков, полученных топографическими аэрофотоаппаратами, влияние угла наклона снимка и рельефа местности на метрические свойства изображения;
- уметь учитывать разномасштабность при линейных измерениях на снимках.

### **■ 8.1. Основные элементы центральной проекции**

---

Построение изображения объекта на плоскости (или какой-либо иной поверхности) по определенному закону называется проектированием, а полученное изображение — проекцией.

Существуют различные виды проектирования. В геодезии, например, при топографической съемке и последующем построении плана локального участка местности все точки ее элементов проектируют на горизонтальную плоскость отвесными линиями. Такой способ проектирования называется ортогональным, а полученная проекция — ортогональной. Для каждой точки в данном виде проектирования существует свой центр проекции.

Если точки пространства (местности) проектируют на плоскость (или поверхность) лучами, проходящими через одну точку, называемой центром проекции, то такой вид проектирования называют центральным. Лучи, исходящие из точек пространства, называют проектирующими лучами. Следы пересечения этих лучей с избранной поверхностью создают фигуру, называемую центральной проекцией и построенную по закону центрального проектирования. Множество проектирующих лучей, проходящих через центр проекции, образуют связку проектирующих лучей.

При проектировании объекта на одну плоскость из одного центра проекции подобный способ построения называют линейной перспективой.

Аэрофотоснимки, полученные топографическими аэрофотоаппаратами, в геометрическом смысле представляют собой центральную проекцию, центром проектирования которой служит задняя узловая точка объектива. Для построения плана местности с помощью аэрофотоснимка необходимо понимание его геометрических свойств, определяемых в значительной степени законами линейной перспективы.

В центральной проекции точка всегда изображается точкой; прямой отрезок — прямым, в частном случае точкой (когда направление

## ГЛАВА 8. ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ СНИМOK – ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ

прямого отрезка совпадает с проектирующими лучами); кривая линия изображается кривой, в частном случае прямой; объекты, имеющие три измерения (объемные), изображаются плоскими фигурами.

Рассмотрим основные плоскости, линии и точки, являющиеся элементами центральной проекции и используемые в центральном проектировании, а также при анализе геометрических свойств аэрофотоснимков (рис. 8.1).

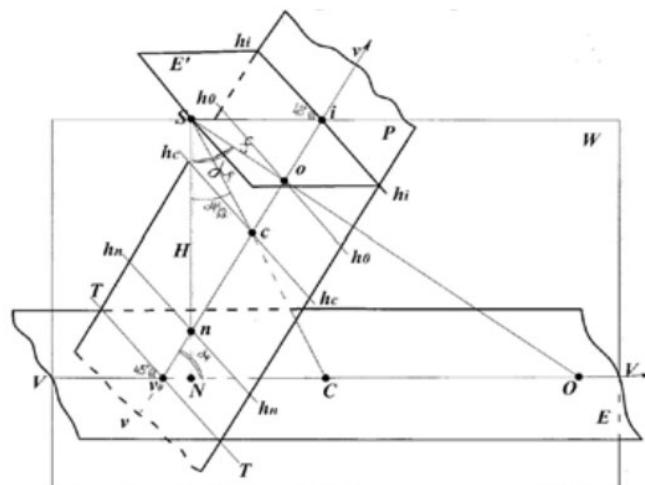


Рис. 8.1. Основные элементы центральной проекции

*S* — центр проекции;

*E* — предметная плоскость (соответствует горизонтальной плоской местности);

*P* — позитивная картинная плоскость, расположена между центром проекции *S* и предметной плоскостью *E*, соответствует позитивному изображению аэрофотоснимка (контактному или увеличенному);

*E'* — плоскость действительного горизонта, проходит через центр проекции *S* параллельно предметной плоскости *E*;

*P'* — негативная картинная плоскость (центр проекции *S* расположен между предметной плоскостью *E* и картинной плоскостью *P'*, соответствует негативному изображению аэрофотоснимка), параллельна плоскости *P*, плоскости *P* и *P'* находятся на равном расстоянии от центра проекции *S*.

Законы построения перспектив элементов, располагающихся в предметной плоскости, одинаковы для плоскостей *P* и *P'*. Следует заметить, что перспективы, построенные в картинной плоскости *P*, соответствуют позитивному аэрофотоснимку (позитиву), а построенные в картинной плоскости *P'* соответствуют негативному изо-

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

бражению (негативу). При дальнейших построениях будем использовать позитивную картинную плоскость.

$W$  — плоскость главного вертикала, проходит через центр проекции  $S$  перпендикулярно пересекая три плоскости  $P$ , (или  $P'$ ),  $E$  и  $E'$ , след пересечения плоскости  $W$  с картинной плоскостью называют главной вертикалью  $v_0i$ ;

$i$  — главная точка схода;

$v_0u$  — проекция главной вертикали  $v_0i$  на предметной плоскости  $E$ ;

$TT$  — основание картины (картинной плоскости) — линия пересечения картинной плоскости  $P$  с предметной плоскостью  $E$ ;

$h_ih_i'$  — линия действительного горизонта — линия пересечения картинной плоскости  $P$  с плоскостью действительного горизонта  $E'$ ;

$SO$  — главный луч центральной проекции — перпендикулярен картинной плоскости  $P$ , находится в плоскости главного вертикала  $W$  и соответствует оптической оси аэрофотоаппарата;

$o$  — главная точка картинной плоскости — пересечение главного луча  $SO$  с картинной плоскостью  $P$  (соответствует главной точке аэрофотоснимка);

$S_0$  — главное расстояние — расстояние от центра проекции до главной точки картины (соответствует фокусному расстоянию аэрофотоаппарата  $f$ );

$SN$  — высота центра проекции  $S$  над предметной плоскостью — длина перпендикуляра, опущенного из центра проекции  $S$  на предметную плоскость и расположенного в плоскости главного вертикала  $W$  (соответствует высоте аэрофотосъемки);

$\alpha_p$  — угол наклона картинной плоскости  $P$ , образованный плоскостями  $E$  и  $P$ , равный углу отклонения главного луча центральной проекции  $SO$  от перпендикуляра  $SN$ , опущенного из центра проекции  $S$  на плоскость  $E$  (соответствует углу наклона аэрофотоснимка);

$n$  — точка надира — точка пересечения отвесного луча центральной проекции  $SN$  с картинной плоскостью  $P$  (расположена на главной вертикали  $v_0i$ );

$N$  — проекция точки надира на предметную плоскость  $E$  — пересечение отвесного луча центральной проекции  $SN$  с плоскостью  $E$ ;

$c$  — точка нулевых искажений — точка пересечения биссектрисы угла  $oS_n = \alpha_p$  с картинной плоскостью  $P$  (расположена на главной вертикали  $v_0i$ );

Точки  $o$ ,  $c$ ,  $n$  имеют теоретическое и практическое значение при анализе геометрических свойств аэрофотоснимка. Как следует из рис. 8.1, расстояние между точками  $o$ ,  $c$ ,  $n$ ,  $i$  определяют следующими зависимостями:

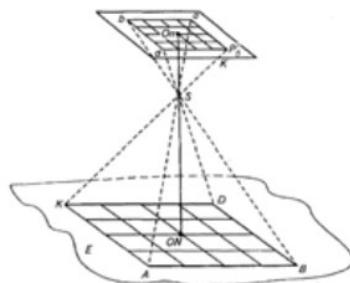
$on = f \operatorname{tg} \alpha_p$ ,  $oc = f \operatorname{ctg} \alpha_p / 2$ ,  $oi = f \operatorname{ctg} \alpha_p$ . Точки  $o$ ,  $c$ ,  $n$  расположены достаточно близко друг к другу. Например, на наклонном снимке при  $\alpha_p = 2^\circ$  и  $f = 100$  мм  $on = 3,5$  мм,  $oc = 1,8$  мм. Соответственно, при меньших углах наклона снимка эти расстояния также будут меньше.

## ■ 8.2. Метрические свойства снимка, полученного топографическим аэрофотоаппаратом

Как уже отмечалось, построение изображения при аэрофотографировании происходит по закону центральной проекции. При этом, как правило, главный луч объектива имеет отклонение от отвесного положения на некоторый угол, называемый углом наклона снимка. Фотографируемая местность представляет собой поверхность с различными превышениями. В случае, когда угол наклона снимка равен нулю, а местность представляет собой горизонтальную плоскость (рис. 8.2), масштаб изображения одинаков в любой точке снимка и определяется по формуле:

$$1/m = f/H, \quad (8.1)$$

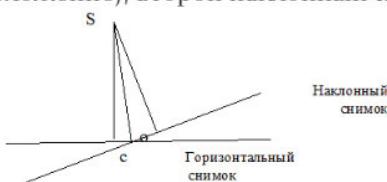
где  $m$  — масштаб изображения;  $f$  — фокусное расстояние;  $H$  — высота фотографирования над средней плоскостью местности.



*Рис. 8.2. Масштаб горизонтального снимка равнинной местности*

При реальной съемке два фактора — угол наклона снимка и рельеф местности — проявляют влияние совместно, что приводит к изменению положения точек на снимке и, как следствие, изменению масштаба снимка в различных его частях. Рассмотрим влияние названных факторов раздельно.

**Влияние угла наклона снимка на геометрические свойства снимка равнинной местности.** Представим, что из точки  $S$  получены два снимка: один горизонтальный  $\alpha = 0^\circ$  (при этом главный луч  $So$  имеет отвесное положение), второй наклонный  $\alpha \neq 0^\circ$  (рис. 8.3).



*Рис. 8.3. Положение горизонтального и наклонного снимков*

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Наклонный и горизонтальный снимки пересекутся по линии  $h_c h_c$ , проходящей через точку нулевых искажений с перпендикулярно линии главной вертикали (рис. 8.4).

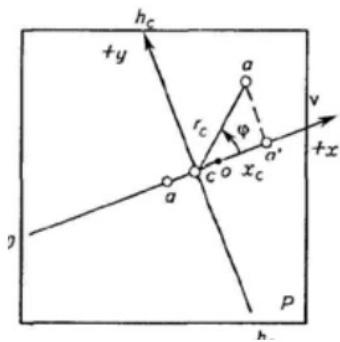


Рис. 8.4. Определение положения точки на снимке

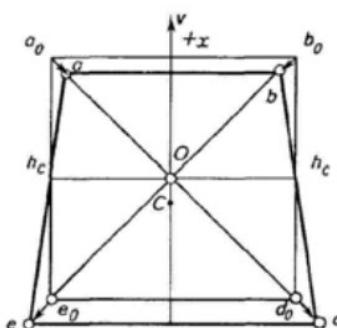


Рис. 8.5. Перспективное изменение квадратного контура на наклонном снимке

Величина смещения  $\delta_\alpha$  зависит от положения точек на снимке, угла наклона  $\alpha_p$ , фокусного расстояния  $f$  аэрофотоаппарата. Данная зависимость выражается формулой 8.2:

$$\delta_\alpha = -\frac{r_c^2 \cos \varphi \sin \alpha_p}{f - r_c \cos \varphi \sin \alpha_p}, \quad (8.2)$$

где  $r_c$  — расстояние от точки нулевых искажений с до точки на изображении;  $\varphi$  — угол, отсчитываемый от направления  $c_i$  главной вертикали до направления на искомую точку.

Аргументы  $r_c, \cos \varphi$  определяют положение точки на снимке (полярные координаты).

Анализируя формулу смещения точки за угол наклона снимка, можно сделать следующие выводы:

- смещение точки зависит от ее положения относительно линии главной вертикали и удаленности от точки нулевых искажений — чем ближе к линии главной вертикали и чем дальше от точки  $c$ , тем большее величина смещения;

- на линии нулевых искажений  $h_c h_c$  смещения точек за влияние угла наклона снимка равны нулю (из формулы видно, что угол  $\varphi$  при положении точки на  $h_c h_c$  равен  $90^\circ$ ,  $\cos \varphi = 0$ , следовательно,  $\delta_\alpha = 0$ );

- направление смещения точки зависит от знака  $\cos \varphi$ : если точки находятся между линией  $h_c h_c$  и точкой  $i$ , точки смещаются по направлению к точке нулевых искажений  $c$ ; если точки находятся между линией  $h_c h_c$  и точкой  $V_\varphi$  точки смещаются по направлению от точ-

## ГЛАВА 8. ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ СНИМОК – ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ

ки нулевых искажений с. Максимальное смещение при равных расстояниях  $r_c$  будет для точек, расположенных на главной вертикали.

Для снимков плановой съемки используют упрощенную формулу (8.3):

$$\delta_a = -\frac{r_c^2 \cos \varphi \sin \alpha_p}{f} \text{ или } \delta_a = -\frac{r_c x_c \sin \alpha_p}{f}, \quad (8.3)$$

где  $x_c = r_c \cos \omega$ .

В частях снимка, находящихся ближе к точке  $i$ , масштаб изображения мельче (знаменатель масштаба  $m$  численно больше). В частях снимка, находящихся ближе к точке  $V_0$ , масштаб крупнее.

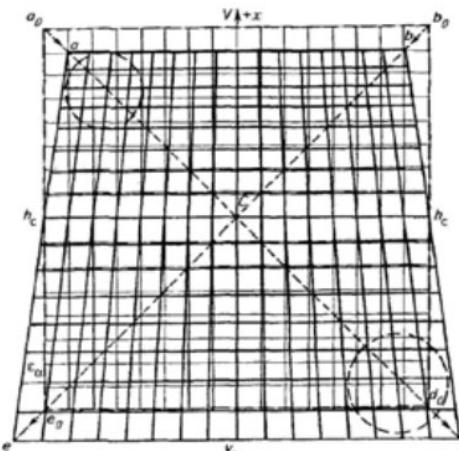


Рис. 8.6. Иллюстрация изменения масштаба на наклонном снимке

Смещение точек за влияние угла наклона приводят к изменению длин линий между соответствующими точками на наклонном и горизонтальном снимке. Это означает, что в различных частях наклонного снимка масштаб изображения неодинаков (рис. 8.6).

На линии  $h_c h_c$  масштаб (его называют главным) равен масштабу горизонтального снимка и определяется по формуле  $1/m = f/H$ , изображения крупнее (знаменатель масштаба  $m$  численно меньше).

Аналитическая зависимость изменения масштаба на наклонном снимке может быть представлена формулой

$$\frac{1}{m_\varphi} = \frac{f}{H} \left( 1 - \frac{r_c}{f} \cos \varphi \sin \alpha_p \right). \quad (8.4)$$

Смещения точек на наклонном снимке приводят также к изменению направлений линий и площадей.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Влияние рельефа местности на геометрические свойства горизонтального снимка.** Для анализа влияния данного фактора допустим, что фотографируемая местность имеет положительные и отрицательные превышения относительно средней секущей плоскости, а снимок горизонтальный ( $\alpha_p = 0^\circ$ ).

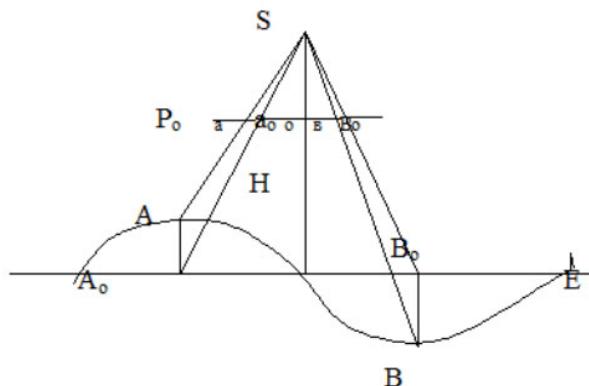


Рис. 8.7. Смещение точек на горизонтальном снимке вследствие влияния рельефа местности

На рис. 8.7 показан горизонтальный снимок  $P_0$  всхолмленной местности,  $H$  — высота аэрофотосъемки над средней секущей плоскостью  $E$ . На горизонтальном снимке точки  $o, c, p$  совпадают.

Из рис. 8.7 видно, что точка местности  $A$ , расположенная выше плоскости  $E$  на величину превышения  $h_A$ , изобразилась на снимке в точке  $a$ . Расстояние  $aa_0$  есть смещение точки  $a$  на снимке, вызванное положительным превышением точки  $A$  местности. Аналогично расстояние  $bb_0$  — смещение точки  $b$  на снимке, вызванное отрицательным превышением точки  $B$  местности. При положительных превышениях точек местности соответствующие точки снимка смещаются от точки надира, что приводит к увеличению масштаба изображения. При отрицательных превышениях происходит обратное — точки аэроснимка смещаются к точке надира, что приводит к уменьшению масштаба изображения.

Величина смещения точки за рельеф зависит от положения ее на снимке, превышения  $h$  на местности, высоты съемки  $H$  и описывается формулой:

$$\delta_h = \frac{r_n h}{H} = \frac{r_n h}{f m}, \quad (8.6)$$

где  $r$  — расстояние от точки надира  $n$  до точки снимка;  $f$  — фокусное расстояние АФА;  $m$  — масштаб аэрофотоснимка.

Из формулы видно, что:

1. Смещение за рельеф  $\delta_h$  равно нулю, если точка местности не имеет превышения относительно средней секущей плоскости  $h = 0$  или совпадает с точкой  $n$ , то есть  $r = 0$ .
2. Чем больше превышение  $h$  и  $r$ , тем больше смещение за рельеф.
3. Величина смещения за рельеф уменьшается с увеличением высоты фотографирования  $H$ . Поэтому для уменьшения влияния рельефа на смещения точек, вызывающего разномасштабность в пределах снимка, съемку рельефной местности целесообразно проводить с большей высоты, увеличивая при этом фокусное расстояние АФА (для сохранения заданного масштаба съемки).

Знаменатель масштаба для участков местности на горизонтальном снимке можно вычислить по формуле:

$$1 : m = f/H \pm h. \quad (8.7)$$

В точке  $a$  (рис. 8.7) масштаб равен  $m_a = f/H - h_A$ , в точке  $b$  масштаб равен  $m_b = f/H + h_B$ .

Выполненный геометрический анализ двух основных факторов, влияющих на геометрию снимка, показывает, что при измерительных работах на снимках необходимо учитывать изменения масштабов в пределах площади снимка. Масштаб в какой-либо части снимка называют частным масштабом. Из нескольких частных масштабов, определяемых в различных частях снимка, вычисляют средний масштаб снимка  $m_{cp}$ .

При определении по снимку длин линий можно использовать средний масштаб, если разность между средним и частными масштабами  $\Delta m$  не вызывает искажения конечного результата. Если разномасштабность наклонного снимка более допустимой, следует применять частный масштаб для данной части снимка. Например, если погрешность  $\Delta L$  определения длины линии  $L$  задается  $\Delta L/L = 1/100$ , то это означает, что  $\Delta m/m_{cp}$  должно быть  $\leq 1/100$ .

В процессе цифровой фотограмметрической обработки снимков влияние угла наклона снимка и рельефа местности устраниют.

### **■ 8.3. Фотосхемы**

*Фотосхемой* называют фотографическое изображение местности, составленное из рабочих площадей контактных или увеличенных снимков.

Фотосхемы, изготовленные из снимков одного маршрута, называют одномаршрутными. Многомаршрутные фотосхемы составляют из одномаршрутных.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Важное достоинство фотосхем — для их изготовления не требуется геодезической подготовки снимков и на монтажные работы требуется мало времени.

Фотосхемы можно использовать на стадии предварительного изучения территорий и эскизного межевания. Проектировщик при этом получает существенные преимущества в сравнении с решением тех же задач по имеющимся графическим планам или картам — фотоизображение содержит большой объем самой свежей информации о состоянии угодий, объектов инфраструктуры, водоемов и др. Фотосхемы — более удобный материал, чем отдельные снимки, для тех видов дешифрирования, в которых требуется выявление взаимосвязей объектов ландшафта, закономерностей строения рельефа на больших территориях, например при почвенном дешифрировании или мелиоративных изысканиях.

И наконец, фотосхемы — незаменимый материал при выполнении дешифровочных работ с борта самолета или вертолета (аэроизуальное дешифрирование).

Наиболее несложный способ монтажа фотосхем — по соответственным точкам.

Способ может быть реализован в двух вариантах — индивидуальной и совместной обрезки снимков.

При *индивидуальной обрезке* вблизи средней линии продольного перекрытия смежных снимков выбирают и накалывают на обоих снимках две надежно идентифицируемые точки (на рис. 8.8 точки  $a_1$ ,  $d_1$  и  $a_2$ ,  $d_2$ ). Разумеется, что эти точки должны располагаться на возможно большем расстоянии одна от другой. Приложив поочередно линейку к наколотым точкам на одном и другом снимках, их обрезают по линиям  $a_1d_1$  и  $a_2d_2$ . Аналогично обрезают остальные снимки маршрута.

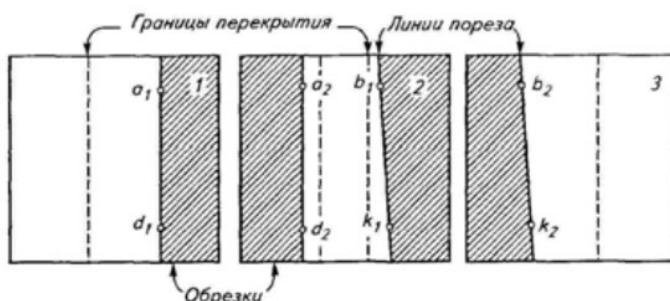


Рис. 8.8. Индивидуальная обрезка снимков при монтаже фотосхемы по соответственным точкам

При работе с гиростабилизованными снимками равнины выгодно использовать в монтаже только четные или нечетные снимки

## ГЛАВА 8. ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ СНИМОК – ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ

(монтаж через снимок). Линии порезов пройдут примерно по середине оставшегося (примерно 20 %) продольного перекрытия. Объем работ при этом сократится при улучшении или, лучше сказать, предсказуемости метрических свойств фотосхемы.

Для совместной обрезки смежные снимки накладывают один на другой, добиваясь наилучшего совмещения элементов изображения вдоль средней линии перекрытия. Качество укладки контролируют наколами в верхней и нижней частях перекрытия, а также в его средней части. Расхождение контрольных точек в середине должны быть минимальными, а вверху и внизу направлены вдоль средней линии.

Снимки разрезают совместно по кривой или ломаной линии с небольшими отклонениями от средней линии перекрытия снимков. При выборе направления изгибов линии пореза желательно линейные элементы топографической ситуации и границы угодий проходить под углами, близкими к прямому, а мелкие элементы обходить.

Вырезанные средние части снимков (рабочие площади) наклеивают безводным kleem на лист плотной бумаги, картона или другого материала. Снимки, разрезанные индивидуально, наклеивают, добиваясь минимального расхождения элементов изображения в середине пореза.

Достоинство рассмотренного способа — высокая производительность и простота технологии. Однако влияние рельефа местности и угла наклона снимка на смещение точек, используемых при монтаже, может существенно искривить направление фотосхемы даже при идеальной прямолинейности съемочного маршрута.

При монтаже возможно искривление одномаршрутной фотосхемы, вызванное влиянием рельефа. На смежных снимках точки, по которым выполняется порез, смещаются по направлению от или к точке надира. Это вызывает изменение направления линий пореза (рис. 8.9). Допустим, что точка  $a$  выше точки  $d$  на некоторую величину. Точка  $a$  снимка 1 сместится по направлению от главной точки  $o$  (строго от точки надира) на  $a^o, a_1$ , аналогично сместится и точка  $a_2$  на снимке 2. Линии порезов при этом пройдут по направлениям  $a_1d_1$  и  $a_2d_2$ . Возникает изменение направлений пореза для каждого снимка. Снимок 2 при этом развернется относительно направления съемочного маршрута. Подсоединение последующих снимков в зависимости от особенностей рельефа может привести к суммированию отклонений и образованию прогиба фотосхемы. Аналогично воздействует на непрямолинейность фотосхемы и угол наклона используемых для монтажа снимков.

Это усложняет процесс ограничения рабочих площадей на смежных одномаршрутных фотосхемах и практически исключает возможность изготовления качественной единой многомаршрутной фотосхемы.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ



Рис. 8.9. Искривление фотосхемы рельефной местности

Качество монтажа фотосхемы оценивают с помощью обрезков. На каждом порезе можно использовать любой из двух обрезков. Обрезок прикладывают к порезу так, чтобы элементы изображения на нем точно совпали с соответствующими элементами вмонтированного в фотосхему фрагмента того же снимка. Иглой вдоль пореза, возможно ближе к нему, через 2–3 см накалывают четкие точки изображения. Затем убирают обрезок и измеряют отклонения наколов от соответствующих точек на фотосхеме.

Аналогично выполняют контроль по другим порезам. Принципиально можно измерять абсолютные отклонения. Но более важно оценить размер смещения накола в продольном направлении. Если накол оказался между линией пореза и точкой, наколотой на обрезке, то изображение в этом участке пореза дублируется (дублет) — смещение на корректурном листе обозначают знаком «плюс». В противном случае на фотосхеме образовался вырез, размер которого показывают на корректурном листе со знаком «минус». Корректурный лист представляет собой уменьшенное схематическое изображение фотосхемы с примерным сохранением формы порезов (рис. 8.10).

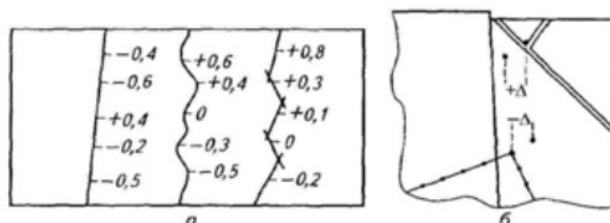


Рис. 8.10. Корректурный лист (а) и правила определения дублетов и вырезов (б)

Допустимые значения дублетов и вырезов официально не регламентируют, но очевидно, что дублеты предпочтительнее вырезов.

Фотосхемы характеризуются средним масштабом. Определить его просто и быстро можно, сопоставив два соответственных базиса, измеренных на фотосхеме и карте. Масштаб карты при этом должен быть не мельче масштаба фотосхемы. Базисы располагают по диагоналям фотосхемы.

## **ГЛАВА 8. ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ СНИМОК – ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ**

При отсутствии карты средний масштаб фотосхемы может быть определен по опознанным на фотосхеме пунктам государственной геодезической сети. Если известна высота фотографирования каждого снимка, используемого при изготовлении фотосхемы, можно по известной формуле  $1/m = f/H$  вычислить средний масштаб снимков, а затем и фотосхемы.

Измерительные свойства фотосхемы такие же, что и для отдельных снимков. Измерения небольших расстояний и площадей через порез могут содержать существенные дополнительные погрешности. О значении их можно судить по результатам оценки качества монтажа. С увеличением расстояний и площадей результаты их измерения будут точнее. Можно предположить, что площадь пахотных или других угодий административного района может быть определена по фотосхемам, при корректном определении их среднего масштаба, с точностью, приближающейся к точности решения той же задачи по планам. Разумеется, что рельеф на этой территории должен быть равнинный или всхолмленный.

### **Контрольные вопросы**

1. В разных частях крупномасштабного аэрофотоснимка, полученного АФА с широкоугольным объективом, изобразилось несколько возвышающихся линейных объектов (столбы, углы многоэтажных зданий и т. п.). Можно ли на этом снимке найти положение точки нулевых искажений?
2. Теоретически установлено, что площадь участка равнинной местности, центр которого совместился с точкой с, не искается. Как это положение можно использовать в практике выполнения измерительных работ?
3. Могут ли площади участков местности, представляющих собой наклонную плоскость, оказаться не искаженными за влияние рельефа? Ответ обосновать аналитически или графически.
4. Предложите технологию измерения площадей непосредственно по снимку с использованием современных технических средств, если установлено, что влияние всех этих факторов на искажение площадей несущественно.
5. Изменятся ли масштабы изображения двух равнинных участков местности, расположенных на разных высотах, и соотношения этих масштабов при изменении их положения в плоскости горизонтального снимка? Правильность ответа обосновать.
6. Каким способом можно уменьшить разномасштабность снимка при производстве?

## Глава 9. Теория фотограмметрической обработки одиночного топографического снимка

Цели изучения:

- знать элементы внутреннего и внешнего ориентирования аэрофотоснимка, иметь представление об аналитической связи координат точек снимка и местности;
- знать технологическую схему фотограмметрической обработки одиночного снимка.

### ■ 9.1. Системы координат, применяемые в фотограмметрии

В фотограмметрии обычно используют следующие системы координат.

Для определения положения точки на снимке применяют правую плоскую прямоугольную систему координат снимка  $o'xy$  (рис. 9.1).

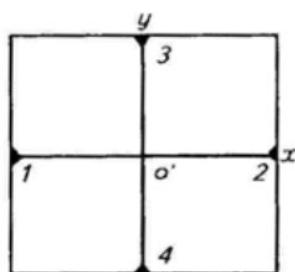


Рис. 9.1. Плоская система координат снимка

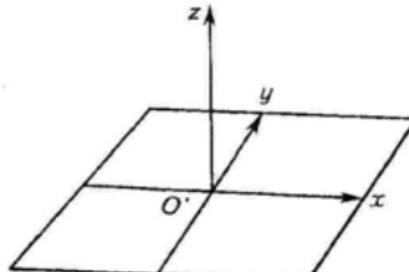


Рис. 9.2. Пространственная система координат снимка

Началом системы координат является точка  $o'$  — точка пересечения прямых, соединяющих координатные метки снимка 1—2 и 3—4. Ось  $x$  совпадает с прямой 1—2, а ее положительное направление — с направлением полета. Ось  $y$  перпендикулярна оси  $x$  и проходит через точку  $o'$ . Координаты точек  $(x, y)$ , измеренные в системе координат снимка, называют плоскими координатами. Для определения положения центра проекции относительно снимка используют пространственную систему координат снимка  $o'xyz$  (рис. 9.2). В этом случае начало системы координат и оси  $x$  и  $y$  те же, что и в плоской системе координат снимка. Ось  $o'z$  перпендикулярна плоскости снимка и дополняет систему до правой.

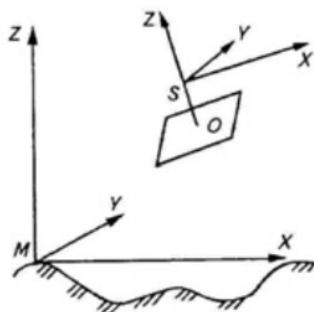


Рис. 9.3. Пространственные фотограмметрические системы координат

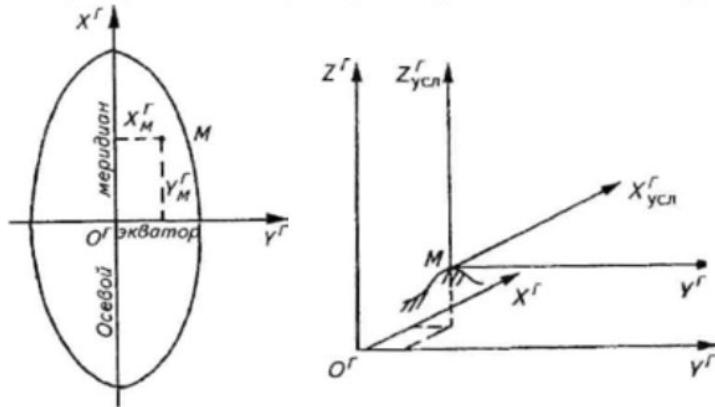


Рис. 9.4. Геодезическая система координат

Рис. 9.5. Условная геодезическая система координат

Взаимное положение точек местности определяют в *пространственной фотограмметрической системе координат*. Это правая система координат. Начало системы и направления координатных осей выбирают произвольно. Часто начало системы координат совмещают с центром проекции  $S$  —  $SXYZ$  или с какой-либо точкой местности  $M$  —  $MXYZ$ . Плоскость  $XY$  принимают горизонтальной или параллельной плоскости снимка (рис. 9.3).

Положение точек местности определяют в левой геодезической системе прямоугольных координат Гаусса —  $O^r X^r Y^r Z^r$ . Начало геодезической системы координат  $O^r$  находится в точке пересечения осевого меридиана данной зоны и экватора. Плоскость  $X^r Y^r$  — горизонтальная. Ось  $Y^r$  направлена на восток, ось  $X^r$  — на север (рис. 9.4). Условная геодезическая система координат может иметь началом любую точку местности, а ее оси сонаправлены соответствующим осям системы координат Гаусса (рис. 9.5).

## ■ 9.2. Элементы ориентирования одиночного топографического снимка

Различают элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимка.

Элементы внутреннего ориентирования определяют положение центра проекции  $S$  относительно снимка. Ими являются координаты точки  $S$  в пространственной системе координат снимка (рис. 9.6, а). Поскольку проекцией точки  $S$  на плоскости снимка является главная точка  $o$ , то их плановые координаты  $x$  и  $y$  в системе координат снимка совпадают, аппликатой точки  $S$  является расстояние  $S_o$ , т. е. фокусное расстояние АФА $f$ . Таким образом, элементами внутреннего ориентирования снимка являются координаты главной точки снимка  $x_o, y_o$  и фокусное расстояние АФА $f$ . Эти элементы известны с высокой точностью и записаны в паспорте АФА. Например,  $f = 100,020$  мм;  $x_o = -0,012$  мм;  $y_o = +0,023$  мм.

Элементы внутреннего ориентирования снимка восстанавливают связку проектирующих лучей, существовавшую при аэрофотосъемке.

Ее положение в пространстве определяют элементы внешнего ориентирования снимка. Их шесть.

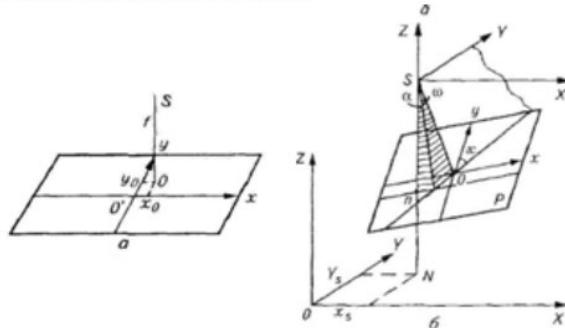


Рис. 9.6. Элементы внутреннего (а) и внешнего (б) ориентирования снимка

Это три линейных элемента — геодезические координаты центра проекции ( $X_S, Y_S, Z_S$ ) и три угловых элемента наклона и поворота снимка (рис. 9.6, б).

$\alpha$  — продольный угол наклона снимка (угол между осью  $Z$  и проекцией главного луча на плоскость);

$\omega$  — поперечный угол наклона снимка (угол между главным лучом и проекцией главного луча на плоскость  $XZ$ );

$\chi$  — угол поворота снимка (угол на снимке между осью  $u$  и следом сечения плоскости снимка с плоскостью, построенной на главном луче и оси  $Y$ ).

## ГЛАВА 9. ТЕОРИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОДНОЧНОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО СНИМКА

В аналитической фотограмметрии горизонтальным снимком называют снимок, все три угла наклона и поворота которого равны нулю, т. е.  $\alpha = \omega = \kappa = 0$ .

Следует заметить, что для всех снимков, полученных данным АФА, элементы внутреннего ориентирования можно считать постоянными известными величинами. Элементы внешнего ориентирования у каждого снимка свои и, как правило, неизвестны.

### ■ 9.3. Аналитическое трансформирование топографических снимков

Конечная цель фотограмметрической обработки снимков — преобразование их в заданную картографическую проекцию местности. В Российской Федерации, как известно, такой проекцией является равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса — Крюгера. Преобразование снимков в проекцию Гаусса — Крюгера требует выполнения громоздких вычислений. При крупномасштабном картографировании проекция Гаусса — Крюгера как математическая основа топографической карты часто заменяется близкой к ней по геометрическим свойствам ортогональной проекцией.

В фотограмметрии под *трансформированием* понимают преобразование аэро- или космических снимков, полученных в большинстве случаев в центральной проекции, в ортогональную или какую-либо иную картографическую проекцию.

Суть аналитического трансформирования заключается в преобразовании координат точек снимка в координаты соответствующих точек местности с использованием строгих математических зависимостей.

Три пространственные геодезические координаты ( $X^r, Y^r, Z^r$ ) точки местности  $A$  связаны с плоскими координатами ( $x, y$ ) точки  $a$  снимка с помощью элементов внутреннего и внешнего ориентирования снимка.

$$\begin{array}{c} X^r \quad X_s \\ \hline Z^r \quad Z_s \end{array} \begin{array}{l} \frac{a_1 \quad x \quad x_0 \quad a_2 \quad y \quad y_0 \quad a_3 f}{c_1 \quad x \quad x_0 \quad c_2 \quad y \quad y_0 \quad c_3 f}, \\ \frac{X \quad X_s}{Z^r \quad Z_s} \begin{array}{l} b_1 \quad x \quad x_0 \quad b_2 \quad y \quad y_0 \quad b_3 f \\ \hline c_1 \quad x \quad x_0 \quad c_2 \quad y \quad y_0 \quad c_3 f \end{array}. \end{array} \quad (9.1)$$

Уравнения (9.1) называют *уравнениями коллинеарности* проектирующих лучей, или *формулами связи координат* точек снимка и местности. В этих формулах коэффициенты  $a_1, a_2, \dots, c_2, c_3$  называются *направляющие косинусы*.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Направляющие косинусы определяют угловое ориентирование двух развернутых относительно друг друга систем координат — пространственной системы координат снимка и геодезической системы координат. Это косинусы углов, образованных парами координатных осей этих систем координат. Пары координатных осей, взятых по одной из каждой системы, образуют 9 углов, косинусы которых приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1

### Направляющие косинусы

Оси геодезической системы координат	Оси пространственной системы координат снимка		
	x	y	z
$X^G$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$Y^G$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
$Z^G$	$c_1$	$c_2$	$c_3$

Так, направляющий косинус  $b_1$  — косинус угла, образованного осью x снимка и осью YZ геодезической системы.

Девять направляющих косинусов связаны между собой шестью независимыми уравнениями:

$$\begin{aligned} a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 &= 1; \\ b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 &= 1; \\ c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 &= 1. \\ a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3 &= 0; \\ a_1 c_1 + a_2 c_2 + a_3 c_3 &= 0; \\ b_1 c_1 + b_2 c_2 + b_3 c_3 &= 0. \end{aligned} \tag{9.2}$$

Поэтому девять направляющих косинусов зависят от трех углов. В фотограмметрии этими углами являются три угла наклона и поворота снимка —  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$ .

Направляющие косинусы являются функциями угловых элементов внешнего ориентирования снимка, их вычисляют по следующим формулам:

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos \alpha \cos \kappa - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa; \\ a_2 &= -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa; \\ a_3 &= -\sin \alpha \cos \omega; \\ b_1 &= \cos \omega \cos \kappa; \\ b_2 &= \cos \omega \sin \kappa; \\ b_3 &= -\sin \omega; \\ c_1 &= \sin \alpha \cos \kappa + \cos \alpha \sin \omega \sin \kappa; \\ c_2 &= -\sin \alpha \sin \kappa + \cos \alpha \sin \omega \cos \kappa; \\ c_3 &= \cos \alpha \cos \omega. \end{aligned} \tag{9.3}$$

## ГЛАВА 9. ТЕОРИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОДИНОЧНОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО СНИМКА

Если направляющие косинусы известны, то можно определить угловые элементы внешнего ориентирования снимка:

$$\begin{aligned} \alpha &= \operatorname{arctg} (a_3/c_3); \\ \omega &= \arcsin (-b_3); \\ \chi &= \operatorname{arctg} (b_1/b_2). \end{aligned} \quad (9.4)$$

Для горизонтального снимка матрица направляющих косинусов превращается в единичную матрицу, все элементы которой равны нулю, кроме элементов, стоящих на главной диагонали.

$$a_1 = b_2 = c_3 = 1.$$

Как следует из анализа формул (9.1), связь между геодезическими координатами точки местности и ее плоскими координатами на снимке осуществляется посредством элементов внутреннего и внешнего ориентирования снимка.

$$\begin{aligned} X^r &= X_S^r + (Z^r - Z_S^r) \frac{a_1(x-x_0) + a_2(y-y_0) - a_3f}{c_1(x-x_0) + c_2(y-y_0) - c_3f}; \\ Y^r &= Y_S^r + (Z^r - Z_S^r) \frac{b_1(x-x_0) + b_2(y-y_0) - b_3f}{c_1(x-x_0) + c_2(y-y_0) - c_3f}. \end{aligned} \quad (9.5)$$

Задачу по определению геодезических координат точки местности по измеренным координатам ее изображения на снимке называют *прямой фотограмметрической засечкой*.

Однако система из двух уравнений с тремя неизвестными не имеет однозначного решения. Следовательно, по одиночному снимку нельзя определить все три пространственные координаты точки местности. Однозначности решения достигают в том случае, если одну из неизвестных величин задают с достаточной точностью. При аналитической обработке одиночного снимка этой величиной является высотная координата  $Z^r$  точки местности.

Существует несколько способов задания высоты точки местности для решения прямой фотограмметрической засечки.

Если требуется вычислить плановые координаты небольшого числа точек, то высоты этих точек могут быть определены по имеющимся планам с горизонталиями при отождествлении на них этих точек.

В случае равнинной местности всем точкам присваивают одинаковую высоту  $Z_{cp}$ , равную средней отметке снимаемой местности. Возможность использования этого способа определяется предварительным расчетом допустимых перепадов высот снимаемой местности. Предварительный расчет проводят по формуле:

$$h_{\text{пред}} = -\frac{2\delta_{h \text{ доп}} M f}{r_{\max}} \quad (9.6)$$

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

где  $h_{\text{пер}} — \text{допустимый перепад высот снимаемой местности}; \delta h_{\text{см}} — \text{допустимое смещение точек за рельеф на плане}; M — \text{знаменатель масштаба создаваемого плана}; f — \text{фокусное расстояние АФА}; r_{\text{max}} — \text{расстояние от точки надира до угла рабочей плоскости снимка}.$

Действительный перепад высот на снимаемой местности можно определить по существующим планам с горизонталиями. Если он меньше допустимого, рассчитанного по формуле (9.6), то местность можно считать равнинной и всем точкам местности присвоить одинаковую высоту  $Z_{cp}$ .

В случае, когда действительный перепад высот превышает допустимый, создают цифровую модель рельефа. Высоты точек местности определяют посредством цифровой модели рельефа.

Точность определения плановых геодезических координат  $X^r; Y^r$  точки местности зависит от точности задания высотной координаты  $Z^r$ . Таким образом, одиничный снимок дает возможность вычислять плановые геодезические координаты  $X^r; Y^r$  точек местности, если известны элементы ориентирования снимка и имеется информация о рельефе местности.

### ■ 9.4. Определение элементов внешнего ориентирования топографического аэрофотоснимка

Решение прямой фотограмметрической засечки возможно при условии, что элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимка известны. Как уже отмечалось, элементы внутреннего ориентирования снимка известны. Их определяют при фотограмметрической калибровке АФА с точностью 0,001 мм и записывают в его паспорт.

Элементы внешнего ориентирования снимка можно определить различными способами. Их делят на две группы.

Первую группу составляют способы определения элементов внешнего ориентирования снимков в полете с помощью специальных приборов. Например, координаты центров проекций находят по показаниям GPS-приемников, установленных на борту летательного аппарата. Угловые элементы внешнего ориентирования определяют с помощью инерциальных систем навигации. Координаты центров проекции в этом случае определяют с точностью 10–20 см, а угловые элементы с точностью 3–4'.

Способы второй группы позволяют вычислять элементы внешнего ориентирования снимков по опорным точкам. *Опорными точками* (опознаками) называют точки с известными геодезическими координатами и надежно отождествляемые на изображении. Опор-

## ГЛАВА 9. ТЕОРИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОДНОЧНОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО СНИМКА

ные точки могут быть плановыми — для них известны только плановые координаты ( $X, Y$ ); высотными — с известной высотной координатой ( $Z$ ); планово-высотными — с тремя известными координатами ( $X, Y, Z$ ). Определение элементов внешнего ориентирования снимков с использованием опорных точек называют *обратной фотограмметрической засечкой*. Ее решают аналитически с использованием уже известных из параграфа 9.3 уравнений (9.5) связи координат точек снимка и местности.

В правых частях уравнений (9.5) содержатся все шесть искомых элементов внешнего ориентирования снимка. Для одной опорной точки с геодезическими координатами ( $X^r, Y^r, Z^r$ ) и измеренными координатами ( $x, y$ ) ее изображения на снимке можно составить два независимых уравнения вида (9.5) с шестью неизвестными величинами  $X_s^r, Y_s^r, Z_s^r, a, \omega, \kappa$ . Чтобы однозначно определить все шесть элементов внешнего ориентирования, необходимо объединить в систему не менее шести независимых уравнений, содержащих искомые элементы. Для этого требуется не менее трех планово-высотных опорных точек.

Для решения обратной фотограмметрической засечки с контролем используют четыре опорные точки и более, расположенные по углам снимка. Увеличение числа опорных точек позволяет также отбраковывать грубые измерения.

### ■ 9.5. Раздельное определение элементов внешнего ориентирования снимка при фотограмметрической обработке его частей

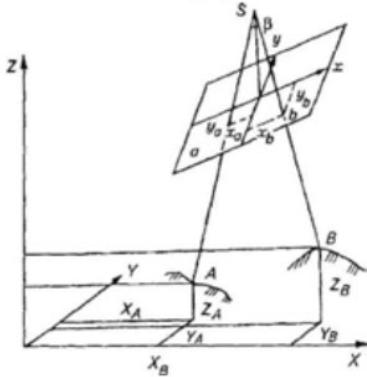
При решении обратной фотограмметрической засечки способом, описанным в параграфе 9.3, важно, чтобы координаты опорных точек ( $x, y$ ), входящие в уравнения связи координат, были измерены в системе координат снимка ( $o', x, y$ ). Это не всегда возможно. Например, при работе с частями увеличенных снимков координатные метки могут не попасть на обрабатываемый фрагмент или число изобразившихся на фрагменте координатных меток недостаточно для восстановления системы координат снимка.

В этом случае для определения элементов внешнего ориентирования снимка можно использовать способ, не зависящий от выбора системы координат на снимке. Это способ раздельного определения линейных и угловых элементов ориентирования снимка.

Сначала находят линейные элементы  $X_s^r, Y_s^r, Z_s^r$ . Для этого используют условие равенства углов между проектирующими лучами в треугольнике  $Sab$  и в треугольнике  $SAB$  (рис. 9.7). Очевидно, что угол  $ASB$  равен углу  $aSb$ . Косинусы этих углов также равны и могут быть

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

вычислены с использованием теоремы косинусов из соответствующих треугольников  $Sab$  и  $SAB$ , а затем приравнены между собой.



*Рис. 9.7. Принцип раздельного определения элементов внешнего ориентирования снимка*

В итоге получают уравнение:

$$\frac{x_a x_b + y_a y_b + f^2}{l_a l_b} = \frac{(X_A^\Gamma - X_S^\Gamma)(X_A^\Gamma - X_S^\Gamma) + (Y_A^\Gamma - Y_S^\Gamma)(Y_B^\Gamma - Y_S^\Gamma) + (Z_A^\Gamma - Z_S^\Gamma)(Z_B^\Gamma - Z_S^\Gamma)}{L_A L_B}, \quad (9.7)$$

где  $l_a, l_b$  — длины векторов  $S_a$  и  $S_b$  соответственно;  $L_A$  и  $L_B$  — длины векторов  $SA$  и  $SB$  соответственно, которые рассчитывают по формулам:

$$l_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + f^2};$$

$$L_i = \sqrt{(X_i^\Gamma - X_S^\Gamma)^2 + (Y_i^\Gamma - Y_S^\Gamma)^2 + (Z_i^\Gamma - Z_S^\Gamma)^2}.$$

Для двух опорных точек  $A$  и  $B$  можно составить одно уравнение вида (9.7), в котором  $(X_A^\Gamma; Y_A^\Gamma; Z_A^\Gamma)$  и  $(X_B^\Gamma; Y_B^\Gamma; Z_B^\Gamma)$  — геодезические координаты соответственно точек  $A$  и  $B$ ;  $(x_a; y_a)$ ;  $(x_b; y_b)$  — координаты точек  $a$  и  $b$  на снимке.

Для измерения этих координат можно построить на снимке прямоугольную систему координат с произвольным началом и произвольным ориентированием осей.

Неизвестными величинами в уравнении (9.7) являются геодезические координаты центра проекции  $X_S^\Gamma, Y_S^\Gamma, Z_S^\Gamma$ , входящие в правую часть уравнения. Для их нахождения требуются как минимум три опорные точки;  $n$  опорных точек позволяют составить  $n(n - 1)/2$  уравнений вида (9.7), чтобы решить задачу с контролем.

После определения координат центра проекции вычисляют угловые элементы внешнего ориентирования снимка. Их вычисляют, также используя опорные точки, по следующим формулам:

$$\begin{aligned} (X^r - X_s^r)k &= a_1x + a_2y - a_3f; \\ (Y^r - Y_s^r)k &= b_1x + b_2y - b_3f; \\ (Z^r - Z_s^r)k &= c_1x + c_2y - c_3f, \end{aligned} \quad (9.8)$$

где  $X^r, Y^r, Z^r$  — геодезические координаты опорных точек;  $k$  — масштабный коэффициент,  $k = l/L$ ;  $x, y$  — координаты опорных точек в системе координат снимка.

В этих формулах угловые элементы внешнего ориентирования снимка являются аргументами формул, определяющих направляющие косинусов  $a_i, b_i, c_i$ . По найденным направляющим косинусам вычисляют углы:

$$\begin{aligned} \alpha &= \operatorname{arctg}(a_3/c_3); \\ \omega &= \arcsin(-b_3); \\ \varkappa &= \operatorname{arctg}(b_1/b_2). \end{aligned}$$

В некоторых случаях, например, при работе с архивными снимками, элементы внутреннего ориентирования АФА могут быть неизвестными. Фотограмметрическая обработка снимков с неизвестными элементами внутреннего и внешнего ориентирования возможна. Для их нахождения также можно использовать опорные точки. В этом случае для нахождения девяти неизвестных элементов ориентирования снимка:  $x_o, y_o, f, X_s^r, Y_s^r, Z_s^r, \alpha, \omega, \varkappa$  составляют систему уравнений коллинеарности как минимум для пяти опорных точек, не лежащих на одной прямой и в одной плоскости.

## ■ 9.6. Математический метод решения фотограмметрических задач

Рассмотренные варианты решения обратной фотограмметрической засечки предполагают составление и решение систем нелинейных уравнений, в которых число неизвестных более двух. При решении таких систем в фотограмметрии достаточно широко используют метод функциональной итерации.

Суть этого метода заключается в том, что исходные нелинейные уравнения вида  $f(x_1, x_2, \dots, x_k) = 0$  линеаризуют (приводят к линейному виду), раскладывая в ряд Тейлора.

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_k) = a_i \delta x_1 + b_i \delta x_2 + \dots + g_i \delta x_k + r_i$$

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

где  $i$  — номер уравнения,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $x_1, x_2, \dots, x_k$  — искомые неизвестные;  $a_i, b_i, \dots, g_i$  — коэффициенты при поправках — частные производные исходной функции по соответствующим неизвестным. Так,  $a_i = \partial f_i / \partial x_1$ ,  $b_i = \partial f_i / \partial x_2, \dots$ ,  $g_i = \partial f_i / \partial x_k$ ;  $\delta x_1, \delta x_2, \dots, \delta x_k$  — поправки к приближенным значениям неизвестных;  $r_i$  — свободный член, значение данной функции при приближенных значениях функции.

Таким образом, получают систему линейных уравнений, где неизвестными являются поправки к приближенно заданным значениям искомых неизвестных параметров:

$$a_i \delta x_1 + b_i \delta x_2 + \dots + g_i \delta x_k + f_i(x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0) = 0, \quad (9.9)$$

где  $x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0$  — приближенные значения неизвестных.

Систему линейных уравнений поправок решают по способу наименьших квадратов, поскольку число неизвестных  $k$  всегда меньше общего числа уравнений поправок  $n$ .

Найденными поправками исправляют первоначально заданные значения неизвестных, получают новые приближенные их значения. После этого составляют новую систему уравнений относительно новых поправок к новым приближенным значениям неизвестных. Начинается следующая итерация — следующий цикл в решении системы уравнений поправок. С каждой новой итерацией значение поправок уменьшается.

Вычисления повторяют до тех пор, пока значения поправок не станут меньше заранее заданного значения, которое определяют исходя из требуемой точности. Важно при выборе начальных значений неизвестных попасть в некоторую область искомых величин.

Таким образом, при аналитическом решении многих фотограмметрических задач возникает необходимость включать в исходные данные приближенные значения искомых величин.

Рассмотрим пример. Для решения задачи ориентирования планового одиночного снимка требуется задать приближенные значения его элементов внешнего ориентирования:  $X_S^r, Y_S^r, Z_S^r, \alpha, \omega, \chi$ . Как это сделать?

Сначала определимся с угловыми элементами. Поскольку снимок плановый, его продольный  $\alpha$  и поперечный  $\omega$  углы наклона не превышают  $3^\circ$ .

Поэтому в качестве первого приближения этих величин можно задать их значения, равные  $0^\circ$ . Угол  $\chi$  зависит от направления аэрофотосъемочного маршрута и приблизительно  $\chi = a_A - 90^\circ$  (где  $a_A$  — дирекционный угол направления маршрута). Для определения по снимку дирекционного угла направления съемки можно воспользоваться опорными точками. Выбирают две из них, определяющие направление, приблизительно параллельное осям  $x$  снимка. Например, точки 1–2 или 3–4 на рис. 9.8.

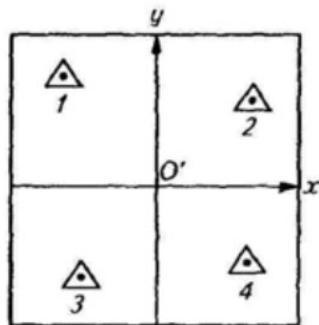


Рис. 9.8. Пример использования опорных точек для определения приближенного значения угла  $\chi$  и плановых координат центра проекции

По координатам этих опорных точек вычисляют дирекционный угол этого направления. Затем его используют для вычисления приближенного значения угла  $\chi$ . Для определения приближенных значений координат центра проекции также можно воспользоваться опорными точками. Плановые координаты  $(X_s^r, Y_s^r)$  центра проекции  $S$  совпадают с плановыми координатами проекции точки надира  $N$   $(X_N^r, Y_N^r)$ . На плановом снимке точка надира  $n$  находится, как известно, вблизи начала системы координат снимка. Поэтому приближенные координаты проекции точки надира  $(X_N^r, Y_N^r)$  можно заменить координатами точки  $O'$  местности. Ее же приближенные плановые геодезические координаты определяются как среднее арифметическое соответствующих геодезических координат опорных точек:

$$X_s^r = (X_1^r + X_2^r + X_3^r + X_4^r)/4;$$

$$Y_s^r = (Y_1^r + Y_2^r + Y_3^r + Y_4^r)/4.$$

Высотную координату центра проекции  $Z_s^r$  определяют как сумму средней высоты опорных точек и высоты фотографирования:

$$Z_s^r = (Z_1^r + Z_2^r + Z_3^r + Z_4^r)/4 + H,$$

где  $H$  — высота фотографирования,  $H = mf$  (здесь  $m$  — знаменатель масштаба снимка, который также можно вычислить с помощью опорных точек:  $m = L/l$ , где  $L$  — расстояние между опорными точками  $i$  и  $j$  на местности, а  $l$  — расстояние между теми же опорными точками на снимке).

В результате для всех шести элементов внешнего ориентирования снимка вычислены приближенные значения, которые будут уточняться в процессе решения обратной фотограмметрической засечки методом функциональной итерации.

## ■ 9.7. Цифровые модели рельефа

Цифровая модель рельефа (ЦМР) — это цифровое представление земной поверхности как непрерывного явления, описывающее ее с определенной точностью. Под ЦМР понимают множество точек с известными геодезическими координатами ( $X^r, Y^r, Z^r$ ) и правило определения высоты  $Z^r$  любой другой точки, не входящей в это множество. Точки с известными геодезическими координатами в данном случае принято называть высотными пикетами. Правило определения высоты называют правилом интерполяции высот, или *аналитической моделью рельефа* (AMP).

Методы построения цифровых моделей рельефа различают по схемам расположения высотных пикетов и по способам интерполяции высот в промежутках между ними.

По схемам расположения высотных пикетов ЦМР делят на регулярные, полурегулярные и структурные.

В *регулярных моделях* высотные пикеты расположены в узлах сеток квадратов, прямоугольников или равносторонних треугольников (рис. 9.9, а). Недостатком этих моделей является то, что наиболее значимые точки рельефа, находящиеся на линиях тальвегов и водоразделов, перегибах скатов, могут оказаться между узлами сетки и не отобразиться на ЦМР. В связи с этим важно выбрать оптимальный шаг сетки, так как с его увеличением возрастают погрешности ЦМР, а с уменьшением — объем ЦМР, время и средства на ее создание.

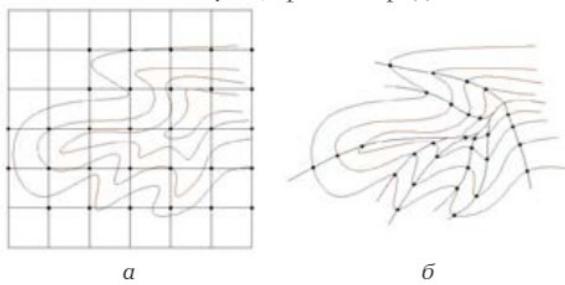


Рис. 9.9. Регулярные (а) и структурные (б) цифровые модели рельефа

Для наиболее правильного описания рельефа с использованием меньшего числа высотных пикетов создают *структурные* ЦМР (рис. 9.9, б).

В *полурегулярных моделях* (рис. 9.10) высотные пикеты располагают на поперечниках к заданным линиям. Пикеты могут находиться на поперечниках либо на одинаковых расстояниях друг от друга, либо на перегибах скатов. Полурегулярные ЦМР в основном используют при проектировании трасс линейных сооружений (дорог, линий электропередачи, нефте- и газопроводов и т. п.).

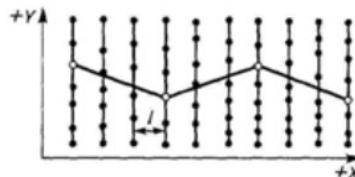


Рис. 9.10. Полурегулярная цифровая модель рельефа

В этих моделях положение высотных пикетов определяется структурой рельефа — их выбирают в его характерных точках.

Координаты высотных пикетов, используемых для построения ЦМР, могут быть получены в результате полевых геодезических измерений, по топографическим картам, по результатам воздушного и космического лазерного сканирования, путем стереофотограмметрической обработки снимков.

Для определения отметок точек, находящихся между высотными пикетами, применяют различные способы линейного и нелинейного интерполяции.

При использовании регулярных ЦМР с малым шагом сетки отметки промежуточных точек можно определить двойным линейным интерполяцией (рис. 9.11).

Высота  $i$ -й точки с плановыми координатами  $(X_i, Y_i)$  может быть определена с использованием полинома первой, второй и реже третьей степени. Например,

$$Z_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i + a_3 X_i Y_i + a_4 X_i^2 + a_5 Y_i^2. \quad (9.10)$$

Полный полином второй степени содержит шесть неизвестных коэффициентов  $a_i$ . Эти коэффициенты определяют, решая систему уравнений вида (9.10), составленных для высотных пикетов, находящихся вблизи определяемой  $i$ -й точки с координатами  $(X_i, Y_i)$ . Для каждой определяемой точки подбирают свой полином, который может отличаться как коэффициентами, так и числом входящих в него членов. Выбор высотных пикетов, используемых для вычисления коэффициентов  $a_i$ , зависит от задаваемого радиуса  $R$  зоны их поиска.

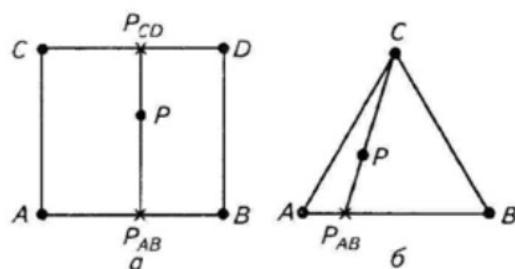


Рис. 9.11. Принцип двойного интерполяирования высот в регулярных ЦМР:

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

- a) вычисляют высоты точек  $P_{CD}$  и  $P_{AB}$  интерполяцией соответственно по линиям  $CD$  и  $AB$  и высоту точки  $P$  интерполяцией по линии  $P_{CD}P_{ab}$ ;
- б) вычисляют высоту точки  $P_{AB}$  интерполяцией по линии  $AB$  и высоту точки  $P$  интерполяцией по линии  $CP_{AB}$

В структурных ЦМР применяют, как правило, линейные методы интерполяции. Цифровые модели рельефа используют при изготовлении ортофотопланов, для создания оригинала рельефа в горизонталях и как самостоятельный слой в геоинформационных системах (ГИС).

### **■ 9.8. Расчет параметров аэрофотосъемки при фотограмметрической обработке одиночного снимка**

Выбор параметров АФС определяется прежде всего видом конечной планово-картографической продукции (контурный или топографический план) соответствующего масштаба, а также применяемой технологией ее создания.

Поскольку в цифровых технологиях фотограмметрической обработки снимков основным результатом является вычисление геодезических координат точек местности, то выбор параметров АФС должен основываться на обеспечении требуемой точности их получения. Необходимая точность обусловлена типом задач, которые будут решать с помощью создаваемых планово-kartографических материалов. Меньшая точность не позволит качественно решать поставленную задачу, избыточная ведет к увеличению материальных, трудовых и временных затрат.

В зависимости от выбранной технологии планово-картографическую продукцию можно изготовить на основе фотограмметрической обработки одиночного снимка либо стереопары.

Рассмотрим подробнее подход к выбору параметров АФС для каждого из этих двух способов.

Конечной продукцией могут быть цифровая модель ситуации (ЦМС) и ее производные (контурный план, фотоплан и т. п.). ЦМС не содержит информацию о рельефе, поэтому при ее создании предъявляются требования к точности плановых координат точек местности.

Использование современных типов аэрофотопленок с высокой разрешающей способностью и высококачественных объективов АФА позволяет применять большие коэффициенты увеличения  $K = m/M$  ( $m$  — знаменатель масштаба съемки;  $M$  — знаменатель масштаба создаваемого плана).

## ГЛАВА 9. ТЕОРИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОДНОЧНОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО СНИМКА

Большие коэффициенты увеличения дают возможность выполнять аэрофотосъемку в масштабе мельче, чем создаваемые планы и карты. Экономически это выгодно: меньшее число полученных снимков, покрывающих территорию, соответственно сокращаются затраты на производство летно-съемочных работ, расходы на фотоматериалы, химикаты, привязку снимков и фотограмметрическую обработку снимков. Коэффициент увеличения может составлять 8–10 крат и более.

Таким образом, исходя из знаменателя масштаба создаваемого плана и задаваясь возможным коэффициентом увеличения, рассчитывают знаменатель масштаба аэрофотосъемки по формуле  $m = KM$ .

Далее выбирают фокусное расстояние АФА и вычисляют высоту фотографирования, используя известное соотношение  $1/m = f/H$ . Как видно из формулы, существует множество пар значений  $f$  и  $H$ , удовлетворяющих рассчитанному значению  $m$ . Выбирается такая пара значений, которая обеспечит получение требуемой точности определения плановых координат  $m_{xy}$ .

Для этого сначала рассчитывают значение фокусного расстояния АФА по формуле:

$$f_{\text{расч}} = hr/(2m_{xy}M), \quad (9.11)$$

где  $h$  — перепад высот точек местности в пределах рабочей площади снимка;  $r$  — расстояние от главной точки снимка до угла рабочей площади (при продольном перекрытии  $p_x = 60\%$ , поперечном перекрытии  $p_y = 40\%$  и формате снимка  $180 \times 180$  мм  $r = 70$  мм);  $m_{xy}$  — требуемая точность получения плановых координат, которую определяет масштаб создаваемого плана;  $M$  — знаменатель масштаба создаваемого плана.

Значение фокусного расстояния АФА выбирают ближайшим большим  $Kf_{\text{расч}}$ .

Высоту фотографирования рассчитывают по формуле  $H = fm$ , при этом абсолютная высота фотографирования  $H_0$  не должна превышать потолка полета аэросъемочного самолета:

$$H_0 = H + Z_{cp},$$

где  $Z_{cp}$  — среднее превышение снимаемого участка над уровнем моря.

Абсолютную высоту фотографирования используют как один из факторов, определяющих выбор типа самолета, — предельная высота полета самолета (потолок) должна быть не менее абсолютной высоты фотографирования  $H_0$ .

**Пример.** Рассмотрим расчет параметров аэрофотосъемки для создания кадастрового плана масштаба 1:2000 на территорию поселений с перепадом высот 15 м; допустимая точность получения плановых координат соответствует 0,3 мм в масштабе создаваемого

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

плана; продольные и поперечные перекрытия соответственно равны  $p_x = 60\%$  и  $p_y = 40\%$ ; размер снимка  $180 \times 180$  мм.

Примем возможный коэффициент увеличения  $K = 5$ . Таким образом, получаем знаменатель масштаба съемки  $m = 5 \times 2000 = 10\,000$ .

Исходя из заданных условий, вычислим фокусное расстояние  $f_{расч}$  при этом будем считать, что перепад высот приходится на территорию, покрываемую одним снимком (критический случай). Аргументы, входящие в формулу (9.11), будут равны:  $h = 15$  м,  $r = 70$  мм,  $m_{xy} = 0,3$  мм,  $M = 2000$ . Таким образом,  $f_{расч} = 15 \text{ м} \times 70 \text{ мм} / (2 \times 0,3 \text{ мм} \times 2000) = 0,875 \text{ м} = 875 \text{ мм}$ . Ближайшее большее стандартное значение фокусного расстояния АФА  $f = 1000$  мм.

Зная знаменатель масштаба аэрофотосъемки и фокусное расстояние АФА, рассчитаем высоту фотографирования  $H = 1000 \text{ мм} \times 10\,000 = 10\,000$  м.

В случае, когда рассчитанная высота фотографирования превышает потолок используемого аэрофотосъемочного самолета, необходимо либо уменьшить принятый коэффициент увеличения, либо выбрать АФА с меньшим фокусным расстоянием, а в последующей фотограмметрической обработке использовать цифровую модель рельефа.

Анализ формулы (9.11) показывает, что уменьшить  $f_{расч}$  при тех же исходных данных можно, уменьшив расстояние  $r$  от главной точки снимка до угла рабочей площадки (уменьшив рабочую площадь), то есть увеличив продольные и поперечные перекрытия снимков.

Если технические возможности позволяют импортировать в программу фотограмметрической обработки одиночного снимка цифровую модель рельефа, то точность используемой ЦМР должна обеспечить требуемую точность получения плановых геодезических координат точек местности. В этом случае минимально возможное

$$f_{расч} = \Delta h r / (2m_{x,y}M), \quad (9.12)$$

где  $\Delta h$  — точность построения ЦМР.

### ■ 9.9. Технология создания векторного плана методом цифровой фотограмметрической обработки одиночного снимка

Фотограмметрическая обработка одиночного снимка состоит из нескольких этапов:

- подготовительные работы;
- ввод изображения;
- векторизация и корректировка векторизованного изображения;
- трансформирование векторизованного изображения;
- соединение (шивка) трансформированных снимков или их фрагментов;
- создание контурного плана.

## **ГЛАВА 9. ТЕОРИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОДНОЧНОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО СНИМКА**

*Подготовительные работы* включают подбор негативов, контактных снимков, существующих топографических планов и карт на объект работ. Также подбирают материалы полевой привязки аэрофотоснимков и фототриангуляции. Кроме того, получают паспортные данные АФА (элементы внутреннего ориентирования, эталонные координаты меток и контрольных крестов, данные о дисторсии объектива) и параметры аэрофотосъемки (масштаб и высоту фотографирования). Если при производстве аэрофотосъемки на борту летательного аппарата были установлены GPS-приемники и инерциальные системы навигации, то в ходе подготовительных работ подбирают результаты обработки их показаний.

В качестве исходного изображения при фотограмметрической обработке можно использовать негативы аэрофильма, дешифрованные снимки или их увеличенные фрагменты.

*Ввод изображения* осуществляют преимущественно сканированием. Выбирают сканирующее устройство по ряду критерий: требуемым техническим характеристикам (разрешающая способность, позиционная точность) и соотношению цена/производительность.

Рассчитывают необходимые технические характеристики сканера следующим образом. Минимальная линейная разрешающая способность может быть определена по линейной разрешающей способности обрабатываемых снимков. Например, в случае использования снимков с разрешающей способностью  $25 - 30 \text{ мм}^{-1}$  минимальный элемент изображения на снимке будет иметь размер  $1/50 - 1/60 \text{ мм}$ , т. е. приблизительно  $0,02 \text{ мм}$ . Во избежание потери информации при сканировании необходимо, чтобы на минимальный элемент изображения приходилось не менее двух пикселей. Требуемая разрешающая способность сканера в этом случае будет составлять  $2 \times 25,4 \text{ мм}/0,02 \text{ мм} = 2500 \text{ dpi}$ .

Позиционная точность сканера должна быть не хуже требуемой точности измерения координат на снимке, которая составляет примерно  $2 - 5 \text{ мкм}$ . Такой высокой позиционной точностью обладают лишь дорогостоящие фотограмметрические сканеры. Однако использование программ геометрической коррекции растра позволяет применять непрофессиональные офисные сканеры при фотограмметрической обработке снимков.

*Векторизация* — процесс представления результатов дешифрования в векторной форме. Векторизацию можно осуществлять вручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах.

При ручной векторизации оператор курсором последовательно обходит все поворотные точки границ контуров дешифрованных объектов. Эту операцию проводят на экране монитора с помощью «мыши». При этом автоматически записываются в память компьютера координаты ( $x, y$ ) этих точек. Ручную векторизацию можно выполнять в случае сканирования дешифрованного изображения,

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

а также в случае ввода недешифрированного изображения, например негативов аэрофильма. В таком варианте дешифрирование проводят на увеличенных снимках, и его результаты оператор переносит на сканированное изображение в процессе векторизации.

Полуавтоматическую векторизацию выполняют на дешифрированном сканированном изображении. Оператор наводит курсор на одну из точек границы контура на экране монитора. При этом автоматически записываются координаты ( $x, y$ ) всех поворотных точек границы указанного контура.

При автоматической векторизации происходит автоматическое считывание координат поворотных точек границ всех дешифрированных объектов. В этом случае оператор лишь контролирует и при необходимости корректирует данный процесс.

Кроме того, при векторизации по материалам привязки или фототриангуляции на сканированное изображение переносят опорные точки. При этом осуществляется автоматическое измерение их координат. В ряде случаев на сканированном изображении указываются координатные метки.

Координатные метки позволяют перейти из системы координат монитора, в которой происходит автоматическое измерение координат точек снимка, в систему координат снимка. Такой переход не всегда обязательен (см. пункт 9.5). Его необходимость зависит от используемого алгоритма решения обратной фотограмметрической засечки.

Корректировка векторизованного изображения заключается в исключении погрешностей процесса векторизации. Такими погрешностями могут быть незамкнутость границ контуров, наличие двойных линий границ, выходы границ в точках пересечения и т. п. Корректировка выполняется автоматически. Оставшиеся после этого погрешности устраняет оператор.

Далее следует процесс *трансформирования*. Для опорных точек создается файл их геодезических координат. Кроме того, оператор вводит при необходимости приближенные значения элементов внешнего ориентирования снимка. По известным зависимостям автоматически решается обратная фотограмметрическая засечка. Контролем решения задачи ориентирования снимка являются остаточные расхождения в геодезических координатах опорных точек. Эти расхождения в плановых координатах не должны превышать 0,2 мм в масштабе создаваемого плана, а по высоте не превышать 1/5 высоты сечения рельефа. Недопустимые расхождения на опорных точках возникают из-за их неправильной идентификации на экране монитора, ошибок создания файла геодезических координат и файла элементов внутреннего ориентирования, а также возможных ошибок определения приближенных значений элементов внешнего ориентирования. При избыточном числе опорных точек можно не

## **ГЛАВА 9. ТЕОРИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОДНОЧНОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО СНИМКА**

искать возникшую ошибку, а исключить из процесса обработки опорные точки с недопустимыми расхождениями. Оставшиеся опорные точки должны удовлетворять необходимым требованиям для решения задачи ориентирования снимка или его фрагмента.

При допустимых расхождениях на опоре переходят к решению прямой фотограмметрической засечки для всех точек векторизованного изображения.

Сведения о рельефе, необходимые при решении прямой фотограмметрической засечки по одиночному снимку, могут быть получены из ЦМР, которую предварительно импортируют из других программ. В случае равнинной местности рельеф представляется либо горизонтальной плоскостью, высота которой равна среднему арифметическому из высот опорных точек, либо наклонной плоскостью, наименее удаленной по высоте от опорных точек. Уравнения этих плоскостей вычисляют по опоре автоматически.

Полученные трансформированные снимки или их увеличенные фрагменты *объединяются* (сшиваются) в общее электронное изображение. По линиям их соединения могут возникать расхождения в плановом положении одних и тех же контуров. Расхождения считаются допустимыми, если они не превышают 1 мм в масштабе создаваемого плана. В этом случае необходимо выполнять сводку контуров по границам объединяемых изображений, аналогично процедуре сводки по планшетам при геодезической съемке.

Главная причина возникновения расхождений контуров — рельеф, а точнее, создаваемые и используемые при решении прямой фотограмметрической засечки модели рельефа. Плановые координаты одной и той же точки контура, лежащей на линии объединения двух трансформированных изображений, вычисляют, используя высоты, полученные из моделей рельефа, соответственно, для первого и второго снимков. Если их высоты не равны, то вычисленные координаты ( $X$ ,  $Y$ ) точки контура на первом и втором снимках также будут различаться. Поэтому возникает расхождение контуров на линии объединения. Различия в координатах будут тем больше, чем больше разница между высотами, полученными из двух моделей, и чем дальше точка контура находится от точек надира трансформированных снимков. Для уменьшения работ по сводке объединенных изображений линию сшивки целесообразно выбирать по возможности вдоль линейных объектов (дорог, рек, улиц в поселениях и т. п.). В результате объединения получают единое трансформированное электронное изображение на всю картографируемую территорию или ее часть.

Далее по материалам дешифрирования проводят процедуру присвоения каждому выделенному контуру условных знаков. После этого в автоматическом режиме выполняют разделение единого плана на планшеты в соответствии с государственной разграфкой, принятой для данного масштаба. В результате получают *контурный план*.

### **Контрольные вопросы**

---

1. Почему для аналитического трансформирования одиночного снимка в большинстве случаев необходимо создание ЦМР? Ответ обосновать аналитически.
2. Как расположение зоны обработки снимка (центральная, периферийная) влияет на точность построения ЦМР?
3. Можно ли решить обратную фотограмметрическую засечку с использованием только плановых опорных точек?
4. Почему при аналитическом решении некоторых фотограмметрических задач в исходные данные включают приближенные значения искомых величин?
5. Нужны ли опорные точки при взаимном ориентировании пары снимков?
6. Какие элементы ориентирования снимков необходимо знать для построения фотограмметрической модели?
7. Почему для внешнего ориентирования фотограмметрической модели опорные точки необходимо располагать в зоне перекрытия?

## **Глава 10. Теория стереофотограмметрической обработки топографических снимков**

Цели изучения:

- знать условия получения стереоскопического эффекта, элементы взаимного и внешнего ориентирования пары снимков, основы стереофотограмметрической обработки снимков, фототриангуляции, построения цифровой модели рельефа;
- иметь представление о математической основе обработки космических снимков;
- знать технологическую схему создания ортофотоплана.

### **■ 10.1. Возможности зрительного аппарата человека**

---

Метрическая информация, извлекаемая из одиночных снимков, может быть только двумерной, например, размеры объектов в плане, площадь участков и т. п., если не считать определения высот объектов косвенным путем по изображению падающих от них теней или по отображающимся иногда на краях снимка боковым элементам возвышающихся объектов.

Человек, наблюдая окружающее пространство одним глазом, воспринимает его также двумерно, не ощущая глубины пространства. О пространственном расположении объектов по глубине наблюдатель судит по изменению их размеров или перекрытий дальних объектов ближними. То же пространство, наблюдаемое двумя глазами, воспринимается объемным (трехмерным).

Глаз человека представляет собой совершенный биологический орган, сравнимый по геометрическим и оптическим параметрам с оптико-электронной съемочной системой с сенсором в виде ПЗС-матрицы. Функцию объектива в глазу выполняет хрусталик, а пиксели ПЗС-матрицы — сетчатку, дискретно реагирующую на поступающее световое излучение палочками и колбочками.

При анализе и измерении снимков человек может рассматривать их непосредственно невооруженными глазами или с помощью оптических устройств. Выделяют три вида зрения — монокулярное, бинокулярное и стереоскопическое. Монокулярным называют зрение одним глазом, бинокулярным — двумя глазами. Зрение стереоскопическое — частный случай бинокулярного зрения. Наблюдатель при этом воспринимает пространственное расположение разноудаленных объектов. Разделение по видам не зависит от использования (или неиспользования) при наблюдении оптических устройств.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Важнейшие характеристики зрительного аппарата:

- линейное (геометрическое) разрешение (острота зрения, разрешающая сила зрения) — способность воспринимать (обнаруживать) мелкие элементы в натуре или на снимках;
- линейная (геометрическая) разрешающая способность — возможность раздельного восприятия ряда одинаковых элементов, например линий;
- энергетическое разрешение — способность воспринимать яркостные (тоновые) контрасты на снимке.

Рассмотрим каждую из указанных характеристик. Прежде отметим, что возможности зрительного аппарата существенно меняются в зависимости от формы наблюдаемых деталей. Принято определять эти возможности отдельно для случая наблюдения малых компактных деталей (зрение первого рода) и тонких линий (зрение второго рода).

Эмпирически установлено, что линейное разрешение монокулярного зрения первого рода в угловой мере при наблюдении контрастных деталей равно  $40''$  и  $20''$  соответственно. В линейной мере эти характеристики для расстояния наилучшего видения (250 мм) составляют  $d_{k,M} = 0,050$  мм,  $d_{n,M} = 0,025$  мм.

При малом контрасте  $K = (B - B_\phi)/B < 0,5$  эти характеристики снижаются (здесь  $B$  и  $B_\phi$  — яркости детали и фона).

Линейное разрешение бинокулярного зрения при наблюдении контрастных деталей примерно в два раза больше, чем монокулярного.

Использование при наблюдении оптических систем позволяет улучшить характеристики зрительного аппарата примерно пропорционально кратности увеличения используемой системы.

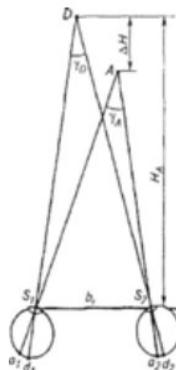


Рис. 10.1. Геометрическая интерпретация принципа стереоскопического зрения:

$B_r$  — глазной базис;  $A$  — точка фиксации бинокулярного взора;  $S_1A$  и  $S_2A$  — лучи;  $\gamma_A$  — угол конвергенции,  $y_A = S_1AS_2$ ;  $H_A$  — расстояние от точки фиксации до глазного базиса;  $D$  — точка, расположенная от точки  $A$  по глубине на некотором расстоянии  $\Delta H$ .

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Возможности обнаружения светлых деталей на темном фоне, при прочих равных условиях, значительно большие, чем темных деталей на светлом фоне (явление иррадиации). Например, космонавты невооруженным глазом с борта космического корабля наблюдали белые катера у морского причала вопреки расчетным возможностям.

*Линейная разрешающая способность* — характеристика зрительного аппарата, аналогична разрешающей способности объектива, выражается она числом раздельно воспринимаемых черных линий при той же толщине белых промежутков в одном миллиметре изображения. Для благоприятных условий при монокулярном наблюдении линейная разрешающая способность  $R_m = 20 \text{ мм}^{-1}$ , при бинокулярном —  $R_b = 40 \text{ мм}^{-1}$ .

Принцип получения стереоскопического зрения представлен на рис. 10.1.

*Остротой стереоскопического зрения* первого рода называют минимальную разность параллактических углов двух точек  $\gamma_B - \gamma_{BD} = \Delta\gamma$ , при которой эти точки воспринимаются разноудаленными. Она равна примерно  $30''$ .

Аналогичное определение можно дать и остроте стереоскопического зрения второго рода, но наблюдаемыми деталями здесь будут две параллельные линии. Численно острота в этом случае составляет  $10''$ .

### ■ 10.2. Стереоэффект и условия его получения

Метод стереофотограмметрической обработки снимков при создании планов и карт основан на использовании пары перекрывающихся снимков, называемых *стереопарой*. Стереопара обладает уникальными возможностями. Первое — при определенных условиях наблюдения пары снимков возможно получение виртуального объемного изображения из двух плоских изображений. Второе — совместная фотограмметрическая обработка стереопары позволяет получить пространственные координаты точек (координаты  $X, Y, Z$ ), изобразившихся в зоне перекрытий снимков.

Получение виртуального объемного изображения из двух плоских называют *стереоэффектом*.

Для получения стереоскопического эффекта необходимо выполнение следующих условий:

- наличие пары снимков, полученных с концов базиса (пара перекрывающихся аэрофотоснимков соответствуют данному условию, так как аэрофотосъемка — частный случай стереофотосъемки);
- взаимное ориентирование пары снимков, при этом базис фотографирования параллелен глазному базису;
- рассматривание снимков должно выполняться раздельно — левый глаз должен видеть только левый снимок, правый глаз — пра-

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

вый снимок. Раздельное восприятие изображений достигается различными способами. Наиболее известный способ — применение оптического прибора — стереоскопа. На рис. 10.2 показана схема проектирующих лучей при наблюдении в стереоскопе.

При получения стереоэффекта при компьютерной обработке снимков выделяют оптический, аналигический, чересстрочный, переключения страниц, с помощью стереомонитора на базе двух ЖК-дисплеев.

*Оптический способ* стереоскопических наблюдений предполагает выводы зоны стереонаблюдений левого и правого снимков, соответственно, в левую и правую части экрана. Оба изображения окрашены в естественные цвета, и для их рассматривания и получения стереоскопического эффекта нужно выполнить искусственное разделение соответствующих лучей, что достигается применением специальной стереоприставки, устанавливаемой перед монитором.

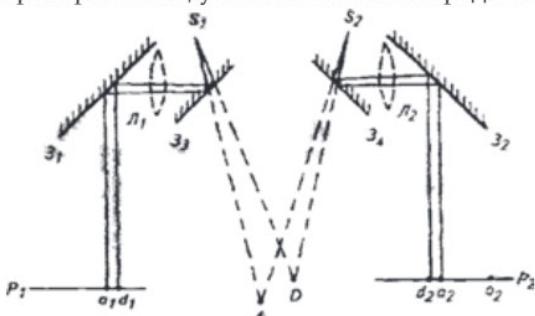


Рис. 10.2. Схема левой и правой связки проектирующих лучей в стереоскопе

Это обеспечивает возможность наблюдения стереоскопической модели местности и ее измерения, минуя неизбежные потери света (рис. 10.3).



Рис. 10.3. Оптическое стереоскопическое изображение

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Однако этот метод используется довольно редко, для получения стереоизображения требуется установка перед монитором громоздких стереонасадок.

*Анаглифический режим* предполагает применение специальных очков. Изображение формируют следующим образом. Перекрывающиеся части левого и правого изображений, образующие зону стереоскопических наблюдений, окрашивают в различные цвета и выводят на экран либо по строкам (четные для левого снимка, а нечетные — для правого), либо путем наложения левого на правое. Полученное на экране монитора совмещенное изображение рассматривают через анаглифические очки, стекла которых окрашены в те же цвета, что и соответствующие им изображения снимков. В результате наблюдатель видит пространственную модель местности. На рис. 10.4 представлено анаглифическое изображение, которое можно получить при наличии соответствующих очков.

Преимуществом данного метода является простота его использования. Достаточно иметь анаглифические очки и программу, формирующую анаглифическое изображение (что актуально в полевых условиях).

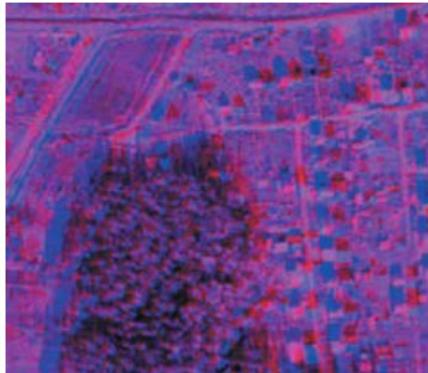


Рис. 10.4. Анаглифическое стереоскопическое изображение

В чересстрочном режиме левое изображение размещается в четных строках стереоизображения, а правое — в нечетных. Недостатком способа является «прореживание» изображения и, как следствие, снижение его разрешения. В настоящее время распространены два способа разделения чересстрочного изображения для глаз.

В первом используются затворные очки и монитор с электронно-лучевой трубкой. Монитор, работающий в чересстрочном режиме, сначала выводит четные строки, а затем — нечетные. Затворные очки синхронно с вертикальной разверткой монитора открывают жидкокристаллическую шторку для левого глаза и закрывают для правого во время вывода изображения. При выводе нечетных строк прозрачность очков для глаз меняется на противоположную. Недо-

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

стадия метода заключается в мигании изображения, так как частота обновления изображения для каждого глаза в два раза меньше частоты вертикальной развертки монитора. В настоящее время мониторы с электронно-лучевой трубкой сняты с производства, в связи с чем данный метод на сегодняшний день потерял свою актуальность.

Во втором способе используются пассивные поляризационные очки и специальный жидкокристаллический монитор LCD, в котором четные и нечетные строки раstra излучают поляризованный в перпендикулярных направлениях свет. Преимущество пассивных поляризационных очков по сравнению с затворными очками — отсутствие мигания изображения и провода, связывающего очки с компьютером.

Стереорежим переключения страниц требует наличия CRT-монитора и затворных стереоочков. Суть метода заключается в выводе изображения для левого и правого глаз при каждом обновлении изображения на мониторе. Затворные очки пропускают изображение в левый глаз и не пропускают в правый во время вывода на экран левого снимка, и наоборот для правого снимка. Основным преимуществом этого режима перед чересстрочным является сохранение разрешения по вертикали.

В стереомониторе на базе двух ЖК-дисплеев (рис. 10.5) для создания стереоэффекта совмещаются ортогонально-поляризованные изображения двух ЖК-дисплеев с помощью полупрозрачного стекла. Для разделения совмещенного изображения используют пассивные поляризационные очки.

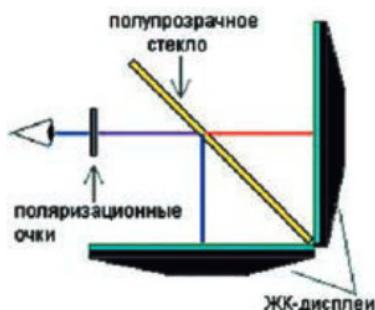


Рис. 10.5. Схема стереомонитора на базе двух ЖК-дисплеев

В качестве перспективных аппаратных решений следует отметить ЖК-мониторы с двумя матрицами, расположенными одна за другой. Для разделения изображения используют пассивные поляризационные очки. Их преимуществом по сравнению с мониторами из двух ЖК-дисплеев с полупрозрачным стеклом является компактность.

Использование стереоэффекта при дешифрировании повышает надежность распознавания объектов, имеющих высоту, и точность нанесения их границ (здания, лесные массивы, элементы рельефа и т. п.).

### ■ 10.3. Элементы внешнего ориентирования пары аэрофотоснимков

Изображения одной и той же точки местности на двух снимках стереопары называют соответственными точками. Проектирующие лучи, проходящие через соответственные точки, называются соответственными лучами. Элементы внешнего ориентирования пары аэрофотоснимков определяют их пространственное положение во время фотографирования. К ним относятся:

$X_{S_1}^r, Y_{S_1}^r, Z_{S_1}^r; X_{S_2}^r, Y_{S_2}^r, Z_{S_2}^r$  — геодезические координаты левого и правого центров проекции  $S_1$  и  $S_2$ ;

$\alpha_1, \omega_1, \chi_1; \alpha_2, \omega_2, \chi_2$  — углы наклона и поворота левого и правого снимков.

Таким образом, пара аэрофотоснимков имеет 12 элементов внешнего ориентирования.

Расположить пару аэрофотоснимков в геодезическом пространстве так, как она располагалась во время фотографирования, можно, используя иные 12 элементов ориентирования: 5 элементов взаимного ориентирования пары снимков и 7 элементов внешнего (геодезического) ориентирования построенной пространственной фотограмметрической модели местности.

### ■ 10.4. Элементы взаимного ориентирования пары аэрофотоснимков

Изображения одной и той же точки местности на двух снимках стереопары называют соответственными точками. Проектирующие лучи, проходящие через соответственные точки, называются соответственными лучами.

Элементы взаимного ориентирования — угловые элементы — определяют взаимное положение пары снимков во время фотографирования, при котором каждая пара соответственных лучей пересекается. Все множество точек пересечения соответственных лучей является пространственной *фотограмметрической моделью местности*.

В фотограмметрии используются две системы взаимного ориентирования пары снимков, которые отличаются выбором системы пространственных координат. В обеих системах началом является левый центр фотографирования  $S_1$ . В первой системе — базисной — ось  $X$  совмещена с базисом фотографирования, главный луч левого снимка находится в плоскости  $XZ$  (рис. 10.6). Таким образом, в этой системе координат у левого снимка отсутствует поперечный угол наклона  $\omega_1$ .

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

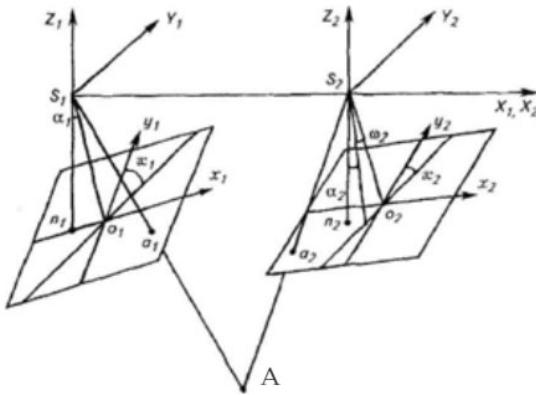


Рис. 10.6. Базисная система элементов взаимного ориентирования пары снимков

Элементами взаимного ориентирования в базисной системе являются пять углов:  $\alpha_1, \chi_1, \alpha_2, \omega_2, \chi_2$ . Суть каждого из этих углов аналогична соответствующему углу ориентирования одиночного снимка.

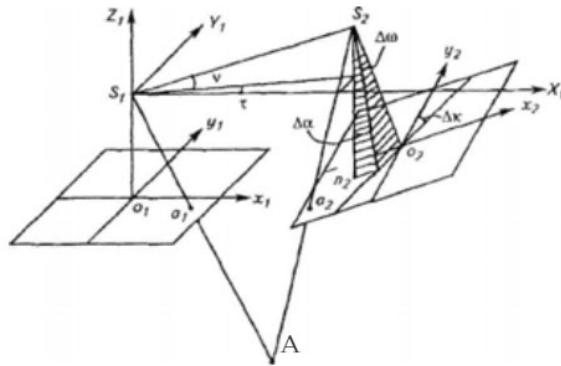


Рис. 10.7. Система левого снимка элементов взаимного ориентирования пары снимков

Во второй системе — горизонтальной — оси  $X$ ,  $Y$  соответственно параллельны осям  $x$ , у левого снимка, ось  $Z$  совпадает с его главным лучом (рис. 10.7). У левого снимка в этой системе координат отсутствуют углы наклона и поворота. Угловыми элементами ориентирования правого снимка будут взаимные углы наклона снимков:  $\Delta\alpha$  — продольный,  $\Delta\omega$  — поперечный и  $\Delta\chi$  — угол поворота снимков.

Направление базиса фотографирования определяют углы  $\tau$  (горизонтальный угол поворота базиса) и  $v$  (вертикальный угол наклона базиса).

Элементы взаимного ориентирования в системе левого снимка:  $\Delta\alpha, \Delta\omega, \Delta\chi, \tau, v$ .

## ■ 10.5. Взаимное ориентирование пары аэрофотоснимков

Условие пересечения пары соответственных лучей — их принадлежность одной базисной плоскости. Если два снимка взаимно ориентированы, то любая пара соответственных точек лежит в одной базисной плоскости, т. е. четыре точки  $S_1, S_2, a_1, a_2$  принадлежат одной плоскости (рис. 10.8). Это условие называют условием компланарности проектирующих лучей. Аналитически оно выражается в виде уравнений взаимного ориентирования. Для плановых снимков они имеют вид:

в базисной системе

$$-\frac{x_1 y_2}{f} \alpha_1 + \frac{x_2 y_1}{f} \alpha_2 + \left( f + \frac{y_1^2}{f} \right) \omega_2 - x_1 \alpha_1 + x_2 \alpha_2 - q = 0; \quad (10.1)$$

в горизонтальной системе

$$p\tau + \frac{y_1 p}{f} v + \frac{x_2 y_1}{f} \Delta \alpha + \left( f + \frac{y_1^2}{f} \right) \Delta \omega + x_2 \Delta \alpha - q = 0, \quad (10.2)$$

где  $x_1, y_1, x_2, y_2$  — координаты соответственных точек на левом и правом снимках стереопары в системах координат левого и правого снимков;  $p$  — продольный параллакс определяемой точки;  $q$  — поперечный параллакс той же точки.

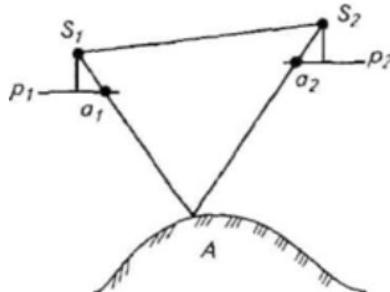


Рис. 10.8. Условие пересечения пары соответственных лучей

Как видно из уравнений (10.1) и (10.2), коэффициенты при элементах взаимного ориентирования зависят от элементов внутреннего ориентирования и измеренных координат соответственных точек на левом и правом снимках стереопары.

Уравнения (10.1) и (10.2) нестрогие, и их используют для плановых снимков, углы которых не превышают  $3^\circ$ .

Для каждой точки местности, изобразившейся в зоне двойного перекрытия, т. е. на левом и правом снимках, можно составить одно уравнение взаимного ориентирования вида (10.1) и (10.2) с пятью неизвестными элементами.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Чтобы определить пять элементов взаимного ориентирования пары снимков, необходимо объединить в систему не менее пяти уравнений взаимного ориентирования, составленных для пяти точек из зоны перекрытия.

Это должны быть надежно идентифицируемые точки местности на левом и правом снимках. Обычно для взаимного ориентирования используют шесть стандартно расположенных точек: две вблизи главных точек левого и правого снимков и четыре по углам зоны перекрытия (рис. 10.9).

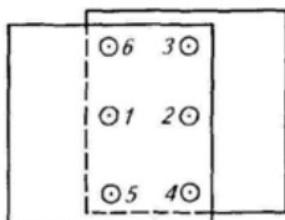


Рис. 10.9. Стандартная схема расположения точек в зоне двойного продольного перекрытия для взаимного ориентирования пары снимков

Координаты этих точек измеряют на левом и правом снимках и составляют систему из шести уравнений вида (10.1) или (10.2). При использовании шести точек систему полученных уравнений решают с контролем.

Решают систему уравнений взаимного ориентирования по способу наименьших квадратов до тех пор, пока значение свободного члена (остаточного поперечного параллакса) не будет меньше заранее заданного значения. Значение остаточного поперечного параллакса устанавливают исходя из требуемой точности конечной продукции.

Найденные элементы взаимного ориентирования пары снимков позволяют получить фотограмметрическую модель местности, являющуюся совокупностью фотограмметрических координат ее точек.

### ■ 10.6. Определение пространственных фотограмметрических координат точек модели местности

Результат взаимного ориентирования пары снимков — построение пространственной фотограмметрической модели местности в произвольном масштабе и свободно ориентированной в геодезическом пространстве. Фотограмметрические координаты точек модели не являются геодезическими координатами точек местности.

Пространственные координаты  $X^M$ ,  $Y^M$ ,  $Z^M$  точек фотограмметрической модели определяют в системе координат, в которой

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

определенены элементы взаимного ориентирования (в базисной или в горизонтальной системе), по следующим формулам:

$$X^M = NX_p; Y^M = NY_p; Z^M = NZ_p, \quad (10.3)$$

где  $X_p, Y_p, Z_p$  — пространственные координаты точки левого снимка (рис. 10.10) в системе координат построения модели, которые в общем случае зависят от элементов взаимного ориентирования;  $N$  — масштабный коэффициент, определяющий масштаб построенной модели и зависящий от величины базиса проектирования  $b$ , элементов взаимного ориентирования и измеренных координат соответственных точек  $a_1$  и  $a_2$  стереопары.

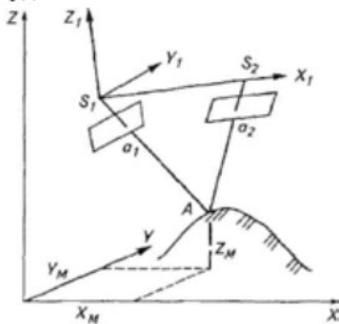


Рис. 10.10. Принцип определения пространственных координат точек фотограмметрической модели

В частном случае, когда левый и правый снимки горизонтальны и получены с одной высоты фотографирования, т. е. с горизонтально-го базиса, масштабный коэффициент можно вычислить по формуле:

$$N = b/p,$$

где  $b$  — базис проектирования;  $p$  — продольный параллакс определяющей точки.

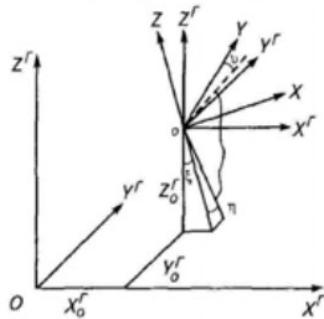
Таким образом, для определения пространственных фотограмметрических координат точек модели местности необходимо знать элементы внутреннего ориентирования снимков, вычислить элементы их взаимного ориентирования и измерить координаты соответственных точек на левом и правом снимках.

### ■ 10.7. Внешнее ориентирование фотограмметрической модели местности

Внешнее ориентирование фотограмметрической модели местности позволяет перейти от ее фотограмметрических координат к геодезическим координатам точек местности. Элементы внешне-

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

го ориентирования модели местности определяют ее масштаб и положение в геодезическом пространстве (рис. 10.11).



*Рис. 10.11. Элементы внешнего ориентирования фотограмметрической модели*

Их семь:

$t$  — знаменатель масштаба модели,  $t = B/b$  ( $B$  — базис фотографирования;  $b$  — базис проектирования);

$X_0^r; Y_0^r; Z_0^r$  — геодезические координаты начала фотограмметрической системы координат. В случае использования описанных ранее систем взаимного ориентирования это геодезические координаты левого центра фотографирования  $S_r$ .

$\xi, \eta, \psi$  — углы наклона и поворота модели относительно геодезической системы координат.

Геодезические координаты точек местности и фотограмметрические координаты тех же точек модели связаны зависимостями:

$$\begin{aligned} X^r &= X_o^r + (a_1 X^M + a_2 Y^M + a_3 Z^M) t; \\ Y^r &= Y_o^r + (b_1 X^M + b_2 Y^M + b_3 Z^M) t; \\ Z^r &= Z_o^r + (c_1 X^M + c_2 Y^M + c_3 Z^M) t, \end{aligned} \quad (10.4)$$

где  $a_i - a_3; b_i - b_3; c_i - c_3$  — направляющие косинусы, являющиеся функциями угловых элементов  $\xi, \eta, \psi$  внешнего ориентирования модели.

Уравнения (10.4) используют для вычисления геодезических координат точек местности, если элементы внешнего ориентирования модели известны. Для вычисления этих элементов служат эти же уравнения и опорные точки, располагающиеся в зоне перекрытия снимков. Для опорных точек по измеренным координатам их изображений на левом и правом снимках и найденным элементам взаимного ориентирования вычисляют их фотограмметрические координаты.

Таким образом, для опорных точек известны их геодезические координаты и пространственные фотограмметрические координаты.

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Используя эти данные, можно составить уравнения вида (10.4), в которых неизвестными величинами являются элементы внешнего ориентирования модели. Для каждой планово-высотной опорной точки можно составить все три уравнения, для плановой — первые два, для высотной — одно последнее. Полученные уравнения объединяют в систему, которую решают относительно семи неизвестных элементов внешнего ориентирования модели. Для бесконтрольного решения системы уравнений достаточно трех опорных точек, не лежащих на одной прямой: двух планово-высотных и одной высотной. Набор опорных точек может быть различным. Важно, чтобы создаваемая система содержала не менее семи уравнений со всеми семью неизвестными элементами внешнего ориентирования модели.

Рассмотренный способ определения геодезических координат точек местности по паре снимков носит название двойной обратной фотограмметрической засечки.

### ■ 10.8. Прямая фотограмметрическая засечка по паре снимков

Определить геодезические координаты точек местности по паре снимков можно также на основе использования уравнений коллинеарности. Для этого необходимо знать элементы внешнего ориентирования левого и правого снимков. Тогда для любой точки местности, расположенной в зоне перекрытия, можно составить систему из четырех известных уравнений коллинеарности:

$$X^r = X_{S_1}^r + (Z^r - Z_{S_1}^r) \frac{a_1(x_l - x_o) + a_2(y_l - y_o) - a_3f}{c_1(x_l - x_o) + c_2(y_l - y_o) - c_3f};$$

$$Y^r = Y_{S_1}^r + (Z^r - Z_{S_1}^r) \frac{b_1(x_l - x_o) + b_2(y_l - y_o) - b_3f}{c_1(x_l - x_o) + c_2(y_l - y_o) - c_3f};$$

$$X^r = X_{S_2}^r + (Z^r - Z_{S_2}^r) \frac{a'_1(x_2 - x_o) + a'_2(y_2 - y_o) - a'_3f}{c'_1(x_2 - x_o) + c'_2(y_2 - y_o) - c'_3f};$$

$$Y^r = Y_{S_2}^r + (Z^r - Z_{S_2}^r) \frac{b'_1(x_2 - x_o) + b'_2(y_2 - y_o) - b'_3f}{c'_1(x_2 - x_o) + c'_2(y_2 - y_o) - c'_3f}.$$

В полученной системе уравнений искомыми величинами являются  $X^r$ ,  $Y^r$ ,  $Z^r$  — геодезические координаты точки местности.

Первые два уравнения выражают связь геодезических координат точки местности и плоских координат ее изображения на левом снимке. Последние два уравнения выражают ту же связь, но с использованием правого снимка.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Систему из четырех уравнений с тремя неизвестными решают с контролем при условии, что элементы внутреннего и внешнего ориентирования левого и правого снимков известны.

Для определения двенадцати элементов внешнего ориентирования снимков:

$$X_{S_1} Y_{S_1} Z_{S_1} \alpha_1 \omega_1 \mathbf{e}_1 X_{S_2} Y_{S_2} Z_{S_2} \alpha_2 \omega_2 \mathbf{e}_2$$

используют опорные точки, которые обязательно должны быть планово-высотными, но не обязательно располагаться в зоне перекрытия снимков.

Возможные схемы расположения опоры показаны на рис. 10.12.

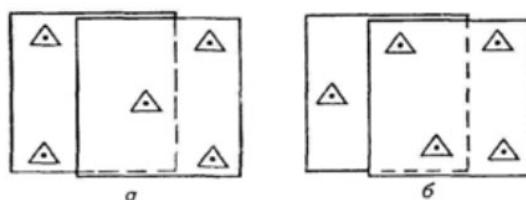


Рис. 10.12. Схема расположения опорных точек для решения прямой фотограмметрической засечки по паре снимков

Для каждой опорной точки, находящейся в зоне перекрытия, можно составить четыре уравнения коллинеарности. Опорная точка, расположенная вне зоны перекрытия, позволяет составить только два таких уравнения: либо первое и второе, либо третье и четвертое.

Таким образом, используя опору, показанную на рисунке 10.12, а, можно составить 12 уравнений коллинеарности, содержащие 12 неизвестных элементов внешнего ориентирования пары снимков, объединить их в систему и решить ее без контроля. Опора на рис. 10.12, б дает 14 уравнений коллинеарности и решение с контролем.

### ■ 10.9. Расчет параметров аэрофотосъемки при стереофотограмметрической обработке снимков

При стереофотограмметрической обработке определяют планово-высотные координаты точек местности. Решение разных задач с использованием получаемого планово-карографического материала требует различной его точности.

Так, при составлении проекта противоэррозионной организации территории используют планы в масштабе 1:10 000 с сечением рельефа 5 м (в хозяйствах со сложным рельефом с сечением 1 м или 2,5 м). Проект размещения оросительной сети составляют в том же масштабе 1: 10 000 с сечением рельефа 0,5 – 1,0 м. В том и другом случае тре-

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

бумая точность получения плановых координат будет одинаковой, точность получения высот — различной. Следовательно, разными должны быть и параметры съемки, обеспечивающие эту точность.

При выборе параметров АФС прежде всего вычисляют максимально допустимую высоту фотографирования

$$H_{\max} = pm_h/m_{\Delta p}, \quad (10.5)$$

где  $p$  — среднее значение продольных параллаксов точек стереопары, приближенно равное базису фотографирования в масштабе снимка. При продольном перекрытии  $p_x = 60\%$  и формате снимков  $180 \times 180$  мм  $p = 70$  мм;  $m_h$  — допустимая погрешность определения высотных координат точек местности, зависящая от высоты сечения рельефа  $h$ ,  $m_h = 1/3 - 1/5h$ ;  $m_{\Delta p}$  — погрешность определения разности продольных параллаксов точек стереопары. В цифровых технологиях ее значение принимают  $0,010 - 0,015$  мм.

Таким образом, для аэрофотосъемки с продольным перекрытием  $60\%$  и при формате снимков  $180 \times 180$  мм максимальная высота фотографирования  $H_{\max} = 7000 m_h / 5000 m_h$ .

Далее рассчитывают знаменатель масштаба съемки по формуле

$$m \leq M m_{\text{пл}} / m_{\text{сн}}, \quad (10.6)$$

где  $m_{\text{пл}}$  — допустимая погрешность координат точки на плане;  $m_{\text{сн}}$  — погрешность отождествления и измерения координат точки на снимке.

Выбрав  $H_{\max}$  и  $m$ , можно вычислить фокусное расстояние АФА по известной формуле

$$f_{\text{расч}} = H/m.$$

Стандартное фокусное расстояние АФА выбирают ближайшим меньшим к расчетному. Затем вычисляют окончательное значение масштаба фотографирования.

**Пример.** Рассчитать параметры АФС для создания топографического плана масштаба 1:2000 с сечением рельефа 1 м; погрешность определения высотных координат точек при этом примем  $1/5$  от высоты сечения рельефа, т. е.  $m_h = 0,2$  м. Аэрофотосъемку выполнить с перекрытиями  $p_x = 60\%$  и  $p_y = 30\%$ , размер снимка  $180 \times 180$  мм.

При таких исходных данных высота аэрофотографирования будет определяться исходя из следующих величин, входящих в формулу (10.5):  $p = 70$  мм,  $m_h = 0,2$  м,  $m_{\Delta p} = 0,010$  мм.

$$H_{\max} = (70 \text{ мм} \times 0,2 \text{ м}) / 0,010 \text{ мм} = 1400 \text{ м.}$$

Полагая, что  $m_{\text{пл}} = 0,3$  мм и  $m_{\text{сн}} = 0,03$  мм, рассчитывают знаменатель масштаба съемки по формуле (10.6):  $m = 0,3 \text{ мм} \times 2000 / 0,03 \text{ мм} = 20000$ .

Используя рассчитанные значения высоты и знаменателя масштаба фотографирования, определяют расчетное фокусное расстояние АФА  $f_{\text{расч}} = 1400 / 20000 = 0,070 \text{ м} = 70 \text{ мм}$ . Окончательное значение знаменателя масштаба АФС  $m = 20000$ .

## ■ 10.10. Технология цифровой стереофотограмметрической обработки аэрофотоснимков

Результат цифровой стереофотограмметрической обработки снимков — создание ортофотоплана, который изготавливают на цифровых фотограмметрических рабочих станциях (ЦФРС) и персональных компьютерах, обеспеченных специализированными программами. Одновременно могут обрабатываться несколько блоков, состоящих из сотен снимков.

Ввод изображения осуществляется высокоточными фотограмметрическими сканерами. В процессе сканирования предусмотрена возможность улучшения фотографических качеств исходного изображения (увеличение или уменьшение коэффициента контрастности, проработка в тенях и светлых участках и т. п.). В современных сканерах в автоматическом режиме может быть выполнено сканирование до пяти сотен снимков.

После ввода изображений осуществляется внутреннее ориентирование снимков путем введения в файл параметров АФА элементов внутреннего ориентирования. Далее следует выполнение фототриангуляции, в процессе которой каждая стереопара обеспечивается опорными точками, либо для всех снимков, включенных в обработку, определяются элементы внешнего ориентирования. Развивают фототриангуляцию согласно составленному проекту, о котором более подробно написано в пункте 10.11.

Особенность стереофотограмметрической обработки снимков — необходимость измерения координат на перекрывающихся снимках всех точек, включенных в обработку, т. е. для каждой измеряемой точки необходимо найти соответственную точку на соседнем снимке. В современных программах стереофотограмметрической обработки снимков процесс идентификации соответственных точек автоматизирован. Как правило, оператор один раз вручную отождествляет две соответственные точки. При этом координаты ( $x_1, y_1, x_2, y_2$ ) этих точек на левом и правом снимках определяются автоматически. Разность абсцисс можно принять за средний продольный параллакс  $p$  точек стереопары, а разность ординат — за средний поперечный параллакс  $q$  тех же точек. В дальнейшем оператор курсором отмечает измеряемые точки лишь на левом снимке стереопары. Для них автоматически определяются координаты ( $x_1, y_1$ ) на левом снимке и вычисляются приближенные координаты ( $x_2, y_2$ ) соответственных точек на правом снимке:

$$\begin{aligned}x_2 &= x_1 - p; \\y_2 &= y_1 - q.\end{aligned}$$

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Далее работает программа сравнения цифровых изображений левого и правого снимков вблизи соответственных точек. Участок левого снимка с центром в точке  $(x_1, y_1)$  сравнивается с участком правого снимка с центром в точке  $(x_2, y_2)$ . В окрестностях точки  $(x_2, y_2)$  на правом снимке автоматически отыскивается точка, вокруг которой оптическая плотность распределена так же, как на левом снимке вокруг точки  $(x_1, y_1)$ . Точность идентификации определяется коэффициентом корреляции: чем больше коэффициент корреляции, тем надежнее идентификация.

После развития фототриангуляции строят цифровую модель рельефа. В ЦФРС как регулярные ЦМР, так и структурные ЦМР строятся автоматически. Густота сетки пикетов для построения ЦМР задается оператором в зависимости от сложности и высоты сечения рельефа. Построение ЦМР сопровождается автоматическим проведением горизонталей. Однако полностью автоматизированное построение ЦМР в существующих ЦФРС не производится. Неизбежны ошибки при проведении горизонталей по лесным массивам, через реки, по застроенным территориям и т. п. В подобных случаях оператор корректирует построение цифровой модели рельефа при ее стереоскопическом наблюдении на экране монитора. Для этого в цифровых станциях предусмотрены режим выведения пары снимков на экран монитора и возможность получения стереоэффекта с помощью специальных очков, например, поляризационных. Одиночные цифровые модели рельефа, построенные по стереопарам, объединяются в единую цифровую модель рельефа на всю картографируемую территорию. Фрагменты единой ЦМР используются при ортофототрансформировании снимков.

При ортофототрансформировании выполняется трансформирование каждого пикселя или площадки, состоящей из нескольких смежных пикселей. Каждому элементу трансформирования (пикслю или площадке) присваивается высотная координата, полученная из ЦМР. При таком трансформировании наиболее полно учитывается влияние рельефа местности. В результате ортофототрансформирования получают одиночные ортофотоснимки, которые затем спивают в единое изображение. Объединение ортофотоснимков подобно аналогичному процессу сшивки векторных изображений.

Далее следует деление единого ортофотоизображения на планшеты (трапеции) принятой государственной разграфки с соответствующим зарамочным оформлением. Такую продукцию называют *ортоФотопланом*.

Использование для ортофототрансформирования цифровой модели рельефа приводит к получению изображения земной поверхности в ортогональной проекции. При этом возвышающиеся над ней объекты (здания и сооружения, растительность и т. п.) со-

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

хранят перспективные искажения в виде так называемых «завалов». Учет высоты возвышающихся объектов при ортотрансформировании позволяет получить ортогональную проекцию не только земной поверхности, но и расположенных на ней объектов. Такое изображение называется *истинным ортофотоизображением (True Ortho)*.

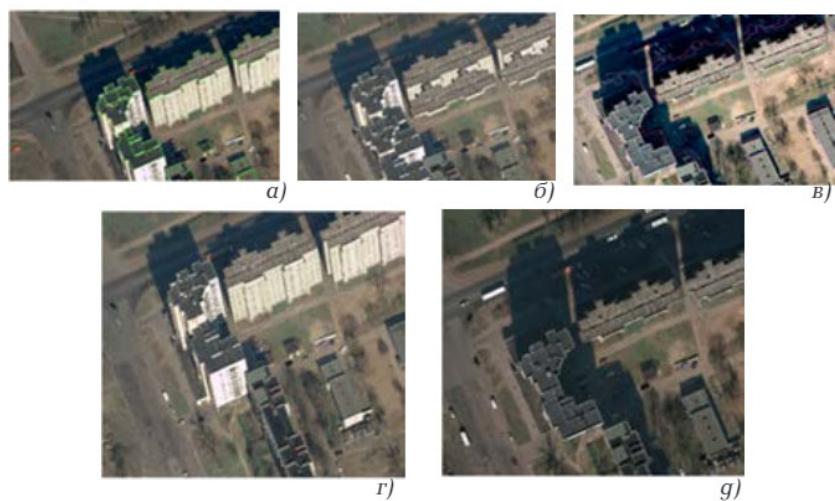


Рис. 10.13. Создание истинных ортофотопланов (*True Ortho*):

а) стереовектризация высотных объектов; б) внесение поправок в положение высотных объектов на ортофотоизображении; в) определение зон невидимости (геометрической тени) и их заполнение фотоизображением, например, с соседних снимков; г) ортоизображение со смещёнными крышами зданий (видны фундаменты); г) ортоизображение без смещения крыш зданий, заполнение зон невидимости

## ■ 10.11. Планово-высотная привязка аэрофотоснимков

Фотограмметрическая обработка как одиночного снимка, так и пары снимков предполагает наличие опорных точек. Опорные точки позволяют производить трансформирование одиночных снимков и геодезическое ориентирование пространственных фотограмметрических моделей местности. Геодезические координаты опорных точек можно получить с помощью геодезических измерений, с планов крупного масштаба или фотограмметрическим методом.

Процесс опознавания на снимках точек местности и определение координат этих точек геодезическими методами называют *привязкой аэрофотоснимков*. В качестве опорных точек выбирают надежно идентифицируемые на снимках точки местности. Привязку, обеспечиваю-

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

щую каждый снимок или каждую стереопару опорными точками в количестве, необходимом для фотограмметрической обработки, называют *сплошной*. В противном случае привязку называют *разреженной*.

Если в результате привязки у каждой опорной точки определяют все три геодезические координаты, то привязку называют *планово-высотной*, если только плановые координаты — *плановой*, если только высотную координату — *высотной*.

Привязка аэрофотоснимков состоит из нескольких этапов:

- подготовки материалов;
- составления проекта привязки;
- рекогносцировки и закрепления на местности опорных точек;
- полевых измерений;
- вычислительных работ;
- оформления материалов и сдачи работ.

Подготовка материалов включает подбор комплектов контактных или увеличенных снимков и репродукций накидного монтажа на объект работ. На репродукцию накидного монтажа переносят пункты геодезической сети с имеющихся топографических карт.

Составление проекта привязки аэрофотоснимков производят на репродукции накидного монтажа.

Как правило, при разреженной привязке опорные точки располагают рядами поперек аэрофотосъемочных маршрутов (рис. 10.14). Расстояние между опорными точками зависит от масштаба создаваемого плана, высоты сечения рельефа, параметров аэрофотосъемки и выражается количеством базисов фотографирования.

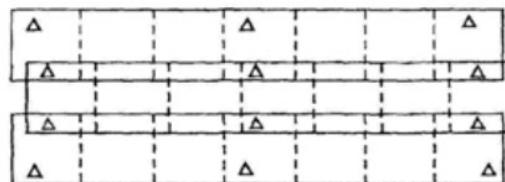


Рис. 10.14. Схема расположения опорных точек при разреженной привязке снимков

Число базисов  $n$  определяют подбором по формулам:  
между высотными опознаками

$$n\sqrt{n+3} = \frac{M_z p^2 y}{0,09 H f^2 \sigma_q}; \quad (10.7)$$

между плановыми опознаками

$$n\sqrt{n+3} = \frac{M_d p y}{0,17 H f^2 \sigma_q}, \quad (10.8)$$

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

где  $M_z$ ,  $M_d$  — средние квадратические погрешности наиболее слабо определяемых точек соответственно по высоте и в плане относительно опорных точек;  $\sigma_q$  — средняя квадратическая погрешность определения поперечного параллакса (для аналитических методов 0,010–0,015 мм);  $p$  — среднее значение продольных параллаксов (в мм), приближенно равное базису фотографирования на снимках (в мм);  $y$  — среднее значение ординат связующих точек, расположенных на середине поперечных перекрытий.

Значения  $M_z$  и  $M_d$  выбираются из таблицы 10.1.

Таблица 10.1

### Значения $M_z$ и $M_d$ в зависимости от масштаба плана и высоты сечения рельефа

Масштаб плана	Высота сечения рельефа, м	$M_z$ , м	$M_d$ , мм на плане
1:5000 – 1:10 000	1,0	0,2	0,20
1:10 000 – 1:25 000	2,0	0,4	0,20 – 0,25
1:10 000 – 1:25 000	2,5	0,5	0,20 – 0,25
1:10 000 – 1:25 000	5,0	1,2	0,20 – 0,25

Места расположения проектируемых опорных точек показывают на репродукции накидного монтажа кружками диаметром 5 мм красной тушью и на одном из перекрывающихся снимков красным карандашом. Опорные точки располагают на середине продольных и поперечных перекрытий, чтобы они изобразились на максимальном количестве снимков. Опорные точки нельзя размещать ближе 1 см от края снимка.

Если привязку снимков выполняют с помощью GPS-аппаратуры, то зоны расположения опорных точек намечают на открытых пространствах, чтобы обеспечить радиовидимость необходимого числа спутников.

В процессе рекогносцировки и закрепления на местности опорных точек опознают и накалывают на снимки существующие пункты триангуляции государственной сети, выбирается окончательное положение каждой опорной точки и уточняется метод ее геодезического определения. В качестве опорной точки выбирают такую точку местности, которая надежно идентифицируется на всех перекрывающихся снимках. Погрешность опознавания опорной точки на местности не должна превышать 0,1 мм в масштабе создаваемого плана.

Опознанные опорные точки закрепляют на местности кольями длиной 0,3–0,5 м и окапывают треугольником со сторонами 1,2–1,5 м. На снимках эти точки накалывают с погрешностью не более 0,1 мм и обводят двумя красными концентрическими окружностями диаметром 8 и 10 мм. Каждой опорной точке присваивают номер.

далее проводят геодезические измерения с помощью современных электронных тахеометров и GPS/ГЛОНАСС-аппаратуры.

В результате вычислительных работ получают геодезические координаты опорных точек.

Для каждой трапеции государственной разграфки, землепользования или населенного пункта формируют техническое дело, в которое входят все материалы полевых и камеральных работ: репроекции накидного монтажа, снимки с оформленными опорными точками, полевые журналы, каталоги геодезических координат и т. п.

## ■ 10.12. Пространственная аналитическая фототриангуляция

*Фототриангуляцией* называют построение пространственной сети треугольников, у которых вершинами являются центры фотографирования и соответственные точки стереопар, а одной из сторон — базис фотографирования. Целью построения и уравнивания фототриангуляционной сети является вычисление элементов внешнего ориентирования всех снимков, включенных в обработку. Фототриангуляцию развивают по снимкам одного или нескольких маршрутов.

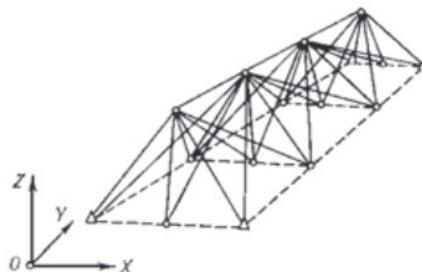


Рис. 10.15. Схема фототриангуляции

В зависимости от этого различают *одномаршрутную* (маршрутную) и *многомаршрутную* (блочную) фототриангуляцию.

Существует несколько способов развития пространственной фототриангуляции: способ независимых моделей, способ частично-зависимых моделей, способ связок и др.

В способе независимых моделей каждая модель строится независимо от других моделей в своей системе координат и в своем масштабе. Созданные модели объединяют в общую модель с помощью связующих точек — точек, расположенных в зоне тройных перекрытий и поэтому принадлежащих двум соседним моделям.

После этого по опорным точкам выполняют внешнее ориентирование общей модели секции маршрута или блока и вычисляют геодезические координаты определяемых точек.

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Способ частично-зависимых моделей также предполагает построение всех моделей фототриангуляционного ряда. Однако в отличие от предыдущего способа угловое ориентирование всех моделей одинаково. Различаются лишь масштабы. Последующую модель приводят к масштабу предыдущей с помощью связующих точек. Общую модель масштабируют и геодезически ориентируют по опорным точкам.

Способ связок отличается от первых двух тем, что фотограмметрическая сеть строится и уравнивается одновременно по всем снимкам, включенным в обработку. Для каждой точки местности, включенной в сеть, составляют  $2n$  уравнений коллинеарности ( $n$  – количество снимков, на которых изобразилась данная точка местности). Все полученные уравнения для всех точек сети объединяются в единую систему уравнений, которая затем решается относительно элементов взаимного ориентирования всех снимков, а также геодезических координат точек сети.

Независимо от способа фототриангуляции при ее развитии используют три вида точек, для которых измеряют координаты на снимках. Это опорные точки, связующие и определяемые. У каждого вида точек свое назначение.

*Определяемые точки* — точки, для которых в процессе фототриангуляции вычисляются геодезические координаты. Определяемые точки в дальнейшем могут использоваться в качестве опорных при фотограмметрической обработке одиночного снимка или пары снимков.

*Связующие точки* позволяют либо объединить одиночные модели местности в единую модель (способы независимых и частично-зависимых моделей), либо определить элементы внешнего ориентирования всех снимков сети в единой системе координат (способ связок). Иными словами связующие точки дают возможность восстановить взаимное положение всех снимков фототриангуляционной сети.

*Опорные точки* ориентируют построенный фототриангуляционный ряд или блок в геодезической системе координат.

Для правильного расположения и обеспечения необходимого количества точек каждого вида составляют проект фототриангуляции.

Составление проекта начинают с подбора снимков фототриангуляционного ряда или блока. На них отождествляют и перекалывают с материалов полевой привязки опорные точки. Затем выбирают и накалывают определяемые точки. Каждой из них присваивают свой номер. Связующие точки выбирают в зоне тройных продольных перекрытий. При развитии блочной фототриангуляции также выбирают и накалывают связующие точки в зонах поперечных перекрытий. Их желательно располагать по разные стороны от середины зоны перекрытия (рис. 10.16, а). В каждом тройном продольном перекрытии должно быть не менее трех связующих точек. Оптимальным считается выбор 6 – 9 связующих точек (рис. 10.16, б).

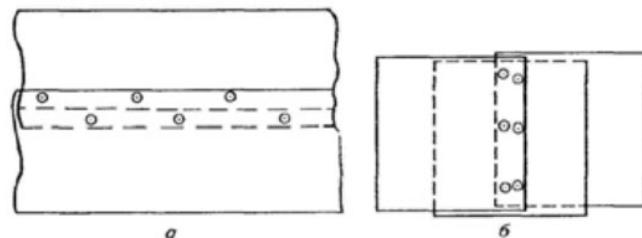


Рис. 10.16. Схема расположения связующих точек:

- а) в поперечных перекрытиях снимков;  
б) в тройных продольных перекрытиях снимков

Измерение координат точек, вошедших в проект, осуществляется в цифровых фотограмметрических рабочих станциях.

Результаты измерений обрабатывают по программам аналитической пространственной фототриангуляции. Итогом является определение элементов внешнего ориентирования всех снимков, включенных в обработку, и каталог геодезических координат определяемых точек.

### ■ 10.13. Аппаратные средства и программное обеспечение цифровой обработки снимков

Внедрение способов цифровой фотограмметрии и особенно ее переход на использование персональных компьютеров позволили самим пользователям осуществлять фотограмметрическую обработку снимков. Теперь нет необходимости в дорогостоящих и сложных оптико-механических приборах и высококвалифицированных кадрах для работы на них.

Основой аппаратных средств являются компьютеры, важнейшими характеристиками которых, с точки зрения потребителя, можно считать тактовую частоту процессора, емкость жесткого диска и его быстродействие. Рост значений этих характеристик увеличивает стоимость компьютера. Поэтому при выборе аппаратного средства важно найти оптимальное соотношение между его стоимостью и требуемыми функциональными возможностями. Термин «обработка снимков» вытесняется термином «работа со снимками». Этому способствуют два фактора.

Во-первых, доступность и возможности компьютерной техники позволяют выполнить весь процесс фотограмметрической обработки снимков самими пользователями, а не только немногочисленными специализированными организациями.

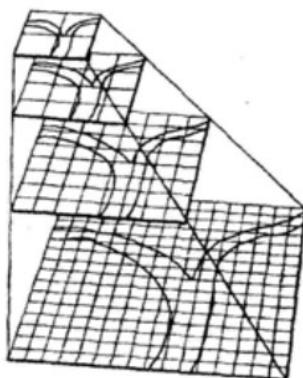
## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Во-вторых, профессиональные пакеты программ, обладая логичной структурой, удобством пользовательского интерфейса, стали доступны для работы специалистам различных прикладных областей: землеустроителям, почвоведам, кадастровым инженерам.

Фотограмметрическое программное обеспечение имеет свои специфические особенности. Это прежде всего необходимость работы с огромными по объему файлами и пространственная привязанность информации.

Для фотограмметрической обработки снимков требуется в 2–5 раз больше дискового пространства, чем занимает обрабатываемый снимок.

Для работы с большими объемами файлов используются специальные форматы данных: иерархические, блоковые и др. Иерархическая структура представляет собой пирамидные слои. Это серии цифровых изображений одного и того же снимка, полученных с различной разрешающей способностью. От слоя к слою разрешающая способность уменьшается в 2–4–8 раз и т. д. (рис. 10.17).



*Rис. 10.17. Пирамида изображений*

Сблокированная структура — совокупность блоков (небольших квадратных участков изображения с прямым доступом к каждому из них).

Использование специальных форматов данных решает одну из проблем работы с оцифрованными снимками — вывод записанного растрового изображения на экран дисплея. Проблема возникает из-за того, что на экране обычно можно разместить  $2048 \times 1536$  пикселей, размер же снимка может составлять  $10\,000 \times 10\,000$  пикселей. Часто обрабатываемый снимок изображается в двух окнах. В одном окне — весь снимок с уменьшенной разрешающей способностью (прореженный), в другом окне — фрагмент (блок) оригинального снимка. Все действия оператора отображаются в обоих окнах.

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Современные пакеты программ обработки снимков разработаны таким образом, чтобы хранить не результаты обработки, а исходные снимки и алгоритмы, позволяющие в нужный момент получить нужный результат.

Это объясняется следующим. Во-первых, каждое преобразование ведет к потере исходной информации и заранее, как правило, неизвестно, насколько важна эта потеря. Во-вторых, быстродействие современных компьютеров и высокая стоимость дисковой памяти делают экономически выгодным повторять при необходимости операции с исходным изображением, чем заполнять память преобразованными изображениями.

Фотограмметрическое программное обеспечение подразделяется на два больших класса: программы обработки одиночных снимков и программы стереофотограмметрической обработки.

### ■ 10.14. Критерии систем цифровой обработки аэро- и космических снимков

Выбор и использование программных средств для фотограмметрической обработки снимков обусловлен набором выполняемых технологических процедур.

Существуют следующие критерии для сравнения и классификации комплексов цифровой обработки изображений.

1. *Характеристика аппаратных средств* — вычислительная платформа, ее минимальная конфигурация, операционная система.

2. *Интеграционные свойства* — входные и выходные форматы растровых данных; совместимость с ГИС, пакетами картографических программ, информационными базами данных; возможность импорта-экспорта результатов фотограмметрических измерений и преобразований, включая результаты определений координат центров фотографирования, определяемых в полете, и т. п.

3. *Функциональность* — подразделение на системы специального назначения и полнофункциональные; первые осуществляют технологические процедуры определенного назначения, например, создание ЦМР или выполнение фототриангуляции. Как правило, подобные программы входят независимой составной частью (отдельным модулем) в общий пакет фотограмметрической системы. Полнфункциональные системы обеспечивают выполнение всех технологических операций, связанных с фотограмметрической обработкой снимков:

- управление проектом;
- сканирование аналоговых снимков с последующей коррекцией оптической плотности или цвета цифрового изображения и организация пирамид изображений;

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

- внутреннее ориентирование снимков в ручном или автоматическом режиме, включая учет дисторсии объектива съемочной системы, внутренней рефракции лучей, нарушения подобия изображения при сканировании, вызванного применением сканеров с недостаточной позиционной точностью;
- взаимное ориентирование снимков в ручном или полуавтоматическом режиме;
- выполнение и уравнивание фототриангуляции с использованием для внешнего ориентирования опорных точек и (или) координат центров фотографирования;
- первичное трансформирование снимков (эпиполярный разворот);
- создание цифровой модели рельефа (в автоматическом режиме по регулярной сетке, с последующим редактированием модели, или в ручном режиме — структурной ЦМР);
- ортофототрансформирование с последующим объединением (шшивкой) трансформированных изображений, фотограмметрической и фотометрической коррекцией по линиям объединения, созданием мозаичного ортофотоплана с зарамочным оформлением;
- выполнение стереонааблюдений для камерального дешифрирования и переноса результатов полевого обследования.

4. Технологические характеристики систем — объем одновременно обрабатываемых снимков (размер блока), возможность обработки панорамных, щелевых, сканерных изображений, аэро- и космических снимков, возможность преобразования изображений в различные картографические проекции, возможность работы с компрессированными (сжатыми) изображениями.

5. Эргономичность интерфейса — включает удобство и разнообразие функций и возможностей манипуляции с изображениями, удобство управления измерительной маркой и т. п.

6. Точность фотограмметрических преобразований характеризует систему величиной погрешности получения положения точки в координатном пространстве. При этом система должна обладать возможностями учета позиционной погрешности пикселя цифрового изображения, вызванной геометрическими искажениями сенсора съемочной системы и модели построения изображения, нарушением подобия изображения при сканировании и др.

7. Средства контроля точности производства отдельных технологических процессов.

8. Надежность — устойчивость к сбоям программы, наличие опций контроля некорректности работы оператора и системы на данном технологическом этапе или операции.

9. Адаптационные возможности — развитие пользовательских приложений. Данный критерий может быть определяющим при экономической и производственной оценке эффективности использо-

## **ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

зования системы, так как позволяет изменять приложения в соответствии с изменением требований к выходной продукции на нормативном и правовом уровнях.

При мониторинге земель дистанционными методами процедуры цифровой обработки снимков связаны с сопоставлением фоновых и новых материалов АКС. Таким образом, к рассмотренному ряду критериев выбора программных средств следует добавить следующие:

- возможность фотограмметрической обработки снимков, полученных различными типами съемочных систем;
- возможность интерпретационной обработки изображений;
- возможность хранения и фотограмметрической обработки изображений, представленных в растровой и векторной формах;
- возможность сравнения фоновых и новых растровых или векторных изображений;
- наличие программных модулей, позволяющих проведение анализа выявленных изменений.

В настоящее время разработаны тематические программные комплексы (ESRI, ERDAS Imagine, ER MAPPER, EASY SPACE и др.), предназначенные для выявления изменений исследуемых территорий по разновременным изображениям, полученным различными типами съемочных систем.

### **■ 10.15. Алгоритм испытаний систем цифровой фотограмметрической обработки снимков**

Существует достаточное количество систем, используемых для фотограмметрической обработки аэро- и космических снимков. Возникает проблема их оптимального выбора и оценки их функциональности. В связи с этим необходима процедура сравнения характеристик данных систем. Для оценки фотограмметрических систем используют следующий алгоритм испытаний, позволяющий сравнивать функциональные, технологические и операционные возможности тестируемых цифровых станций.

#### **1. Выбор и подготовка исходных материалов, используемых для тестирования:**

- черно-белые аэротегативы, обладающие максимально возможной разрешающей способностью; этим требованиям в настоящее время соответствуют снимки, полученные камерой RC-30 на импортной аэрофотопленке (AGFA, Kodak);
- количество снимков до 100, что позволяет создать фотограмметрический блок с подразделением его на подблоки. Это дает возможность более гибкой и корректной оценки стратегии фототриангуляции; кроме того, опыт работы производственных организаций

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

показывает, что размер блока на один проект (объект) в среднем состоит из 100 снимков;

– параметры аэрофотосъемки стандартные, применяемые для выполнения производственных задач: продольное перекрытие 60 %, поперечное перекрытие 30 – 40 %, масштаб  $1:m = 10\ 000 – 20\ 000$ ;

– координаты центров фотографирования определены в любой из применяемых на данный объект систем координат;

– материалы полевой планово-высотной привязки аэроснимков. Предварительно выполняют расчет размера звена или блока фототриангуляции (расстояние между опознаками) и определяют их расположение.

### **2. Содержание и методика тестовых испытаний.**

#### **2.1. Преобразование аналоговых изображений в цифровые растровые.**

Преобразование необходимо выполнять фотограмметрическими сканерами с разрешением 5 – 10 мкм, типа PHOTOSCAN, DSW-200, ПРОФСКАН. Уменьшение размера пикселя сканирования в настоящее время можно считать нецелесообразным по следующим причинам:

– при формировании аналогового (фотографического) снимка суммарная позиционная погрешность регистрации оптического изображения на фотоэмulsionционном слое достигает 10 мкм и более;

– уменьшение пикселя растрового изображения предполагает уменьшение размера элемента матрицы, что вызовет геометрические и энергетические шумы при сканировании;

– резко увеличивается объем необходимой памяти обрабатывающего комплекса.

Регистрация цифровых снимков должна выполняться в формате, который поддерживается обрабатывающей программой. В настоящее время, по данным ГИС-ассоциации, в мире используют форматы DXF – 38 %, MRMD TAB – 20 %. Формат TILLED TIFF, широко применяемый в РФ, в мире используется на уровне 3 %. При несовпадении форматов должна быть возможность проведения конвертирования в формат тестируемой станции.

#### **2.2. Создание фотосхемы, пирамид изображений.**

#### **2.3. Сравнение эффективности фототриангуляции.**

Главным критерием фототриангуляции являются остаточные погрешности на контрольных точках после процесса уравнивания фототриангуляционной сети. Оценивают эргономичность, временные и трудовые затраты на проведение данного технологического этапа. В ходе выполнения оценивают некоторые функциональные возможности:

– учет деформаций изображений, вызванных внутренними и внешними факторами, определяющий восстановление закона построения снимка;

– технологичность и удобство наблюдений координатных меток;

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

- возможность проведения самокалибровки;
- способы построения фототриангуляционного ряда или блока;
- степень автоматизации наблюдений связующих, опорных и определяемых точек, а также надежность работы оптического коррелятора при автоматической идентификации точек на соседних снимках;
- автоматическое выявление ошибок;
- возможность использования координат центров фотографирования (КЦФ), определяемых бортовыми GPS/ГЛОНАСС в полете, и угловых элементов внешнего ориентирования, измеряемых инерциальными системами навигации.

Дополнительным тестом выявляют возможность работы с разновременными и разнотипными снимками.

### 2.4. Сравнение способов построения стереомодели и оценка эффективности стереонаблюдений.

Для данного исследования должны быть выбраны снимки на участки местности с различным рельефом в количестве, обеспечивающем достоверность конечных результатов. Данные сравнительные испытания позволяют выявить возможности системы по следующим критериям:

- функциональность:
  - автоматическое или производимое оператором эпиполярное (предварительное) трансформирование снимков стереопары;
  - возможность создания стереомодели по элементам внешнего ориентирования, полученным из фототриангуляции;
  - активный или пассивный способы стереоскопического наблюдения модели;
  - способ наведения на измеряемую точку — перемещение курсора относительно изображения или изображения относительно курсора;
  - возможность обработки цветных изображений;
  - возможность фотометрической коррекции изображений (изменений интегральной плотности, контраста, проработки в тенях, цветового баланса, цветового контраста и т. п.);
- эргonomичность:
  - утомляемость зрительного аппарата исполнителя в течение длительных наблюдений;
  - удобство перемещения измерительного курсора по стереомодели;
  - возможность изменения формы, размера и цвета измерительного курсора.

### 2.5. Сравнение эффективности автоматического создания цифровой модели рельефа.

Применение различных способов создания ЦМР и интерполяции высот, реализованных в фотограмметрических станциях,

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

определяет стратегию автоматического построения модели рельефа. Стратегия обработки снимков должна обеспечивать требуемую точность информации о рельефе и технологичность процесса построения ЦМР. В результате автоматического построения ЦМР оцениваются следующие показатели:

- точность полученной ЦМР — оценка может быть выполнена по связующим точкам, высоты которых получены из фототриангуляции, и контрольным пикетным точкам, определяемым в полевых условиях геодезическими способами; при этом количество контрольных точек зависит от сложности рельефа на участках обработки;
- скорость автоматического построения ЦМР может характеризоваться временем, затрачиваемым на единицу наблюдения, или количеством наблюдений в единицу времени, а также временем на обработку единицы площади (стереопару);
- эффективность реализуемых в программе способов объединения ЦМР, полученных по стереопарам (так называемых локальных ЦМР), в единую модель рельефа на объект обработки;
- способы ручного редактирования, включающие скорость операций, удобство интерактивного редактирования;
- способы визуализации информации о рельефе (горизонтали, высотные точки, вертикальные профили);
- возможность представления горизонталей с заданным сечением, утолщения кратных горизонталей, нанесения берг-штрихов, выделения информации о рельефе по заданным параметрам;
- возможность экспорта ЦМР в другие системы в различных форматах.

### *2.6. Производство ортофототрансформирования и создание мозаичного ортофотоплана.*

Система должна тестироваться по качеству ортофотоизображения, создаваемого в пределах единой ЦМР. Эффективность данного технологического этапа оценивают по следующим показателям:

- точность ортофототрансформирования и ортофотоизображения, оцениваемая по плановым контрольным точкам, количество которых определяется нормативными документами и инструкциями;
- постоянство величины разрешения по всей площади ортофотоизображений;
- точность взаимного положения контуров по линии объединения (шивки) ортофотоизображений;
- минимизация различий оптической плотности (цвета) изображений одноименных объектов по линии шивки;
- возможность выделения заданных фрагментов ортофотоизображения, в том числе разделение на ортофотопланы с зарамочным оформлением, соответствующим инструкциям;
- время, затраченное на ортофототрансформирование единицы площади;

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

— возможность экспорта конечной продукции в различные программы в растровых форматах.

### 2.7. Стоимость цифровых фотограмметрических станций.

Рассмотренная методика служит базовой при оценке и сравнении цифровых фотограмметрических систем, используемых для создания и обновления ортофотопланов.

## ■ 10.16. Устройства ввода-вывода изображений

Цифровые технологии фотограмметрической обработки снимков предусматривают использование специального комплекса технических средств — цифровых фотограмметрических рабочих станций (ЦФРС), включающих устройства ввода-вывода изображений и вычислительный комплекс.

Поскольку исходным материалом для цифровых технологий в большинстве случаев остаются аэрофотоснимки, их необходимо преобразовать в цифровой вид — цифровать. Цифрование может производиться в двух вариантах: растровом и векторном.

Получение *растрового изображения* — поэлементная запись исходного изображения в трехмерном коде: плановые координаты точки на изображении ( $x, y$ ) и закодированная оптическая плотность или цвет этой точки. Технические средства, осуществляющие растровое цифрование, — сканеры, сам процесс цифрования изображения сканером называют *сканированием*. Сканеры — сложные оптико-электронные устройства для автоматизированного цифрования изображений. Они незаменимы при вводе фотоизображений, однако требуют больших компьютерных ресурсов.

Если сканированное полутоновое изображение визуализировать на экране дисплея, то снова получают полутоновое изображение.

Сущность процесса *векторизации* описана в пункте 9.9. Векторизацию можно проводить вручную с помощью дигитайзеров, а также на экране монитора в ручном, полуавтоматическом или автоматическом режимах.

В зависимости от конструкции и принципа действия различают планшетные и барабанные сканеры.

*Планшетные сканеры* имеют следующие конструктивные особенности:

- сканируемый материал (фотоснимок) размещается на горизонтальном предметном стекле;
- приемником излучения является линейка светочувствительных элементов (ПЗС-линейка);
- объектив, строящий изображение на ПЗС-линейке, неподвижен относительно нее.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Вариант конструкции планшетного сканера показан на рисунке 10.18.

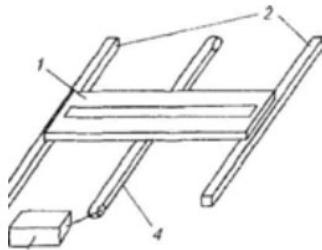


Рис. 10.18. Схема планшетного сканера:

1—подвижная каретка; 2—направляющие; 3—механический привод; 4—ременная передача

Сканируемый фотоснимок помещают на предметное стекло. Под стеклом может перемещаться подвижная каретка 1, на которой находится фотометрический блок. Он состоит из объектива и ПЗС-линейки. Приемник излучения одномоментно регистрирует отраженную энергию от всех элементов строки изображения. Таким образом, осуществляется электронная строчная развертка. Кадровая развертка выполняется в результате пошагового движения каретки по направляющим 2 перпендикулярно сканирующей линейке. Каретку приводит в движение механический привод 3 посредством ременной передачи 4.

На каждом шаге сканирования светочувствительные элементы ПЗС-линейки считывают информацию с элементарных площадок сканируемого изображения. Центр площадки называют *точкой позиционирования*, а *растром изображения* — упорядоченное множество точек позиционирования.

Процесс формирования раstra показан на рис.10.19. ПЗС-линейка, жестко связанная с объективом, перемещается вдоль оси Y. В идеальном случае точки позиционирования располагаются в узлах регулярной сетки квадратов, и растр имеет строго прямоугольную форму. В каждой точке позиционирования кодируется среднее значение оптической плотности элементарной площадки оригинала.

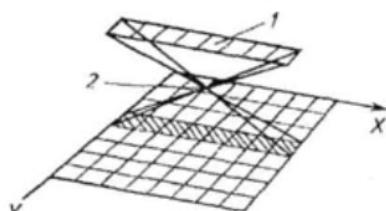


Рис. 10.19. Процесс формирования растрового изображения:

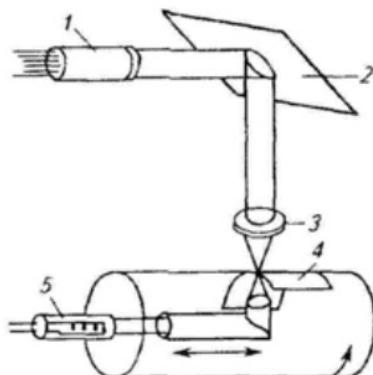
1 – ПЗС-линейка; 2 – объектив

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

На практике удается получить не идеальный, а искаженный растр. Точки позиционирования искаженного растра не лежат в узлах сетки квадратов. Приблизить реальный растр к идеальному можно двумя способами: совершенствуя конструкцию сканера, повышая точность юстировки его узлов или создавая на основе калибровки сканера математическую модель искажений, используемую в дальнейшем для коррекции растра.

Первый путь ведет к значительному повышению стоимости сканеров (приблизительно в 10 – 40 раз). Ведущие фирмы-изготовители сканеров пошли по второму пути.

В комплекте со сканером они поставляют программное обеспечение для исправления метрических искажений растра, так называемую коррекционную программу. Такая программа восстановления растра позволяет учесть искажения изображения, возникшие в процессе сканирования, а также искажения, вызванные деформацией основы фотоматериала (пленки или бумаги). Для этого на снимок в момент экспонирования впечатывают контрольную сетку крестов, координаты которых известны с высокой точностью.



10.20. Схема барабанного сканера:

1 – ФЭУ; 2 – зеркало; 3 – объектив; 4 – оригинал; 5 – лампа

В барабанных сканерах (рис. 10.20) в качестве приемников излучения используют фотодиоды, которые обладают лучшими фотометрическими характеристиками, чем ПЗС-линейки. Сканируемый материал закрепляют на прозрачном барабане, который вращается над неподвижным приемником излучения. Таким образом, строчная развертка в барабанных сканерах осуществляется электронным способом, а кадровая — вращением барабана.

Основные технические характеристики сканеров:

- позиционная точность;
- линейная разрешающая способность;

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

– энергетическая разрешающая способность.

У цветных сканеров — еще и глубина цвета.

*Линейная разрешающая способность* показывает размер элементарной площадки сканирования и измеряется в dpi (количество пикселей в дюйме изображения). Разрешающая способность 600 dpi означает, что на один дюйм (25,4 мм) длины изображения приходится 600 элементарных площадок сканирования (пикселей), т. е. размер одного пикселя 0,042 мм.

*Энергетическая разрешающая способность* сканера характеризует количество ступеней серого тона от белого до черного, различно воспринимаемых сканером, измеряется в битах. Энергетическая разрешающая способность 8 бит означает, что сканер воспринимает  $2^8$  градаций серого тона. Энергетическая разрешающая способность зависит от вида приемника излучения. У фотодиодов она выше, чем у ПЗС-линеек.

*Позиционная точность* сканера характеризует степень нарушения подобия сканируемого и сканированного изображений и представляет собой среднюю квадратическую погрешность (СКП) положения точек реального и идеального раstra. Она во многом зависит от его конструкции и измеряется в миллиметрах.

Устройства, позволяющие вывести на печать цифровую информацию, называются *плоттерами* или *принтерами*. *Плоттеры* выводят изображение на широкоформатные материалы (бумагу, пленку, кальку). Для вывода малоформатных изображений используют *принтеры*.

По принципу построения изображения различают векторные и растровые плоттеры. В векторных плоттерах пишущими элементами являются фломастеры, радиографы, ручки. Они перемещаются по полу выводимого изображения и рисуют различные линии. Растровые плоттеры, так же как и принтеры, формируют изображение построчно в одном направлении. Векторные плоттеры в фотограмметрии практически не применяют.

В растровых плоттерах используют различные способы печати. В связи с этим их разделяют на электростатические, термовосковые, лазерные, струйные и др. Наиболее широко применяют струйные плоттеры, печатающая система которых состоит из картриджей, заполненных чернилами, и струйной головки. Последняя имеет вид матрицы, состоящей из крохотных сопел, через которые капельки чернил из картриджей выдавливаются на носитель. Существует два основных вида струйной печати: термопечать и пьезоэлектрическая. Термопечать осуществляется горячими чернилами, пьезоэлектрическая — холодными. В связи с этим разрешающая способность пьезоэлектрической струйной печати достигает 1440 dpi, в то время как термопечать может обеспечить максимальную разрешающую способность 720 dpi.

## ■ 10.17. Технологические схемы создания цифровых моделей местности

Технологическая схема представляет собой последовательность взаимосвязанных технических и организационных процессов, в результате выполнения которых получают цифровую модель местности. При создании моделей местности по материалам аэро- и космических съемок традиционно выполняются следующие процессы:

- разработка технико-экономического проекта;
- выполнение аэро- или космической съемки;
- геодезическая привязка снимков;
- дешифрирование снимков;
- фотограмметрическая обработка снимков и получение цифровых моделей местности.

Каждый из перечисленных процессов имеет свои особенности и способы реализации. Поэтому их сочетание приводит к многообразию вариантов технологий при создании цифровых моделей местности. На выбор технологической схемы прежде всего влияет вид конечной продукции: требуемая метрическая точность, содержание и объем семантической информации модели. Существенными факторами, определяющими выбор технологии, являются техническое обеспечение (компьютеры, программы, устройства ввода-вывода), квалификация исполнителей и сроки выполнения работ. Помимо этого учитываются физико-географические и климатические факторы района производства работ. С позиций экономики технология должна обеспечивать минимальные затраты на единицу выходящей продукции, например затраты на создание планово-карточеской продукции на один гектар или квадратный километр.

Рассмотрим некоторые технологические схемы получения информационных моделей местности.

*Технология создания сельского фотоплана* на территории сельских населенных пунктов (предложена профессором Б.Н. Родионовым). Данная технология базируется на теоретическом обосновании и выводах, выполненных в части III. Сельскими фотопланы называются потому, что они используются для организации и управления сельскохозяйственным производством, обеспечивая достаточную точность определения длин линий и площадей. Технология создания подобных фотопланов предельно проста и экономична. Они изготавливаются и передаются пользователю в кратчайшие сроки после аэрофотосъемки. Суть технологии заключается в минимизации влияния угла наклона снимка и рельефа при аэрофотографировании. Аэрофотоснимки получают с высотных реактивных самолетов, обеспечивающих без гиростабилизирующих установок углы наклона не более  $1^\circ$  с высоты 10 000 м аэрофотоаппаратами с фокусным расстоянием объек-

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

тива 1000 мм. Полученные снимки увеличивают до масштаба выпускемых сельских фотопланов, равного 1:2000. Печать осуществляется на листах бумаги размером  $50 \times 60$  или  $60 \times 60$  см. Один такой лист покрывает на местности участок площадью 120 или 144 га. Для большинства регионов центрально-европейской части России в пределах такой площади редко встречается перепад высот более 40 м, то есть отклонение от средней секущей плоскости не более 20 м. При таких высотах участков местности и высоте аэрофотографирования 10 000 м влиянием рельефа можно пренебречь. При значительном рельефе размер листа фотоплана уменьшают так, чтобы на местности, изображенной на нем, разность высот была не более заданной величины. Каждый лист масштабируется отдельно. Точность получаемых таким способом фотопланов не ниже 1/100. На этом процесс фотограмметрической обработки заканчивается. Пользователи, а ими являются сотрудники местных администраций, кадастровых и архитектурных управлений, и т. п., получают для работы материалы, соответствующие современному состоянию территории и достаточной точности.

Сельские фотопланы называют также свободными, так как они изготавливаются без опорных точек, имеющих геодезические координаты. Поэтому на них нет сетки геодезических координат и рамок трапеций государственной разграфки. Разграфку листов фотопланов проводят в соответствии с границами населенного пункта и кварталов застройки. На лицевой стороне каждого листа указывают направление на север и средний масштаб 1:2000, название населенного пункта и порядковый номер листа, если изображение населенного пункта размещается на нескольких листах. На обратной стороне приводят схему взаимного расположения листов. Для обеспечения более высокой точности измерений следует выпускать сельские фотопланы в масштабе 1:1000 и 1:500, для чего потребуется выполнение аэрофотосъемки в более крупных масштабах. Разумеется, при этом значительно возрастают материальные и трудовые затраты.

Сельские фотопланы могут служить основой для создания кадастровых планов. При небольших навыках работы с фотоизображением с помощью сельских фотопланов сотрудники администраций могут определять линейные и площадные размеры участков, решать спорные вопросы о границах соседних земельных участков, устанавливать и восстанавливать границы, определять самозахваты земель и использование земель не по назначению, проводить инвентаризацию земель и т. п.

**Технология создания базовых планов** состояния и использования земель сельских населенных пунктов на основе обработки фрагментов увеличенных снимков. Рассмотрим два варианта данной технологии. Эти варианты различаются последовательностью выполнения этапов дешифрирования и фотограмметрических преобразований.

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В первом варианте дешифрирование предшествует фотограмметрической обработке. Для этого после аэрофотосъемки выполняют увеличенную печать фрагментов снимков с помощью прецизионных фотоувеличителей на недеформируемой фотографической бумаге. Таким образом, дешифрирование выполняется на разномасштабных фотоизображениях. Фотограмметрические преобразования дешифрированных снимков проводят для границ дешифрированных контуров в векторной форме.

Во втором варианте аэроснимки (негативы) сканируют, полученные растровые изображения трансформируют, выводят на печать с помощью картографических плоттеров. После этого производят дешифрирование одномасштабных изображений.

Остановимся на содержании отдельных видов работ данной технологической схемы.

На подготовительном этапе осуществляется сбор планово-картоографических материалов на территорию работ, изучается наличие пунктов геодезической сети, рельеф, дорожная сеть, водные объекты, природно-климатические особенности района работ и т. п. В соответствии с требуемой точностью создаваемых планов выполняется расчет параметров аэрофотосъемки, выбираются типы аэрофотоаппаратов, сроки производства аэрофотосъемочных работ.

Планы населенных пунктов изготавливают в масштабе 1:500 – 1:2000, аэрофотосъемку же производят в масштабах в 5 – 10 раз мельче. Технические характеристики отечественных аэрофотоаппаратов и плёнок позволяют выдерживать соотношение съемочного масштаба и плана до 5 крат. Применение съемочных средств и материалов зарубежных фирм увеличивает это соотношение до 10 и более крат. Фокусное расстояние объектива АФА выбирается возможно большим и соответственно съемка выполняется с больших высот.

Документами, используемыми при составлении проектов и графиков выполнения основных видов работ, являются: договор с заказчиком, календарный план сдачи продукции, аэроснимки и репродукции накидного монтажа новой аэросъемки. При планировании используют схемы геодезической сети, каталоги координат пунктов геодезической сети, существующие планы и карты, материалы аэрофотосъемок прошлых лет и др. Технический проект составляется опытными высококвалифицированными специалистами. В проекте рассчитываются трудовые и денежные затраты по каждому виду камеральных и полевых работ и составляются графики их выполнения. На графиках указывают трапеции или участки и сроки выполнения работ. Графики позволяют установить взаимосвязь между отдельными видами работ, оптимально распределить специалистов, осуществлять контроль сроков выполнения и сдачи продукции заказчику.

Изготовление фрагментов увеличенных снимков производится с помощью специальных прецизионных проекционных приборов,

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

имеющих оптические системы с высокой разрешающей способностью и малой дисторсией. В качестве таких увеличителей могут быть использованы фототрансформаторы. Увеличенные фрагменты печатают с небольшим перекрытием, обеспечивающим нахождение в них общих для фрагментов снимка опорных точек. Выбранные точки будут использованы в дальнейшей обработке для объединения изображений в единый электронный базовый план.

Привязка фрагментов увеличенных снимков имеет некоторые методические особенности. В соответствии с наставлениями по созданию базовых планов первоначально производится создание опорной межевой сети (ОМС) в данном населенном пункте. Для этого на местности закрепляют опорные межевые знаки (ОМЗ), координаты которых определяют в общегосударственной или условной системе. Среднеквадратическая погрешность положения межевого знака относительно пунктов государственной геодезической сети не более 0,1 мм в масштабе создаваемого плана. Средняя квадратическая погрешность взаимного положения опорных межевых знаков составляет не более 0,05 мм в масштабе создаваемого плана. К ОМЗ осуществляется геодезическая привязка фрагментов увеличенных снимков. Опорные точки располагают на увеличенных фрагментах снимков по границе изображенного на них поселения, а также в зонах перекрытия фрагментов. Для повышения точности и надежности фотограмметрической обработки снимков количество опорных точек увеличивают до 6 – 8. При значительных уклонах местности для учета влияния рельефа опорные точки размещают внутри участка населенного пункта, как правило, координируя углы кварталов, однозначно идентифицируемых на изображении.

В случае, когда базовые планы создают в условной системе координат и нет необходимости их перевычисления в государственную геодезическую систему координат, возможно применение камеральной привязки снимков. Для этого используют старые планы и снимки новой аэрофотосъемки. Масштаб используемых планов должен обеспечить требуемую точность определения координат опорных точек. На данных материалах намечают и идентифицируют опорные точки, затем по старым планам определяют их геодезические координаты и составляют каталоги координат. Такой способ привязки снимков уступает по точности полевой привязке. Однако затраты на камеральную привязку снимков или их фрагментов существенно меньше по сравнению с полевым способом.

Технологии дешифрирования, ввода изображения, фотограмметрической обработки одиночных снимков и фрагментов увеличенных снимков, объединение (шивка) снимков или фрагментов рассмотрены в соответствующих разделах.

Редактирование электронного плана предусматривает в основном устранение погрешностей ввода изображения. Ввод изображения, как

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

уже рассмотрено ранее, осуществляется с помощью дигитайзера или сканера. В первом случае получают векторное изображение в системе координат дигитайзера. Во втором случае от растрового изображения, полученного при сканировании снимков (или фрагментов), переходят к векторному. Этот процесс называют векторизацией. Первичное векторное изображение имеет пропуски, разрывы контуров, различные шумы (дублирование линий, образование малых замкнутых фигур в точках пересечения и т. п.). Для устранения погрешностей используют специальный программный редактор и ручную коррекцию. На этом же этапе по результатам полевых обмеров на экране монитора наносят не изобразившиеся при аэрофотосъемке объекты.

Перенос результатов дешифрирования заключается в следующем. Используя дешифрированные увеличенные фрагменты снимков, материалы полевого обследования (декларации, полевые журналы) и иную информацию, оператор присваивает каждому контуру электронного плана семантическую характеристику. Для этого оператор из программного классификатора вызывает обозначение определенного класса объектов, устанавливает курсор на обучаемый контур и нажатием кнопки «мыши» завершает операцию. Классифицированный контур окрашивается в соответствующий цвет или заполняется условными знаками. Выполнив подобную операцию с каждым контуром, составляют экспликацию земель в границах населенного пункта. Сумма площадей земель по классам и площадь поселения в его границах должны быть равны.

В результате выполнения рассмотренных технологических этапов создается базовый план. При сдаче заказчику базового плана оцениваются следующие показатели:

- точность метрической информации (сравниваются геодезические координаты или длины, полученные с плана и в результате полевых измерений);
- достоверность семантической информации;
- сводный баланс земель в границах поселения;
- отражение фактической ситуации в отношении сложившихся границ и использования земельных участков.

После создания базового плана приступают к организации банка (базы) земельно-кадастровой информации. Базовый план при этом является картографической основой и предназначен для пространственного размещения земельно-кадастровой информации. Перечень сведений, подлежащих сбору и отражению в информационной базе, определяется нормативно-техническими документами и (или) техническим заданием.

Результатами работ, выполняемых в соответствии с рассмотренной технологической схемой, являются:

- кадастровые планы на населенные пункты (планшеты с разграфкой в масштабах 1:500 – 1:2000);

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

- планы отдельных земельных участков (с указанием владельца, фактической площади, длин линий, румбов сторон участка, смежников);
  - база земельно-кадастровой информации.

Материалы могут быть представлены заказчику на электронном носителе или на бумажной основе. Для исключения погрешностей при печати тиражирование на бумажном носителе выполняется с помощью прецизионных плоттеров.

Технологическая схема создания базовых планов по второму варианту имеет преимущества перед ранее рассмотренной схемой. В ней отсутствует фотографическая печать фрагментов увеличенных снимков. Камеральное дешифрирование выполняется на экране монитора, что позволяет увеличивать изображение, изменять его контрастность, повышая проработку деталей в тенях, и более надежно идентифицировать поворотные точки границ земельных участков. При полевом дешифрировании используется одномасштабное частично дешифрированное фотографическое изображение, полученное в результате компьютерного увеличения цифрового изображения. Одномасштабность изображения позволяет точнее наносить неизобразившиеся объекты или их элементы по данным линейных промеров. Отпадает необходимость ведения полевого журнала измерений. При создании плана по рассмотренной технологической схеме снижаются затраты и ускоряется выпуск конечной продукции.

*Технологическая схема создания ортофотоплана* способом цифровой стереофотограмметрической обработки снимков представлена на рис. 10.21. В данной схеме технической базой является автоматизированная система кадастрового картографирования Intergraph.

Отличительной особенностью данной технологии является использование стереоскопической обработки снимков, при которой в полной мере учитывается рельеф местности. Методы цифровой фотограмметрии позволяют организовать процесс изготовления ортофотопланов с требуемой точностью, но меньшими материальными, трудовыми и временными затратами. Рассмотрим основные этапы создания ортофотоплана.

Полевая маркировка представляет собой процесс установления на местности искусственных опорных знаков (опознаков). Маркировка искусственными опознаками выполняется на местности, где нет естественных контуров, уверенно опознаваемых на снимках. Эта работа выполняется до аэрофотосъемки. На местности роют неглубокие канавы, наносят линии известью или используют иные материалы. Форма опознaka может быть различной: крест, квадрат, У-образная форма и т. п. Размер знака зависит от масштаба получаемых снимков. Маркировку осуществляют в заранее намеченных зонах, удовлетворяющих требованиям фотограмметрической обработки снимков. Для облегчения нанесения границ маркируют

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

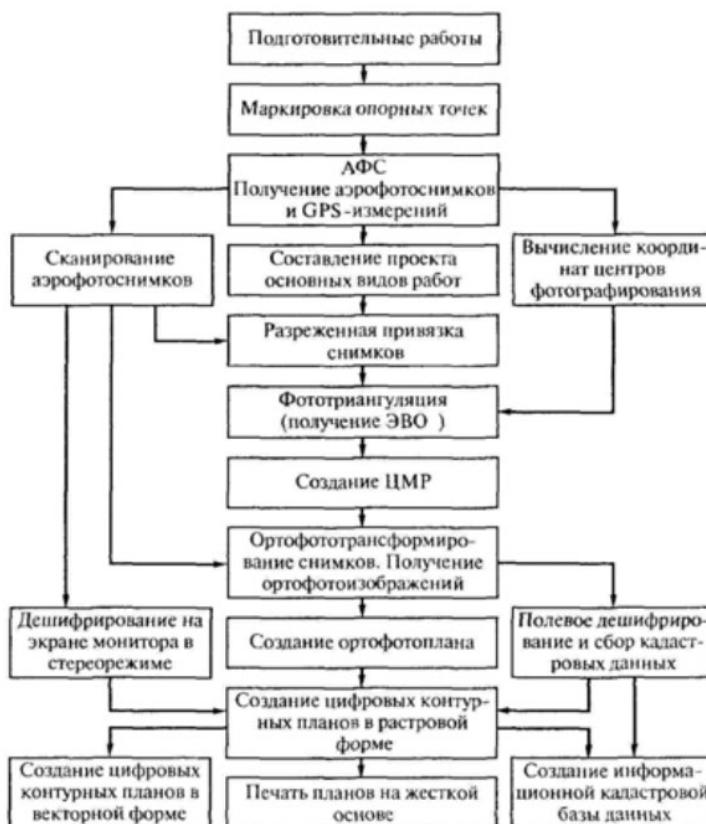


Рис. 10.21. Технологическая схема создания ортофотоплана и кадастрового плана по материалам АФС

сохранившиеся поворотные пункты границ землепользований. Масштаб аэрофотосъемки, высота фотографирования рассчитываются таким образом, чтобы обеспечить необходимую точность определения плановых и высотных координат.

При разреженной привязке снимков опорные точки располагают в углах и в центре маршрута или блока. Блок может быть составлен из 50 – 100 снимков и более.

Фотограмметрическая обработка включает: сканирование снимков и создание библиотеки цифровых изображений на магнитных носителях, ввод необходимых для обработки снимков, маршрутную или блочную фототриангуляцию, создание цифровой модели местности, ортофототрансформирование, изготовление электронного ортофотоплана. Потребителю ортофотоплан передается в растровой или векторной форме на магнитном или бумажном носителе.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие требования предъявляют к опорной точке при ее выборе?
2. Для каких целей выполняется фототриангуляция?
3. Каковы принципиальные отличия способов производства фототриангуляции?
4. Каково назначение связующих и опорных точек при фототриангуляции?
5. Как следует выбирать параметры аэрофотосъемки, чтобы увеличить расстояние  $n$  между опознаками с целью сокращения полевых работ по привязке аэроснимков?
6. Почему применение АФА с меньшим фокусным расстоянием, чем рассчитанное по формуле (9.10), требует построения ЦМР при последующей фотограмметрической обработке одиночных снимков?

### **■ 10.18. Фотограмметрическая обработка сканерных снимков, полученных оптико-электронными съемочными системами**

Как рассмотрено ранее, в оптико-электронных сканерах для регистрации излучения используют сенсоры в виде ПЗС-линеек. Число элементов, образующих ПЗС-линейки, может достигать десятков тысяч. Линейное разрешение оптико-электронных съемочных систем зависит от размера элементов, составляющих ПЗС-линейку.

В процессе съемки ПЗС-линейки ориентированы перпендикулярно направлению полета. Поступательное движение спутника обеспечивает развертку изображения по оси  $x$ . Снимки, полученные методом оптико-электронного сканирования, создаются путем объединения смежных строк, каждая из которых формируется из собственного центра, в соответствии с законами центрального проектирования. Для данных снимков невозможно применить методы классической фотограмметрической обработки, поскольку изображение не является единой центральной проекцией.

Геометрические особенности изображений, полученных цифровыми сканирующими съемочными системами, накладывают определенные требования к математическому аппарату и программному обеспечению, позволяющему учесть их при дальнейшей фотограмметрической обработке.

Фотограмметрическая обработка одиночных снимков, учитывая эти особенности, в общем случае сводится к вычислению

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

трансформированных координат  $x^0, y^0$ , отнесенных к некоторой плоскости или поверхности, причем:

$$\begin{aligned} x^0 &= F_x(x, y, Q), \\ y^0 &= F_y(x, y, Q), \end{aligned} \quad (10.9)$$

где  $F_x, F_y$  — вид функции;  $Q$  — параметры орбиты, сенсора и др.

Для создания ортофотопланов или цифровых моделей местности с точностью, близкой к разрешению исходного изображения, необходимо применять достаточно сложные модели. Среди применяемых для этой цели методов можно выделить:

- математически строгий;
- параметрический;
- аппроксимационный;
- полиномиальные.

**Математически строгий метод** предполагает фотограмметрическую обработку каждого скана, при которой восстанавливается его пространственное положение. Метод основан на определении линейных элементов внешнего ориентирования каждого скана, ориентации сенсора (угловых элементов внешнего ориентирования), а также использовании геометрической модели сенсора — элементов внутреннего ориентирования.

Точный подход к обработке сканерных снимков основан на восстановлении связки лучей, существовавшей в момент формирования изображения каждым ПЗС-элементом, и решении уравнений коллинеарности:

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -f \frac{a_{11}(X - X_s) + a_{12}(Y - Y_s) + a_{13}(Z - Z_s)}{a_{31}(X - X_s) + a_{32}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)}, \\ y - y_0 &= -f \frac{a_{21}(X - X_s) + a_{22}(Y - Y_s) + a_{23}(Z - Z_s)}{a_{31}(X - X_s) + a_{32}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)}, \end{aligned} \quad (10.10)$$

где  $X_s, Y_s, Z_s$  — координаты центра фотографирования в момент съемки;  $X, Y, Z$  — геодезические координаты точки;  $x, y$  — координаты точки на изображении;  $f$  — фокусное расстояние камеры;  $x_0, y_0$  — координаты главной точки;  $a_{ij}$  — элементы матрицы поворота на углы  $\alpha, \omega, \kappa$ .

Решение уравнений (10.10) осложняется тем, что для каждой строки сканерного изображения элементы внешнего ориентирования  $X_s, Y_s, Z_s, \alpha, \omega, \kappa$  различны и зависят от параметров съемки (для космических снимков — от значений параметров орбиты).

Съемочный процесс описывается с использованием трех моделей: перемещения сенсора, вращения и сканирования.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Модель перемещения обеспечивает получение пространственных координат центров проектирования каждой строки изображения.

Модель вращения сенсора определяет матрицу мгновенных углов наклона и поворота съемочной системы, аналогичных угловым элементам внешнего ориентирования топографических аэрофотоснимков.

Геометрическая модель сенсора (сканирования) определяет направление проектирующего луча при съемке. Модель основана на особенностях конструкции сканирующей системы и не может быть построена по косвенным данным. Модели сканирования представляют коммерческую тайну соответствующих фирм, что превращает обработку полученных с помощью конкретной съемочной системы изображений в сложную технологическую задачу.

Параметрический метод фотограмметрической обработки основан на применении проективных или аффинных преобразований координат соответственных точек снимков и местности. Один из вариантов проективного преобразования известен как метод прямого линейного трансформирования DLT (Direct Linear Transformation). Он основан на применении формул связи координат соответственных точек двух взаимно проективных плоскостей:

$$\begin{aligned}x &= \frac{a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4}{c_1X + c_2Y + c_3Z + 1}, \\y &= \frac{b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4}{c_1X + c_2Y + c_3Z + 1}.\end{aligned}\tag{10.11}$$

Для равнинной местности принимают  $Z = const$  и используют формулы:

$$\begin{aligned}x &= \frac{a_1X + a_2Y + a_3}{c_1X + c_2Y + 1}, \\y &= \frac{b_1X + b_2Y + b_3}{c_1X + c_2Y + 1},\end{aligned}\tag{10.12}$$

где  $x, y$  — координаты точки в системе координат изображения:  $X, Y, Z$  — координаты соответствующей точки в системе координат местности;  $a_i, b_i, c_i$  — параметры проективного преобразования.

Уравнения 10.11 и 10.12 приводят к линейному виду путем разложения в ряд Тейлора, после чего для каждой опорной точки с известными координатами составляют два уравнения поправок вида:

$$\begin{aligned}d_{1X}\delta a_1 + d_{2X}\delta a_2 + d_{3X}\delta a_3 + d_{4X}\delta a_4 + d_{5X}\delta c_1 + d_{6X}\delta c_2 + d_{7X}\delta c_3 + l_x &= v_x, \\d_{1Y}\delta b_1 + d_{2Y}\delta b_2 + d_{3Y}\delta b_3 + d_{4Y}\delta b_4 + d_{5Y}\delta c_1 + d_{6Y}\delta c_2 + d_{7Y}\delta c_3 + l_y &= v_y,\end{aligned}\tag{10.13}$$

где  $d_{1X}, d_{2X}, \dots, d_{7Y}$  — частные производные от функций 10.11 или 10.12 по соответствующим неизвестным.

## ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Решение уравнений (10.13) методом наименьших квадратов дает неизвестные параметры  $a_i, b_i, c_i$  преобразования координат. Недостатком метода является необходимость использования большого количества опорных точек.

**Аппроксимационный метод** фотограмметрической обработки известен как метод RPC (Rational Polynomial Coefficients или Rapid Positioning Capability), базирующийся на использовании полиномиальной модели съемочной камеры и следующих формул связи координат точек местности и изображения:

$$\begin{aligned} x_N &= \frac{P_1(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{P_2(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}, \\ y_N &= \frac{P_3(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{P_4(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}, \end{aligned} \quad (10.14)$$

где в чисителях и знаменателях стоят полиномы третьей степени:

$$P_q(\varphi_N, \lambda_N, h_N) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{\substack{k=0 \\ i+j+k \leq 3}}^3 a_{ijk} \varphi_N^i \lambda_N^j h_N^k, \quad (10.15)$$

$$q = \overline{1,4},$$

где  $\varphi_N, \lambda_N, h_N$  — широта, долгота и геодезическая высота искомой точки на местности;  $x, y$  — координаты искомой точки в системе координат изображения.

Вычисление полиномиальных коэффициентов, входящих в формулы (10.14) и (10.15), требует не менее 39 опорных точек, расположенных достаточно равномерно по площади обрабатываемого участка местности.

Геометрические модели оптико-электронных съемочных систем не общедоступны и представляют коммерческую тайну соответствующих фирм, что превращает обработку полученных с их помощью материалов в достаточно сложную задачу.

**Полиномиальные методы** основаны на использовании полиномов различных порядков для связи координат точек снимка и местности.

Эта модель наиболее часто применяется в процессах трансформирования и задается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} x_0 &= a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + \dots + a_k x^i y^j + \dots + a_n y^t, \\ y_0 &= b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2 + \dots + b_k x^i y^j + \dots + b_n y^t, \end{aligned} \quad (10.16)$$

где  $x_0, y_0$  — конечное положение точки после преобразования;  $a_0, a_1, \dots, a_n$ ,  $b_0, b_1, \dots, b_n$  — значения, отвечающие за сдвиг изображения, линейные, нелинейные изменения, преобразования масштаба и вращение;  $t$  — порядок полиномиального преобразования;  $i, j$  — показатель степени, при этом  $i + j \leq t$ .

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

При использовании полиномиальных методов необходимо опорные точки располагать за границей области обработки. Также следует иметь в виду, что допустимые остаточные расхождения в плановых координатах опорных точек еще не гарантируют допустимых погрешностей планового положения остальных точек изображения.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему для аналитического трансформирования одиночного снимка в большинстве случаев необходимо создание ЦМР? Ответ обосновать аналитически.
2. Как расположение зоны обработки снимка (центральная, периферийная) влияет на точность построения ЦМР?
3. Можно ли решить обратную фотограмметрическую засечку с использованием только плановых опорных точек?
4. Почему при аналитическом решении некоторых фотограмметрических задач в исходные данные включают приближенные значения искомых величин?
5. Нужны ли опорные точки при взаимном ориентировании пары снимков?
6. Какие элементы ориентирования снимков необходимо знать для построения фотограмметрической модели?
7. Почему для внешнего ориентирования фотограмметрической модели опорные точки необходимо располагать в зоне перекрытия?
8. Что общего и в чем различие в стереофотограмметрической обработке наземных и аэрофотоснимков?
9. Как объяснить требования к выбору местоположения станций фотографирования?
10. Нужны ли опорные точки при стереофотограмметрической обработке наземных снимков с известными элементами внешнего ориентирования?
11. Какие требования предъявляют к опорной точке при ее выборе?
12. Для каких целей выполняется фототриангуляция?
13. Каковы принципиальные отличия способов производства фототриангуляции?
14. Каково назначение связующих и опорных точек при фототриангуляции?
15. Как следует выбирать параметры аэрофотосъемки, чтобы увеличить расстояние  $n$  между опознаками с целью сокращения полевых работ по привязке аэроснимков?

## Глава 11. Наземная стереофотограмметрическая съемка

Цели изучения:

- знать теоретические основы наземной стереофотограмметрической съемки;
- знать технологию производства наземной стереофотограмметрической съемки и применение ее для решения прикладных задач.

### ■ 11.1. Аналитические методы фотограмметрической обработки наземных снимков

---

Наземная фотограмметрическая съемка основана на фотографировании местности с точек земной поверхности. Определенный участок местности фотографируется с двух точек (станций фотографирования). Полученную при этом стереопару в дальнейшем обрабатывают стереофотограмметрическим методом, в результате чего получают цифровую модель местности или здания (сооружения). Для фотосъемки используют, как правило, бытовые или полупрофессиональные цифровые камеры, предварительно прошедшие фотограмметрическую калибровку. В результате калибровки определяют элементы внутреннего ориентирования камеры  $x_0, z_0, f$ , раз мерность которых выражена в пикселях, а также дисторсию объек тива съемочной камеры.

Стереофотограмметрическая обработка наземных снимков по дубна стереообработке аэрофотоснимков. Однако имеются неко торые различия.

Координаты точек на наземных снимках измеряют в прямо угольной системе координат  $xo'z$ , где начало системы координат  $o'$  находится в точке пересечения линий, соединяющих середины сто рон снимка.

Положение снимков стереопары в геодезической системе ко ordinat определяется двенадцатью элементами внешнего ориентир ования снимков: геодезические координаты левого и правого цен тров фотографирования  $X_{S1}^r, Y_{S1}^r, Z_{S1}^r, X_{S2}^r, Z_{S2}^r$ ; дирекционные углы  $\alpha_1, \alpha_2$  и углы наклона  $\omega_1$  и  $\omega_2$  оптических осей фотокамер, а также углы поворота снимков  $\chi_1$  и  $\chi_2$ .

При проведении фотосъемки определяют координаты фотостан ций геодезическими методами: с помощью GPS/ГЛОНАСС-приемни ков, прямыми, обратными и комбинированными засечками, теодолитными ходами или построением съемочной триангуляционной сети.

Таким образом, плановые геодезические координаты центра фотографирования  $X_s, Y_s$  совпадают с плановыми координатами фо тостанции. Высотная координата  $Z_s$  равна сумме высотной коорди

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

ната  $Z$  фотостанции и превышению  $h_s$  центра объектива над точкой станции.

Как правило, этими способами определяют координаты одного из концов базиса, например, левого. Координаты второго (правого) конца базиса  $X_{S_2}, Y_{S_2}, Z_{S_2}$  вычисляют с использованием измеренных базиса фотографирования, направления и угла наклона базиса по формулам, известным из геодезии.

Для определения геодезических координат точек местности по паре снимков используют известные фотограмметрические зависимости — уравнения коллинеарности проектирующих лучей. Для наземных снимков они имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} X^r &= X_{S_1}^r + (Y^r - Y_{S_1}^r) \frac{a_1(x_1 - x_o) + a_2 f + a_3(z_1 - z_o)}{b_1(x_1 - x_o) + b_2 f + b_3(z_1 - z_o)}, \\ Z^r &= Z_{S_1}^r + (Y^r - Y_{S_1}^r) \frac{c_1(x_1 - x_o) + c_2 f + c_3(z_1 - z_o)}{b_1(x_1 - x_o) + b_2 f + b_3(z_1 - z_o)}, \\ X^r &= X_{S_2}^r + (Y^r - Y_{S_2}^r) \frac{a'_1(x_2 - x_o) + a'_2 f + a'_3(z_2 - z_o)}{b'_1(x_2 - x_o) + b'_2 f + b'_3(z_2 - z_o)}, \\ Z^r &= Z_{S_2}^r + (Y^r - Y_{S_2}^r) \frac{c'_1(x_2 - x_o) + c'_2 f + c'_3(z_2 - z_o)}{b'_1(x_2 - x_o) + b'_2 f + b'_3(z_2 - z_o)}, \end{aligned} \right\} \quad (11.1)$$

где  $X^r, Y^r, Z^r$  — геодезические координаты точки местности;  $X_{S_1}^r, Y_{S_1}^r, Z_{S_1}^r, X_{S_2}^r, Y_{S_2}^r, Z_{S_2}^r$  — координаты левого и правого центров фотографирования соответственно;  $a, b, c, a', b', c'$  — направляющие косинусы ориентирования левого и правого снимков, зависящие от углов  $\alpha, \omega, \kappa$  и  $\alpha', \omega', \kappa'$ ;  $x_1, z_1$  и  $x_2, z_2$  — измеренные координаты точки на левом и правом снимках стереопары соответственно.

Координаты каждой точки местности, изобразившейся на паре снимков, можно вычислить прямой фотограмметрической засечкой с использованием уравнений (11.1).

В большинстве случаев фотосъемку выполняют при горизонтальном положении главного луча фотокамеры, т. е.  $\omega_1 = \omega_2 = 0$ . При этом оптические оси обеих камер могут быть по-разному ориентированы относительно базиса фотографирования. В зависимости от этого различают три вида съемки: нормальный, равноотклоненный, конвергентный.

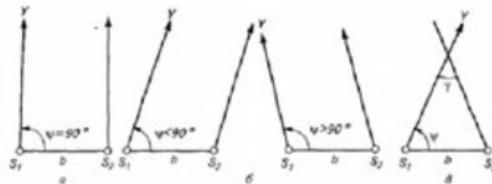


Рис. 11.1. Виды наземной стереофотосъемки:  
а – нормальный; б – равноотклоненный; в – конвергентный

## ГЛАВА 11. НАЗЕМНАЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

В нормальном виде съемки оптические оси обеих камер перпендикулярны базису (рис. 11.1, а), в равноотклоненном виде оптические оси параллельны между собой, но не перпендикулярны базису (рис. 11.1, б), в конвергентном виде (рис. 11.1, в) оптические оси пересекаются под некоторым углом  $\gamma$  (углом конвергенции).

В зависимости от используемого вида съемки формулы (11.1) связи геодезических координат точек местности с измеренными координатами на снимке видоизменяются (упрощаются). Так, для нормального вида фотосъемки, наиболее часто используемого на практике, они принимают вид:

$$\begin{aligned} X^r &= X_{S_1}^r - B \frac{x_1}{x_1 - x_2} \sin \alpha_l + B \frac{f}{x_1 - x_2} \cos \alpha_l; \\ Y^r &= Y_{S_1}^r + B \frac{x_1}{x_1 - x_2} \cos \alpha_l + B \frac{f}{x_1 - x_2} \sin \alpha_l; \end{aligned} \quad (11.2)$$

$$Z^r = Z_{S_1}^r + B \frac{z_1}{x_1 - x_2}, \quad (11.3)$$

где  $B$  — проекция базиса фотографирования на горизонтальную плоскость (горизонтальное проложение базиса фотографирования).

### ■ 11.2. Подготовительные работы при наземной стереофотограмметрической съемке

Подготовительные работы при наземной стереофотограмметрической съемке предусматривают составление проекта съемки и подготовку геодезических инструментов и цифровых фотокамер.

Проект съемки включает пояснительную записку и графическую часть.

Пояснительная записка содержит:

- описание района работ, представляющее собой характеристику всех физико-географических факторов, влияющих на проведение полевых работ (рельефа, гидрографической сети, путей сообщения и т. п.);
- сведения о геодезической опорной сети;
- расчеты по сгущению опорной сети;
- расчеты, связанные с наземной стереофотограмметрической съемкой.

## ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В графическую часть проекта входят следующие схемы:

- расположения и сущности пунктов опорной геодезической сети;
- определений фотостанций и контрольных точек;
- наземной стереофотограмметрической съемки, на которой указывают границы съемки с каждой станции и так называемые «мертвые» зоны.

Все схемы составляют на имеющихся планах и картах, масштаб которых в 4 – 5 раз мельче масштаба съемки.

При составлении схемы размещения фотостанций стремятся к тому, чтобы снять всю необходимую территорию с наименьшего числа точек. Для этого выполняют некоторые предрасчеты. Прежде всего определяют предельное расстояние от базиса фотографирования до дальней границы снимаемого участка  $Y_{np}$ .

Для нормального вида съемки его вычисляют по формуле:

$$Y_{np} = fm_d / (8m_p), \quad (11.4)$$

где  $m_d$  — заданная средняя квадратическая погрешность (скп) планового положения точек относительно ближайших пунктов съемочного обоснования. Для равнинной местности  $m_d = 0,3$  мм в масштабе создаваемого плана, для горной местности  $m_d = 0,5$  мм в масштабе плана;  $m_p$  — скп измерения параллаксов точек снимков.

Минимально допустимая длина базиса фотографирования для нормального вида съемки:

$$B_{min} = Y_{np} / 8. \quad (11.5)$$

Расстояния до ближайшей границы съемки вычисляют по формуле:

$$Y_{min} = 4B. \quad (11.6)$$

Выполненные расчеты используют при выборе местоположения станций фотографирования на плане. При этом руководствуются следующими положениями:

- точки фотографирования выбирают на возвышенных участках местности;
- угол наклона базиса фотографирования не должен превышать  $10^\circ$ ;
- между концами базиса должна быть прямая видимость.

Проектируемые станции фотографирования и зоны съемки с каждого базиса наносят на схему наземной съемки. Далее составляют схему геодезической привязки фотостанций. Причем для каждого базиса достаточно определить координаты только одного из его концов. Координаты второго конца базиса определяют из решения прямой геодезической задачи, используя измерения длины базиса, его угла наклона и направления.

### ■ 11.3. Полевые работы при наземной стереофотограмметрической съемке

Полевые работы предусматривают выполнение следующих процессов: рекогносцировки; фотографирования; геодезических работ; дешифрирования снимков.

Рекогносцировку участка работ проводят с целью уточнения предварительного проекта наземной съемки и выноса его в натуру. При этом на местности уточняют расположение фотостанций, точек съемочного обоснования и контрольных точек и проводят их закрепление и маркирование.

Работа на фотостанции предусматривает: фотографирование участка местности; измерение длины базиса фотографирования, его угла наклона и направления, а также другие необходимые геодезические измерения. Перед фотографированием на обоих концах базиса центрируют штативы, на одном из которых устанавливают цифровой фотоаппарат, а на другом — визирную марку и измеряют высоту инструмента. Для фотографирования выбирают такое время суток, когда солнце находится сзади или сбоку от объектива.

Геодезические работы на фотостанции имеют целью определение геодезических координат второго конца данного базиса фотографирования, а также координат контрольных точек. Эти работы проводят в соответствии с ранее разработанной и уточненной схемой определений фотостанций и контрольных точек. Средняя квадратическая погрешность планового положения фотостанций и контрольных точек не должна превышать 0,1 мм в масштабе создаваемого плана, скп высотных координат этих точек — 0,1 высоты сечения рельефа.

Дешифрирование выполняют на контактных или увеличенных фотоснимках. В процессе дешифрирования опознают и фиксируют все элементы ситуации, подлежащие нанесению на создаваемый план, а также маркированные пункты геодезического съемочного обоснования и контрольные точки. Причем все вышеперечисленные точки дешифрируют на фотосхемах. Досъемка неизобразившихся объектов местности аналогична такому же процессу, выполняемому при дешифрировании аэроснимков и описанному ранее.

После окончания полевых работ проводят их контроль и приемку.

### ■ 11.4. Использование метода наземной фотограмметрии при решении нетопографических задач

Основное назначение наземной стереофотограмметрической съемки — создание цифровых моделей местности в горных и вы-

## **ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ – ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

сокогорных районах. Однако наземную фотограмметрию применяют и для решения нетопографических задач.

Материалы наземной стереофотосъемки используют при составлении проекта рекультивации нарушенных земель. Технологическая схема рекультивации выработанных грунтовых карьеров предусматривает работы по выравниванию поверхности. Для выполнения откосов с целью обеспечения допустимой крутизны склонов рассчитывают объем снятого грунта, равный объему насыпного грунта.

Объем земляных работ определяют по снимкам стереофотограмметрическим способом. Для этого проводят периодическую фотосъемку ведущихся выработок грунта с закрепленных на местности базисов фотографирования.

Известны различные способы аналитического определения объемов земляных работ: способ горизонтальной сетки, вертикальной сетки, способ уступов, способы вертикальных и горизонтальных сечений и т. п. Наиболее удобен способ использования ЦМР, который заключается в следующем.

Пусть с некоторого базиса было проведено  $n$  последовательных фотосъемок с начала выработки карьера и до ее окончания. По каждой из  $n$  полученных стереопар создают цифровую модель рельефа. Таким образом, получают  $n$  моделей рельефа на интересующую территорию за некоторый временной интервал. Высотные пикеты для построения ЦМР выбирают на характерных точках рельефа. Модель рельефа представляет собой многогранник, вершинами которого являются высотные пикеты, а гранями — треугольники. Объем каждой ЦМР определяют численным интегрированием. Разность объемов двух последовательных во времени ЦМР — объем земляных работ за соответствующий промежуток времени.

Наземную фотограмметрическую съемку применяют при освоении склонов с крутизной более  $5^\circ$  в районах интенсивного земледелия. На таких склонах в зависимости от их крутизны проектируют широкополосное, напашное или бульдозерное террасирование. Террасы используют для выращивания высокодоходных культур (виноград, плодовые, цитрусовые). Топографический план и профили для составления проекта террасирования склонов изготавливают наземным стереофотограмметрическим методом.

Методы наземной стереофотограмметрической съемки используют для контроля за ходом строительства террас, составления исполнительного плана и осуществления авторского надзора. Обрабатывая материалы периодических наземных фотосъемок с постоянных базисов, в случае необходимости определяют степень и скорость размыва террас.

По материалам наземной стереофотограмметрической съемки ведут регулярное наблюдение за динамикой эрозионных процессов: скоростью роста оврагов, смешением оползней и т. п.

## ГЛАВА 11. НАЗЕМНАЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Для этого периодически производят наземные фотосъемки с постоянных, закрепленных на местности базисов.

По результатам одной съемки устанавливают ширину оврагов  $L$ , их глубину  $h$  и объем  $V$ .

Сопоставление этих значений, полученных по результатам разновременных съемок, дает возможность судить о динамике роста оврагов.

Ширину оврага  $L$  вычисляют как расстояние между его бровками в определенном поперечном сечении

$$L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2},$$

где  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  — разности между соответствующими геодезическими координатами левой и правой бровок оврага. Геодезические координаты точек бровок вычисляют, решая системы уравнений вида (11.1).

Глубина оврага  $h$  — разность геодезических высот точек бровки  $Z_{\delta}^r$  и дна оврага  $Z_{gt}^r$ , также определяемых из решения системы уравнений (11.1).

Для вычисления объема оврага строят несколько его сечений с различными интервалами  $D_i$  между ними, определяют площадь каждого поперечного сечения  $P_i$ , как площадь полигона с вершинами в основных точках перегибов его контура, а затем объем оврага по формуле (11.7):

$$V = \sum_{i=1}^m \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \cdot D_i. \quad (11.7)$$

Построение поперечных сечений и вычисление их площадей удобно производить на трехмерном визуализированном изображении — 3D-изображении.

Метод наземной стереофотограмметрической съемки широко применяют при создании фасадных планов зданий и сооружений. Полученные планы используют для проектирования ремонтных и восстановительных работ, определения объемов финансовых затрат и материалов.

Особенно эффективен метод при создании фасадных планов и цифровых моделей зданий со сложной архитектурой, таких как культовые сооружения, памятники и т. п. Полученные материалы применяют при реставрационных и реконструкционных работах. Технология создания фасадных планов аналогична рассмотренной ранее.

По сравнению с геодезическим методом и обмерными работами метод наземной стереофотограмметрической съемки более экономичный и оперативный.

## ■ 11.5. Создание фронтальных планов зданий и сооружений методом наземной стереофотограмметрической съемки

При выполнении работ по инвентаризации сооружений, в том числе производственных комплексов АПК, а также работ, связанных с реставрационными и реконструкционными работами, требуется наличие фронтальных планов фасадов (фасадных планов). Фасадные планы служат основой для установления пространственно-геометрических параметров и взаимного положения элементов фасадов зданий и сооружений. Проведение фасадной съемки дает полное представление о внешнем архитектурно-планировочном решении здания или сооружения. Необходимость в фасадной съемке возникает также при разработке проектов реконструкции с изменениями внешнего вида здания; сдаче в технический надзор смонтированных элементов фасада и т. п.

По результатам съемки фасада:

- создают трехмерные цифровые модели фасадов;
- составляют исполнительные чертежи по вертикальным плоскостям здания;

– оформляют разрезы в необходимых плоскостях.

Существуют два основных принципа создания фасадных планов.

Первый — измерение самого сооружения для определения пространственного положения его элементов. Его осуществляют посредством обмерных работ, геодезических измерений с помощью теодолитов или безотражательных тахеометров, лазерного сканирования.

Второй принцип — получение пространственного положения элементов сооружения по его фотографическому изображению (модели). Для этого применяют фотограмметрический метод обработки наземных снимков.

В зависимости от сложности сооружения, требуемой точности получения пространственных координат элементов сооружения, материальных и трудовых затрат и т. д. выбирают оптимальный метод создания фасадного плана.

*Фотограмметрический метод* создания фасадных планов сооружений включает в себя 4 основных этапа:

- расчет параметров стереофотосъемки;
- полевые работы — фотографическая съемка;
- создание ортофотоплана фасада сооружения — фотограмметрическая обработка на цифровых фотограмметрических станциях (ЦФС);
- создание графического плана — преобразование цифрового растрового изображения в векторное.

Расчет параметров съемки выполняют по формулам, известным из наземной фотограмметрии: базис фотографирования в масштабе

## ГЛАВА 11. НАЗЕМНАЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

снимка (*b*) и на местности (*B*), предельно допустимое расстояние от центра фотографирования до объекта ( $Y_{\text{пред}}$ ), масштаб съемки. Параметры съемки должны обеспечить заданную точность определения геодезических координат элементов сооружения при минимальном количестве снимков (станций фотографирования).

Проведение фотосъемки с рассчитанными параметрами должно обеспечить покрытие снимками всей площади фасада, отсутствие «мертвых» зон, достоверность опознавания и дешифрирования элементов сооружения. Съемку проводят калиброванной цифровой камерой «с руки». Создание ортофотоплана фасада выполняют на цифровых фотограмметрических станциях (например, отечественные ЦФС «ТАЛКА» или «ФОТОМОД»).

Точность создания фасадного плана стереофотограмметрическим методом зависит от параметров съемки: расстояния до объекта, базы фотографирования на местности, масштаба съемки, величины перекрытия снимков, размера пикселя ПЗС-матрицы фотокамеры.

Оценку точности ортофотоплана выполняют по контрольным точкам, отмеченным на фасаде здания и достоверно идентифицированным на ортофотоплане. Пространственные координаты точек получают с помощью безотражательного тахеометра. Значение СКП пространственного положения элементов строений (при правильной организации работ) находится на уровне 15 – 20 мм.

При фотограмметрической обработке снимков цифровую модель поверхности (ЦМП) создают в стереорежиме. При создании ЦМП для удобного восприятия наблюдателем стереоэффекта стереопары получают при нормальном случае съемки и с минимальными перспективными искажениями для уменьшения разномасштабности изображения.

Общая стоимость создания фасадного плана фотограмметрическим методом меньше, чем стоимость аналогичных работ геодезическим методом и лазерным сканированием. Однако технология имеет недостатки: например, ограничение видимости из-за деревьев, значительные затраты по времени обработки материалов фотосъемки.

### Контрольные вопросы

1. Что общего и в чем различие в стереофотограмметрической обработке наземных и аэрофотоснимков?
2. Как объяснить требования к выбору местоположения станций фотографирования?
3. Нужны ли опорные точки при стереофотограмметрической обработке наземных снимков с известными элементами внешнего ориентирования?

**Тесты к части II**

1. Масштаб наклонного снимка равнинной местности остается постоянным
  - а) вдоль главной вертикали;
  - б) вдоль фотограмметрических горизонталей;
  - в) по всей площади снимка.
2. Масштаб наклонного снимка равнинной местности равен главному масштабу снимка
  - а) вдоль главной вертикали;
  - б) вдоль линии неискаженных масштабов;
  - в) по всей площади снимка.
3. Что такое главная точка снимка?
  - а) точка пересечения главного луча с плоскостью снимка;
  - б) точка пересечения отвесного луча с плоскостью снимка;
  - в) точка пересечения биссектрисы угла наклона снимка с плоскостью снимка.
4. Что такое точка надира снимка?
  - а) точка пересечения главного луча с плоскостью снимка;
  - б) точка пересечения отвесного луча с плоскостью снимка;
  - в) точка пересечения биссектрисы угла наклона снимка с плоскостью снимка.
5. Что такое точка нулевых искажений?
  - а) точка пересечения главного луча с плоскостью снимка;
  - б) точка пересечения отвесного луча с плоскостью снимка;
  - в) точка пересечения биссектрисы угла наклона снимка с плоскостью снимка.
6. Смещение точек за рельеф увеличивается
  - а) с увеличением фокусного расстояния;
  - б) с уменьшением фокусного расстояния;
  - в) не зависит от фокусного расстояния.
7. Чтобы уменьшить влияние рельефа, надо использовать АФА
  - а) с коротким фокусным расстоянием;
  - б) с длинным фокусным расстоянием;
  - в) с любым фокусным расстоянием.

## ТЕСТЫ К ЧАСТИ II

8. Система координат снимка имеет начало  
а) в точке надира;  
б) в главной точке снимка;  
в) в точке пересечения координатных осей.
9. Что определяют элементы внутреннего ориентирования снимка?  
а) положение точки надира на снимке;  
б) положение снимка в пространстве;  
в) положение центра проекции в системе координат снимка.
10. Что определяют элементы внешнего ориентирования снимка?  
а) положение точки надира на снимке;  
б) положение снимка в пространстве;  
в) положение центра проекции в системе координат снимка.
11. Какие из пересеченных элементов ориентирования снимка являются элементами внутреннего ориентирования?  
а)  $x_0; y_0; f$ ;  
б)  $\alpha; \omega; \dot{\alpha}$ ;  
в)  $X_s^r; Y_s^r; Z_s^r$ .
12. Какие из перечисленных элементов ориентирования снимка являются линейными элементами внешнего ориентирования?  
а)  $x_0; y_0; f$ ;  
б)  $\alpha; \omega; \dot{\alpha}$ ;  
в)  $X_s^r; Y_s^r; Z_s^r$ .
13. Какие из перечисленных элементов ориентирования снимка являются угловыми элементами внешнего ориентирования?  
а)  $x_0; y_0; f$ ;  
б)  $\alpha; \omega; \dot{\alpha}$ ;  
в)  $X_s^r; Y_s^r; Z_s^r$ .
14. С какой точностью определяются элементы внутреннего ориентирования снимка в процессе калибровки АФА?  
а) 1 см;  
б) 1 мм;  
в) 1 мкм.
15. Что такое прямая фотограмметрическая засечка?  
а) определение координат точек местности по измеренным координатам на снимке;  
б) определение элементов внешнего ориентирования снимка по опорным точкам;  
в) определение элементов внутреннего ориентирования снимка.

## **ТЕСТЫ К ЧАСТИ II**

16. Что такое обратная фотограмметрическая засечка?
- а) определение координат точек местности по измеренным координатам на снимке;
  - б) определение элементов внешнего ориентирования снимка по опорным точкам;
  - в) определение элементов внутреннего ориентирования снимка.
17. Что такое цифровая модель рельефа?
- а) совокупность точек с известными геодезическими координатами;
  - б) уравнение, определяющие зависимость высотной координаты точки местности от ее плановых координат;
  - в) множество точек с известными геодезическими координатами и правило интерполяции высот между ними.
18. Для решения прямой фотограмметрической засечки по одиночному снимку необходимо: (отметить ненужное)
- а) знать элементы внешнего ориентирования;
  - б) измерить координаты точки на снимке;
  - в) выполнить взаимное ориентирование снимков.
19. Для решения обратной фотограмметрической засечки необходимы
- а) связующие точки;
  - б) опорные точки;
  - в) определяемые точки.
20. Опорные точки —
- а) точки, находящиеся в зоне двойного продольного перекрытия;
  - б) точки, находящиеся в зоне тройного продольного перекрытия;
  - в) точки с известными геодезическими координатами.
21. Связь координат точек снимка с геодезическими координатами точек местности выражается уравнениями:
- а) компланарности;
  - б) коллинеарности;
  - в) равенства масштабных коэффициентов.
22. В уравнения коллинеарности не входят
- а) элементы внутреннего ориентирования снимка;
  - б) элементы взаимного ориентирования снимка;
  - в) элементы внешнего ориентирования снимка.
23. Что такое продольный параллакс точек стереопары?
- а) разность абсцисс соответственных точек левого и правого снимков стереопары;

## **ТЕСТЫ К ЧАСТИ II**

---

- б) разность ординат соответственных точек левого и правого снимков стереопары;  
в) длина базиса фотографирования в масштабе снимка.
24. Что такое поперечный параллакс точек стереопары?  
а) разность абсцисс соответственных точек левого и правого снимков стереопары;  
б) разность ординат соответственных точек левого и правого снимков стереопары;  
в) длина базиса фотографирования в масштабе снимка.
25. Построение фотограмметрической модели является результатом:  
а) внутреннего ориентирования снимка;  
б) внешнего ориентирования снимка;  
в) взаимного ориентирования снимка.
26. Определение геодезических координат опорных точек фотограмметрическим методом называется  
а) фототриангуляцией;  
б) обратной фотограмметрической засечкой;  
в) привязкой аэрофотоснимков.
27. Где используют элементы взаимного ориентирования снимков?  
а) при построении фотограмметрической модели;  
б) для внешнего ориентирования фотограмметрической модели;  
в) для решения прямой фотограмметрической засечки.
28. Во избежание потери информации и геометрических искажений в процессе сканирования аналоговых снимков линейная разрешающая способность сканера должна быть  
а) больше разрешающей способности снимка;  
б) меньше разрешающей способности снимка;  
в) равна разрешающей способности снимка.
29. Назначение ЦМР при фотограмметрической обработке одиночного снимка  
а) для внутреннего ориентирования снимка;  
б) для решения прямой фотограмметрической засечки;  
в) для решения обратной фотограмметрической засечки.
30. В структурной ЦМР высотные пикеты располагают  
а) в узлах сетки квадратов;  
б) в характерных точках рельефа (на перегибах склонов, вдоль орографических линий);  
в) на поперечниках линейных объектов.

---

**ТЕСТЫ К ЧАСТИ II**

31. В регулярной ЦМР высотные пикеты располагают
  - а) в узлах сетки квадратов;
  - б) в характерных точках рельефа (на перегибах склонов, вдоль орографических линий);
  - в) на поперечниках линейных объектов.
32. Построение какой ЦМР автоматизировано в цифровых технологиях фотограмметрической обработки снимков?
  - а) регулярной;
  - б) полурегулярной;
  - в) структурной.
33. Ортофототрансформирование —
  - а) преобразование наклонного снимка в горизонтальный;
  - б) преобразование центральной проекции в ортогональную;
  - в) преобразование центральной проекции в любую другую проекцию.
34. В технологической схеме создания ортофотоплана процесс фототриангуляции отсутствует
  - а) в случае разреженной планово-высотной привязки;
  - б) в случае сплошной планово-высотной привязки;
  - в) присутствует всегда.

ЧАСТЬ III  
ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ  
АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК



В развитии определения понятия «декодирование», данного во введении, процесс декодирования аэро- и космических снимков, а также увеличенных снимков, фотосхем и ортофотопланов, называемых материалами АКС, представляет собой получение семантической информации о качественных и количественных характеристиках земной поверхности по их изображениям. Декодирование является технологическим этапом при создании картографических материалов. Переход к цифровой обработке материалов АКС расширил технические возможности декодирования.

Информацию о земной поверхности и расположенных на ней объектах можно получить путем непосредственных наблюдений и обследований. У этого способа сбора информации есть преимущества — возможность тщательного натурного изучения объектов и взятия при необходимости проб для лабораторного анализа. Это обеспечивает высокий уровень достоверности получаемых сведений.

Но наряду с этим способу свойственны и существенные недостатки. Например, ограниченность зоны одновременного обзора, необходимого для анализа и выявления взаимосвязей между природными и антропогенными объектами земной поверхности, невозможность получения информации в иных, кроме видимой области спектра, спектральных интервалах, невысокая производительность и оперативность выполнения обследований, сложность работы в труднодоступных районах и др.

Поскольку между съемкой и декодированием может возникнуть значительный временной разрыв, в течение которого происходят некоторые изменения ситуации, в обязанности специалиста-декодировщика входит полевая геодезическая досъемка вновь появившихся или не изобразившихся по каким-либо причинам объектов.

Декодирование сопровождается сбором и систематизацией информации, получаемой в ходе анализа различной проектной и технической документации, материалов обследований территории и т. п.

Результат декодирования — отображение на материалах АКС условными знаками границ и качественных характеристик, изучаемых в рамках поставленной задачи объектов, а также сводной информации, касающейся статистических, количественных и иных свойств данных объектов.

Раздел написан с использованием материалов, подготовленных проф. А.И. Обираловым.

## Глава 12. Теоретические основы дешифрирования аэро- и космических снимков

Цели изучения:

- знать методы, способы и критерии дешифрирования, дешифровочные признаки, применяемые при визуальном дешифрировании;
- знать технологию дешифрирования для создания кадастровых планов.

### ■ 12.1. Классификация дешифрирования

Крупной градацией в классификации дешифрирования является разделение по методам получения семантической информации. В основе деления по методам лежит соотношение участия человека (декодировщика) и компьютера. Выделяют следующие методы: визуальный, машинно-визуальный, автоматизированный и автоматический.



Рис. 12.1. Схема классификации дешифрирования

При визуальном методе информацию со снимков получает человек на основе анализа изображения. Визуальное дешифрирование представляет собой сложный многоэтапный процесс логического анализа изображений. Распознавание объектов и определение их характеристик часто сливаются в единый процесс с многократным чередованием анализа ситуаций в целом, а также их отдельных элементов и фрагментов. Человек превосходит машину в решении логических задач. Он может на основе ограниченной информации, используя логический аппарат, применять дешифровочные признаки к конкретным времененным и пространственным параметрам, учитывать изменение признаков на изображении в зависимости от различных условий, использовать существующие природные и функциональные

## **ГЛАВА 12. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

взаимосвязи между объектами ландшафта, исключать некоторые шумы и др. Поэтому визуальное дешифрирование во многих случаях превосходит автоматизированное по достоверности результатов.

*Машинно-визуальный*, в котором с помощью компьютера или специализированных устройств выполняют предварительную обработку первичных снимков с целью облегчения их визуального дешифрирования. Способами данного метода могут быть: синтезирование изображений, квантование уровней видеосигналов, фильтрация изображения и др.

*Автоматизированный*, в котором интерпретационная обработка снимков выполняется компьютером в диалоговом режиме, оператор выбирает способ обработки, выполняет «обучение» системы, контролирует качество работы классификатора, вносит корректизы в работу программы и др. В данном методе можно выделить два наиболее употребляемых способа: классификации, в котором анализируемые элементы изображения сразу же относятся к определенному эталонному классу объектов, и кластеризации, в котором элементы изображения предварительно разбиваются на группы (кластеры) по сходству некоторых признаков с последующей идентификацией этих групп.

*Автоматический*, в котором интерпретационная система решает отложенные задачи без вмешательства оператора.

Дешифрирование можно классифицировать по содержанию информации, определяемой ее тематической направленностью: топографическое или специальное. При топографическом дешифрировании выявляют и отображают на материалах АКС элементы земной поверхности, подлежащие нанесению на топографические планы и карты. При специальном дешифрировании отображению подлежат объекты, относящиеся к сфере интересов решаемых тематических задач: почвенное, геологическое, земельно-кадастровое и т. п.

Объем и детализация содержания получаемой при дешифрировании информации регламентируется соответствующими инструкциями и наставлениями.

В визуальном методе дешифрирования можно выделить три основных способа: полевой, камеральный и комбинированный.

*Полевой способ дешифрирования* выполняют в результате обследования местности, сопоставляя снимок с местностью. Специалист при этом может находиться на земле (наземный вариант) или на борту летательного аппарата (аэровизуальный вариант). Полевое дешифрирование характеризуется наивысшей полнотой и достоверностью результатов. Однако ввиду сезонности и трудоемкости выполнения, а также повышенной себестоимости применяют его только в случаях, когда камеральное дешифрирование не обеспечивает нужного качества результатов.

*Камеральный способ дешифрирования* заключается в логическом анализе изображения с использованием всего комплекса дешифро-

### ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

вочных признаков (визуально-логический вариант). При этом дешифровщик находится не на дешифрируемом объекте. В процессе дешифрирования используют вспомогательные материалы (карты, данные о юридических границах землепользовании и др.).

Достоверность камерального дешифрирования повышается при использовании снимков-эталонов типичных участков, дешифрированных в поле (эталонный вариант).

Комбинированный способ дешифрирования сочетает в себе процессы и технологические приемы предыдущих способов. В зависимости от последовательности их чередования могут быть выделены варианты. В одном из них предварительно выполняют камеральное дешифрирование, а затем полевое обследование сложных участков с попутным контролем результатов камерального дешифрирования. В другом — сначала выполняют избирательное полевое дешифрирование (обычно вдоль транспортных путей), а затем камеральное с использованием дешифрированных в поле снимков в качестве эталонов. Комбинированное дешифрирование сочетает в себе достоинства первых двух способов.

Одна из важнейших особенностей визуального дешифрирования — использование относительных оценок характеристик объектов на изображении. Например, общественные здания и сооружения отделяются от жилых зданий в сельском поселении не по абсолютным размерам их изображения, а по относительным (12.2). Для этого не требуется даже знания масштаба изображения.



Рис. 12.2. Снимок сельского поселения. Вверху слева — животноводческая ферма; внизу — пастище; К — копани для водопоя

Участки пашни с повышенным увлажнением поверхности или кормовых угодий с более мощным травостоем выделяются не по абсолютному значению оптической плотности, а по ее локальному изменению. То же можно сказать и о выявлении участков пашни, подверженных эрозии (рис. 12.3).



Рис. 12.3. Изображение участка пашни, подверженного линейной и плоскостной эрозии

В дешифрировании отдельных объектов обычно выделяют три ступени: обнаружения, опознавания и определения характеристик.

Рассмотрим возможности человека в выделении элементов изображения на некотором фоне, определении их формы, а также в разделении элементов по уровню оптической плотности.

Способность зрительного аппарата человека различать элементы изображения (без определения их свойств) зависит от остроты зрения, контраста и резкости изображения наблюдаемых элементов. Минимальный поперечный размер компактного  $d_k$  и ширина протяженного объектов  $d_n$  с полосой размытия на краях  $l$  при разности оптических плотностей объекта и фона  $\delta$  могут быть определены по формулам:

$$d_k > 1,4 l\delta^{-1/2}, \quad d_n > 0,6 l\delta^{-1/2}. \quad (12.1)$$

Форма компактного объекта может быть определена, если его поперечный размер не менее чем в 2,5 раза превышает порог обнаружения. Возможность визуального разделения элементов изображения по уровню оптической плотности зависит от порога световой чувствительности зрительного аппарата дешифровщика. Порог может быть абсолютным, разностным или дифференциальным.

Абсолютным порогом называют минимальную обнаруживаемую наблюдателем яркость объекта  $B_{\text{nop}}$  на черном фоне в условии темновой адаптации глаз. При рассматривании снимка яркость фона может быть любой. Поэтому удобнее пользоваться разностным порогом:

$$\Delta B = B_0 - B_\phi, \quad (12.2)$$

где  $B_0$  — яркость объекта;  $B_\phi$  — яркость фона.

*Дифференциальный порог (пороговый контраст)*

$$K = \Delta B / B_{\phi} \quad (12.3)$$

Значение  $K$  в некотором диапазоне яркостей постоянно. При крайних значениях яркости постоянство не сохраняется. Для нормальных условий наблюдения изображений и четких границах участков с различными оптическими плотностями  $K = 2\%$ . Это значит, что в оптическом ступенчатом клине человек может различить до 50 градаций оптической плотности. С уменьшением четкости границ, а также с увеличением расстояния между сопоставляемыми по оптической плотности площадками значение  $K$  возрастает до 5% и более. Следовательно, на реальном изображении выделить объект на фоне или разделить объекты по оптической плотности можно, если разность оптических плотностей не меньше 0,1, что соответствует возможности выделения на черно-белом изображении 20–30 градаций.

Возможность разделения элементов на цветном изображении значительно больше, чем на черно-белом изображении. Это связано с тем, что число различимых зрительным аппаратом человека цветов по тону, светлоте и насыщенности достигает нескольких тысяч.

В дешифрировании отдельных объектов обычно выделяют три этапа: обнаружение, опознавание и определение характеристик. Первые два этапа выполняются достаточно легко и быстро. Для определения качественных и количественных характеристик используют весь набор прямых, косвенных признаков, опыт работы дешифровщика, имеющийся в его распоряжении картографический материал, статистические и иные данные.

## ■ 12.2. Дешифровочные признаки, используемые при визуальном дешифрировании

---

Основная задача дешифрирования — распознавание объектов (явлений, процессов) на изображении и определение их характеристик. Решение этой задачи существенно отличается от натурных обследований тех же объектов. Основное отличие заключается в том, что дешифровщик распознает объект по набору различных признаков и дополнительной информации, имеющейся в его распоряжении. Это даже при сравнительно небольшом опыте работы со снимками не вызывает существенных трудностей при их дешифрировании.

Для опознавания объектов на снимках используют прямые и косвенные дешифровочные признаки.

**Прямые дешифровочные признаки** — зависят от геометрических и оптических характеристик дешифрируемых объектов: форма и размер объектов в плане и по высоте; общий (интегральный) тон черно-

## ГЛАВА 12. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

белого (ахроматического) или цвет цветного (хроматического) изображений, а также текстура изображения.

Форма в большинстве случаев является достаточным признаком для разделения объектов природного и антропогенного происхождения. Объекты, созданные человеком, как правило, отличаются правильностью конфигурации. Так, любые здания и сооружения имеют обычно правильные геометрические формы. То же можно сказать о каналах, шоссейных и железных дорогах, парках и скверах, пахотных и культурных кормовых угодьях и других объектах.

Определению пространственной формы рельефного объекта способствует его собственная тень, покрывающая неосвещенную прямами солнечными лучами часть поверхности самого объекта, и тень, падающая на земную поверхность от возвышающихся объектов.

На плановых снимках, полученных АФА с узкоугольным объективом, видна форма объектов в плане даже для возвышающихся объектов.

С увеличением угла поля зрения объектива и по мере приближения изображения этих объектов к краю снимка начинает отображаться их форма по высоте. Очевидно, что общие очертания изображения возвышающихся объектов будут изменяться.



Рис. 12.4. Снимок различно используемых земель:

- 1 – пашня; 2 – сенокос по редколесью; 3 – сенокос с кустарником; 4 – сенокос чистый; 5 – усадьбы; 6 – парк с аллеей; 7 – молодой sag; 8 – садозащитная лесополоса

Форма не возвышающихся над земной поверхностью объектов изменяется в зависимости от рельефа местности: величины и экспозиции склона относительно центра проекции, удаленности от точки надира.

Размеры дешифрируемых объектов в большинстве случаев оценивают относительно.

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

О размерах, а также и о форме по высоте можно судить по падающим от объектов теням. При этом площадка, на которую падает тень, должна быть горизонтальной.

*Тон изображения (оптическая плотность)* является функцией яркости объекта. Данный признак имеет первостепенное значение. Различие в тоне изображений рядом расположенных объектов позволяет выделить их на материалах АКС и определить границы. Изменение тона позволяет дешифровщику сделать предположение об изменении физических и химических свойств изображенного объекта, о его качественных характеристиках. Но изменение тона не всегда соответствует различию в типе изображенного объекта, например, пашня вспаханная и со стерней или участки поля с сухой почвой и увлажненной. Одинаковый тон могут иметь совершенно разные объекты, крыша дома и вспаханный участок огорода. Тон оценивается визуально — светлый, светло-серый, серый, темно-серый, темный, очень темный.

*Цвет изображения* — более информативный признак, чем тон черно-белого изображения. Цветные изображения по информативности превосходят черно-белые примерно на 30 %. Это объясняется тем, что чувствительность зрительного аппарата человека к цвету, как уже отмечалось, выше, чем к черно-белому. Использование псевдоцветных изображений (спектрональных, синтезированных) существенно повышает достоверность решения некоторых дешифровочных задач за счет создания искусственных цветовых контрастов. Но одновременно отметим, что в ряде случаев использование более дорогих цветных снимков не дает заметного преимущества в достоверности решения дешифровочных задач. К таким задачам можно отнести, например, дешифрирование сельскохозяйственных угодий. Цвет при их распознавании не имеет существенного значения. Необходимые топографические объекты, дешифрируемые при этом, достаточно надежно опознаются и характеризуются по черно-белым снимкам. Различие цветовых контрастов используют при изучении по снимкам аномалий в состоянии некоторых объектов, например, вымерзание посевов, загрязнение почв и т. п.

*Текстура изображения* — характер распределения оптической плотности по полю изображения объекта на снимке. Через текстуру передаются структурные особенности объекта (форма, размер и взаимное положение слагающих объект или образующих его поверхность элементов и их яркость). Например, текстура массива леса образуется изображением на снимках крон отдельных деревьев, а при высоком разрешении съемочной системы и укрупнении масштаба съемки — изображением также элементов крон (ветвей или даже листьев); текстура чистой пашни формируется отображением пахотных борозд или отдельных комьев.

По мере уменьшения масштаба съемки текстура создается более крупными элементами местности, например, отдельными полями пашни.

## ГЛАВА 12. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В формировании текстуры значительное значение имеют собственные и падающие тени. Текстура является признаком, производным от оптических и геометрических свойств поверхности объекта. При визуальном дешифрировании текстура достаточно описывается одним-двумя прилагательными, например, линейчатая, губчатая, радиально-струйчатая.

Текстура относится к наиболее информативным признакам. Именно по текстуре человек безошибочно опознает леса, сады, поселения и многие другие объекты. Для перечисленных объектов текстура сравнительно устойчива во времени. Текстура изображения пашни может существенно меняться в течение съемочного сезона, так как после вспашки, боронования, всходов рядовых посевов, смыкания растений, уборки урожая структура поверхности преобразуется. Кроме того, на текстуру пашни и даже таких устойчивых по структуре объектов, как леса, сады, виноградники, будет заметно влиять положение солнца в момент съемки.

Во многих случаях прямые признаки не могут обеспечить достаточную достоверность результатов дешифрирования.

Достоверность дешифрирования может быть повышена за счет использования **косвенных признаков**. Косвенные признаки основаны на использовании при анализе изображений известных логических, функциональных взаимосвязей и взаимообусловленностей объектов ландшафта, а также природных, антропогенных, техногенных процессов. Их можно разделить на три основные группы: природные, антропогенные и природно-антропогенные.

*Природные* косвенные признаки выражают взаимосвязи и взаимообусловленности естественных объектов и явлений. Их называют также *ландшафтными*. Такими признаками могут быть, например, зависимость вида естественного травяного покрова от типа почвы, ее засоленности, кислотности и увлажненности или связь рельефа с геологическим строением местности и их совместная роль в почвообразовательном процессе. В некоторых случаях по косвенным признакам дешифрируют объекты, вообще не изобразившиеся на снимках, например, по изобразившимся растениям ведут разведку залежей грунтовых вод в аридной зоне, полезных ископаемых.

Объекты, с помощью которых ведется поиск и определение характеристик, не дешифрируемых напрямую объектов, называют *индикаторами*, а дешифрирование *индикационным*. Такое дешифрирование может быть многоэтапным, когда непосредственные индикаторы опознаются с помощью вспомогательных индикаторов.

С помощью *антропогенных* косвенных признаков опознают объекты, созданные человеком. При этом используют функциональные связи между объектами, их положение в общем комплексе сооружений, зональную специфику организации территорий, коммуникационное обеспечение объектов и др. Например, животноводческая ферма может быть опознана по совокупности основных

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

и вспомогательных построек, внутренней планировке территории, интенсивно выбитым прогонам, положению дешифрируемого комплекса относительно жилой зоны, характеру обслуживающей дорожной сети. Заметим, что каждое из сооружений комплекса отдельно, вне связи с прочими, не дешифрируется.

К природно-антропогенным косвенным признакам относятся: зависимость хозяйственной деятельности человека от определенных условий, проявление свойств природных объектов в деятельности человека и др. Например, по размещению некоторых видов культур можно составить суждение о свойствах почв, их увлажненности; по регулярно расположенным линиям дешифрируют элементы закрытой осушительной системы.

Дешифровочные признаки обычно используют комплексно, без разделения их на какие-либо группы. Изображение на дешифрируемом участке дешифровщик воспринимает как единую модель местности. На основе результатов анализа модели создается предварительная гипотеза о классе объекта (явления) и его качественных свойствах. Правильность подтверждается или отвергается (иногда многократно) с помощью дополнительных признаков или при полевом контроле.

#### **■ 12.3. Материалы аэро- и космических съемок, используемые при визуальном дешифрировании**

Производительность дешифрирования и качество получаемых результатов в значительной степени зависят от вида дешифрируемых материалов, их информационных свойств, удобства использования при стереонаблюдении и досъемке не изобразившихся объектов, точности регистрации результатов и др.

Для дешифрирования используют фотоснимки и другие изображения в исходном масштабе, увеличенные изображения, фотосхемы, стереофотосхемы, фотопланы, ортофотопланы и различные сочетания перечисленных материалов.

*Контактные фотоснимки* являются основным, наиболее дешевым и быстро изготавливаемым материалом. По ним и визуализированным изображениям, полученным с помощью нефотографических съемочных систем, решают многие задачи сельскохозяйственного назначения (картографические, поисковые, оперативного управления и др.). Контактные снимки удобны для стереоскопического наблюдения и выполнения простейших стереофотограмметрических определений высот объектов, уклонов эрозионно опасных участков местности и др. Материалы многозональных съемок используют для получения синтезированных изображений.

Зональные снимки используют и индивидуально с отбором наиболее информативных из них.

## ГЛАВА 12. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Основные трудности использования контактных снимков: сложность регистрации подлежащих дешифрированию малых по размерам объектов; досъемка неизобразившихся объектов.

Увеличенные изображения повышают возможность дешифрирования мелких объектов и точность отображения границ объектов. Дешифрированию подлежат фрагменты увеличенных снимков, поэтому будет сокращена площадь анализируемой местности.

Фотосхемы позволяют расширить обзорность, сократить объем работ по согласованию результатов дешифрирования на смежных снимках. Если необходимо, то их изготавливают из увеличенных снимков. С их помощью оперативно решают многие информационные задачи, например, при различных видах мониторинга, поисковых работах. Одномаршрутные фотосхемы незаменимы при аэровизуальном дешифрировании в малообжитых регионах. Недостаток фотосхем — сложность стереоскопического наблюдения.

Фотопланы и ортофотопланы — одномасштабные материалы АКС, поэтому их рационально применять при дешифрировании изображений территорий с большим объемом досъемочных работ. Это может случиться, например, при крупномасштабном картографировании поселений с многоэтажной застройкой, большим количеством зеленых насаждений, развитой сетью подземных коммуникаций. Недостатки рассматриваемых материалов — практическое исключение возможности их стереоскопического наблюдения и некоторое снижение разрешающей способности. Также возможны значительные изменения ситуации на местности, возникшие за время после фотосъемки, изготовления фотопланов и ортофотопланов до момента дешифрирования.

### ■ 12.4. Генерализация информации и критерии качества дешифрирования

Извлечение необходимой качественной семантической информации при дешифрировании может быть обеспечено информативностью и дешифрируемостью материалов аэро- и космической съемки.

Информативность — потенциальная возможность получения с данных материалов АКС необходимых сведений об изучаемых объектах. Оценивает информативность опытный специалист, определяющий семантическую информативность дешифрируемых материалов. При выполнении этой процедуры эксперт использует технические средства — набор луп различной кратности, приборы с панкратической (переменного увеличения) наблюдательной системой. Оценивают информативность словами, например «высокая», «достаточная», «недостаточная». Очевидно, что одни и те же снимки могут быть оценены по-разному специалистами, выполняющими с их помощью различные задачи.

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

Критерием экспертной оценки снимков является также их *дешифрируемость*. При этом определяют доступность извлечения из материалов АКС конкретной семантической информации. Если вся необходимая информация может быть получена непосредственно с анализируемых материалов, то оценка их информативности и дешифрируемость совпадут.

При недостаточной дешифрируемости высокоинформационных снимков эксперт определяет пути повышения дешифрируемости — увеличение изображения, повышение его контраста, уменьшение смазы, фильтрация и др.

Генерализация информации при дешифрировании основана на методике картографической генерализации, так как дешифровочные работы выполняют в целях создания топографических и специальных планов и карт.

На этапе производства аэро- и космических съемок происходит дистанционная генерализация — геометрическое и оптическое обобщение на снимках, возникающее вследствие комплекса факторов (технические характеристики съемочных систем, высота съемки, масштаб и разрешение снимков, природно-климатические характеристики местности, атмосферные условия).

На этапе предварительной обработки снимков производят автоматическую (алгоритмическую) генерализацию — формальный отбор объектов дешифрирования, сглаживание (упрощение) границ и фильтрация изображения в соответствии с заданным алгоритмом.

На этапе визуального дешифрирования генерализация представляет собой процесс обобщения картографируемых объектов (явлений) и их границ в соответствии с тематическим назначением и масштабом составляемой карты. При этом выделяют главные типичные свойства объектов в соответствии с нормами, установленными инструкциями и нормативными документами. Типичные свойства подлежащих нанесению на карты объектов выявляют в результате их предварительного изучения.

Генерализацию при дешифрировании выполняют с целью упрощения последующего отображения информации картографическим путем. При этом должна быть сохранена достоверность и обеспечена достаточность информации для решения практических задач. Тем же принципом руководствуются и при обобщении границ площадных объектов, а также формы линейных объектов. В некоторых случаях малые изгибы границ и формы объектов можно утрировать в целях упрощения ориентирования по карте на местности с малым числом контуров.

*Нормы отбора при генерализации* — минимальные размеры и число отдельных подлежащих дешифрированию объектов.

Нормы генерализации устанавливаются действующими инструкциями, наставлениями и другими нормативными документами, а частные отклонения от них — редакционными указаниями (предписа-

## ГЛАВА 12. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

ниями). При составлении нестандартных карт устанавливают согласованные с заказчиком индивидуальные нормы. Аналогично устанавливают нормы при выполнении исследовательских, поисковых и других работ.

Например, при дешифрировании материалов аэрофотосъемки для создания планов масштабов 1:10 000 и 1:25 000 для целей землеустройства и земельного кадастра элементы ситуации не дешифрируют, если площадь их в масштабе плана не превышает:

- 2 мм<sup>2</sup> для пашни, многолетних насаждений и культурных пастбищ на орошаемых и осушаемых массивах, а также для других угодий и несельскохозяйственных земель, вкрапленных в перечисленные угодья;
- 4 мм<sup>2</sup> для тех же объектов на немелиорированных землях;
- 10 мм<sup>2</sup> для остальных сельскохозяйственных угодий, а также для вкрапленных в них несельскохозяйственных земель;
- 50 мм<sup>2</sup> для различающихся по качественным признакам сельскохозяйственных угодий (например, пашни чистой и засоренной камнями), а также для несельскохозяйственных земель;
- 100 мм<sup>2</sup> для различающихся по характеристикам участков древесной и кустарниковой растительности в общем массиве.

Озера, пруды, мочажины, колки дешифрируют независимо от их площади. Острова на водоемах показывают, если их площадь более 5 мм<sup>2</sup>. Отдельные ореховые и тутовые деревья показывают во всех случаях, а остальные — только на пашне. Промоины на пашне дешифрируют, если их длина в масштабе плана более 5 мм; длина прочих линейных элементов ситуации должна превышать 10 мм.

Как отмечалось, основная задача дешифрирования — опознавание объектов, определение их характеристик и отображение границ. Для оценки качества результатов дешифрирования применяют следующие критерии: полнота, достоверность и точность нанесения границ объектов.

*Полнота дешифрирования ( $\Pi$ )* — отношение числа  $K$  дешифрированных объектов, подлежащих дешифрированию, к их общему числу объектов  $K_{об}$  на материалах АКС:

$$\Pi = K / K_{об}.$$

Полнота дешифрирования зависит от изобразительного качества, информационных возможностей материалов АКС и квалификации дешифровщика. Данный критерий может быть применен для оценки внимательности специалиста, характеризующего процент пропущенных объектов при дешифрировании изображения.

*Достоверность дешифрирования ( $\Delta$ )* — отношение числа  $K\Delta$  достоверно дешифрированных объектов к общему числу  $K$  дешифрированных объектов:

$$\Delta = K\Delta / K.$$

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

Достоверность дешифрирования также зависит от качества материалов АКС и квалификации дешифровщика. Важно, чтобы дешифровщик имел опыт работы с материалами АКС на картографируемую местность. Это связано с особенностями изображений объектов различных природно-климатических зон. Критерий «достоверность дешифрирования» используют для оценки квалификации дешифровщика — определяют процент правильно дешифрированных специалистом объектов на эталонном снимке с  $n$ -м числом известных объектов.

*Точность нанесения границ* — критерий, показывающий погрешность при отображении границ на материалах АКС. Численное значение критерия зависит от масштаба, тематического направления дешифрирования, резкости изображения объектов и квалификации дешифровщика.

Согласно инструкции при дешифрировании материалов аэрофотосъемки для составления планов для целей землеустройства и земельного кадастра в масштабе 1:10 000 и 1:25 000 установлены следующие требования к точности нанесения объектов (в масштабе плана):

- ошибка опознавания и нанесения границ контуров и объектов, отчетливо изобразившихся на материалах АКС, относительно видимой линии, разделяющей объекты на фотоизображении, не должна превышать 0,2 мм;
- расхождение между двумя определениями при нанесении на материалы АКС объектов, имеющих в натуре отчетливые границы, но не изобразившихся на материалах АКС (при досъемке), не должно превышать 0,3 мм;
- расхождение между двумя определениями при нанесении контуров, не имеющих в натуре выраженных границ (например, сенокос суходольный и заболоченный), не должно превышать 1,5 мм.

Таким образом, нормы контурной генерализации и точности нанесения границ дифференцируются в зависимости от значимости объектов и четкости изображения границ. Например, требования к точности выделения пашни из массива других угодий должны быть выше, чем точность разграничения однотипных различающихся качественно угодий (пашня чистая и засоренная камнями и т. п.).

#### **Контрольные вопросы**

1. В чем достоинство и недостатки полевого и камерального способов дешифрирования?
2. Можно ли повысить информативность материалов АКС на этапе планирования производства съемочных работ?
3. Корректно ли сравнение по значимости прямых и косвенных признаков?
4. Что означает оптическая и геометрическая генерализация?
5. Что определяет точность дешифрирования границ объектов?

## **Глава 13. Дешифрирование материалов аэро- и космических съемок для целей землеустройства и кадастра**

Цели изучения:

- знать задачи и содержание тематического дешифрирования;
- знать основные этапы технологии кадастрового дешифрирования, особенности дешифрирования населенных пунктов.

### **■ 13.1. Задачи и содержание кадастрового дешифрирования**

---

*Задачи* данного вида дешифрирования — обеспечить семантической информацией процесс создания кадастровых карт межселен- ных земель в масштабах 1:10 000 и в малообжитых регионах — 1:25 000, а также кадастровых планов поселений в масштабах 1:500 — 1:2000.

Кадастровые карты и планы, являясь специализированными моделями местности, служат пространственной основой для формирования базы кадастровой информации. С их помощью проводят изыскательские работы землеустроительного назначения, межевание, инвентаризацию и кадастровую оценку недвижимости, сложившихся землепользований и землевладений.

Кадастровые карты и планы могут использоваться при создании специальных карт (почвенных, геоботанических, гидрогеологических, подземных коммуникаций и др.) в качестве информационных слоев в ГИС.

*Содержание* кадастрового дешифрирования должно соответствовать требуемой информации, отражаемой на кадастровых картах и планах.

Объем топографической (сituационной) информации должен обеспечить: достаточно точную пространственную привязку (нанесение на карты и планы) специальных сведений о землях; свободное ориентирование на местности при выполнении полевых работ; возможность принятия правильных проектных решений и вынесения проекта в натуру.

Объем специальной информации должен обеспечить правильное решение любой из перечисленных задач. Особое внимание уделяют правильности показа границ землепользований, землевладений, характеристике расположенных на картографируемой территории земель, определению положения объектов недвижимости на планах.

Содержание кадастровых карт и планов земель должно постоянно находиться в соответствии с фактическим состоянием местности. Актуализацию кадастровой информации на планах и картах осуществляют в результате проведения мониторинга по материалам аэро- и космических съемок. Этот процесс реализуют или непре-

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

рывным внесением поправок в режиме реального времени, или периодическим обновлением планово-картографического материала.

Дешифрирование материалов съемок — наиболее значимый вид работ, определяющий качество создаваемых картографических материалов. Его осуществляют визуальным методом и, как правило, комбинированным способом.

#### **■ 13.2. Основные этапы технологии визуального дешифрирования**

В технологии визуального метода дешифрирования обычно применяют комбинированный способ, который включает следующие основные этапы: подготовительный; камеральное дешифрирование; полевая доработка и контроль результатов дешифрирования; оформление и сдача заказчику.

Подготовительному периоду предшествует составление и согласование с заказчиком технического предписания (ТП) на производство съемочных работ. Для этого изучают физико-географические особенности картографируемого района, технические условия создания или обновления карт для дешифрирования проводят согласно ТП. От тщательности выполнения подготовительных работ в значительной мере зависит качество комбинированного дешифрирования.

На подготовительном этапе проводят следующие мероприятия: выполняют подбор подлежащих дешифрированию материалов АКС, осуществляют сбор, систематизацию, анализ и подготовку правовых, картографических, инженерно-экономических сведений и материалов, к которым относят:

- районные карты землепользований и землевладений, включая участки бессрочного пользования, по состоянию на 1 ноября предшествующего дешифрированию года;
- списки основных землепользований и землевладений в пределах дешифрируемой территории и размещающихся в их границах других землепользователей (школы, больницы, карьеры и др.) с указанием их наименований и закрепленных за ними площадей;
- сведения о дорожной сети (материал покрытия, ширина и число полос, ширине полос отвода и т. п.);
- выkopировки (на прозрачной основе) границ землепользований и землевладений с планов государственных актов на право пользования землей с землеустроительных планов, с планов участков посторонних землепользователей; ведомости координат поворотных пунктов границ, а также сведения об изменении границ;
- существующие фотокарты и ортофотопланы; материалы дешифрирования прежних лет, а при их отсутствии штриховые, желательно, обновленные планы землепользований сельскохозяй-

## **ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА...**

ственных предприятий и фермерских хозяйств с выделенными угодьями;

— экспликация земель на момент выполнения подготовительных работ;

— планы (схемы, рабочие чертежи) осушительных и оросительных систем и сооружений на них; материалы инвентаризации мелиорированных земель и обводненных пастбищ; справки и документы о режиме водоемов;

— копии официальных документов и соответствующие графические материалы о переводе одних сельскохозяйственных угодий в другие, а также об исключении из учета мелиорированных земель;

— топографические карты наиболее крупного масштаба последнего издания.

Все юридические материалы заверяет представитель землеустроительной службы района.

На основе анализа собранных материалов разрабатывают редакционное предписание на производство дешифровочных работ, в котором указывают состав исполнителей, особенности района работы и категорию трудности, дают соответствующие рекомендации по технологии камерального дешифрирования, полевого обследования, контроля качества и оформления результатов дешифрирования, устанавливают сроки выполнения работ. Затем исполнителям выдают задание с указанием границ участка местности, подлежащего дешифрированию. Такими границами могут служить рамки планшетов принятой разграфки, границы землепользований, линейные элементы местности (реки, дороги и т. п.).

На дешифруемые материалы наносят предварительное положение границ сельскохозяйственных предприятий, землепользований и землевладений. Распределяют подлежащую картографированию территорию между исполнителями.

На дешифруемых материалах ограничивают рабочие площади. Ограничение рабочих площадей снимков, фотосхем и других дешифруемых материалов выполняют с целью исключения случаев пропусков или повторного дешифрирования территорий. Границы рабочих площадей на снимках и других материалах при этом должны проходить по идентичным точкам смежных изображений. На снимках равнинной и слабо всхолмленной местности, особенно в случае использования при съемке узкоугольных съемочных систем, границы будут прямолинейными. Для их ограничения используют точки, расположенные примерно в углах площади снимка, образованных серединами тройных продольных  $P_x$  и двойных поперечных  $P_y$  перекрытий снимков. В этих условиях появляется возможность дешифрирования только четных или нечетных снимков. Это позволяет сократить объем работ по сводкам результатов дешифрирования и оформлению дешифрованных снимков. Остальные снимки ис-

### ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

пользуют как вспомогательные для стереоскопического наблюдения дешифрируемых снимков.

Для исключения пропусков и дублирования дешифрирования объектов местности на снимках со значительным рельефом ограничение рабочей площади выполняют по точкам, расположенным на характерных элементах рельефа. Общие точки разграничиваемых снимков выбирают на главных перегибах земной поверхности вдоль основного направления границы, используя при этом стереоскоп. Границы рабочей площади получаются ломаными, но избыточное дешифрирование и пропуски исключаются.

Ограничение рабочих площадей крупномасштабных снимков поселений при выполнении инвентаризационных работ требует соблюдения дополнительного условия — сохранения на каждом снимке целостности изображения участков всех землепользователей. Поэтому границы рабочих площадей проводят вдоль улиц, переулков, по границам землепользований и т. п. с минимальным уклонением от срединных линий перекрытия снимков.

Ограничению рабочих площадей снимков и фотосхем, предназначенных для дешифрирования материалов, обычно предшествует процесс нанесения на них предварительного положения границ территории, в пределах которой выполняют дешифровочные работы. Такими границами могут быть рамки трапеций принятой разграфки, границы землепользований сельскохозяйственных и других предприятий, разделительные линии между участками работ разных дешифровщиков. И только после выполнения этого процесса приступают к ограничению рабочих площадей каждого снимка и фотосхемы.

Границы рабочих площадей вычерчивают синей тушью, а границу участка работы исполнителя — черной. Для сводки результатов уже выполненного на смежных участках дешифрирования в полосе шириной 2 см вдоль границы с внешней стороны наносят полученную ранее ситуацию. Ниже рабочей площади ставят штамп для указания времени дешифрирования, должности и фамилии исполнителя, а также должностного лица, проверявшего и принявшего работу.

За границами участка дешифрируют полосу шириной 1 см в масштабе плана.

*Камеральный этап дешифрирования.* Отображению на материалах АКС подлежат надежно распознаваемые объекты. При камеральном дешифрировании используют прямые и косвенные признаки, а также материалы, собранные на подготовительном этапе. Дешифрирование в большинстве случаев выполняют по принципу последовательного перехода от общего к частному. Первоначально дешифрируют основные линейные топографические объекты (дороги, гидрографические элементы), затем общие контуры лесных массивов и сельскохозяйственных угодий и далее анализируют каждый из выделенных массивов.

## **ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА...**

Названия поселений, рек, озер, урочищ, сведения о характеристиках лесов, болот, границы затопления земель устанавливают с помощью топографических карт.

Особое внимание уделяют нанесению точного положения границ землепользований и землевладений.

Если поворотные пункты границ (межевые знаки) сохранились на местности и надежно опознаются на фотоизображении, то дешифрирование границ сводится к простому опознаванию, фиксированию наколами и оформлению опознанных знаков на дешифруемых материалах. Отображению и опознаванию знаков на материалах АКС способствует маркирование знаков перед съемкой.

Если межевые знаки сохранились на местности, но не опознаются на фотоизображении, их наносят на фотоизображение в поле способом досъемки. Для решения той же задачи в камеральных условиях данные о положении межевых знаков получают с ранее дешифрованных снимков или фотопланов, если граница не изменилась. Идентификацию межевых знаков и перенос их на фотоизображения выполняют стереоскопически или с помощью линейных засечек (пропорциональным циркулем) от сохранившихся и надежно отождествляемых точек фотоизображения.

В случае, когда межевые знаки на местности не сохранились и отсутствуют координаты межевых знаков, границу определяют по указанию уполномоченных смежных землепользователей в поле, с последующим нанесением на дешифрируемые материалы.

Если фактическая граница землепользования не соответствует юридической, то на дешифрируемые материалы наносят обе границы с внесением соответствующего примечания в акт сдачи-приемки результатов дешифрирования.

Опознанные надежно в камеральных условиях участки границ вычерчивают тушью. Оставшиеся участки дешифрируют в поле.

Границы населенных пунктов наносят на изображение по их фактическому положению. Распознавание границ существенно упрощается, если на местности они обозначены канавами, изгородями, рядами деревьев или кустарников, совпадают с дорогами.

Если фактическая граница населенного пункта совпадает с юридической, то на дешифрируемых материалах их обозначают сплошной красной линией, в противном случае, а также при отсутствии юридической границы на местности — точечным пунктиром.

Границы орошаемых и осущенных земель на дешифрируемые материалы наносят с планов инвентаризации мелиорированных земель, с планов их графического учета или исполнительных чертежей, составленных при сдаче этих земель в эксплуатацию.

Условные знаки надежно опознанных элементов ситуации вычерчивают тушью. Нераспознаваемые или недостоверно дешифрируемые участки (объекты) выделяют на снимках и переносят на

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

репродукцию накидного монтажа или фотосхему. На основе этих материалов и полученных в местных землеустроительных органах сведений о произошедших после аэросъемки изменениях в районе работ проектируют маршруты полевого обследования объектов и контроля результатов камeralьного дешифрирования.

Необходимость в использовании технических средств при визуальном дешифрировании возникает в целях: оптического увеличения изображения, стереоскопического наблюдения дешифрируемых материалов.

Для оптического увеличения анализируемых изображений используют набор луп. Их используют для обнаружения и опознавания малых по размерам объектов (водоразборных колонок, маркированных перед съемкой поворотных пунктов границ землепользования и т. п.). Точность дешифрирования возрастает при использовании стереоскопического эффекта.

Стереоскоп облегчает анализ изображения за счет объемного представления объектов.

Стереоскопическое наблюдение снимков упрощает и ускоряет процесс нанесения границ возвышающихся объектов и элементов рельефа. Поэтому использование стереоскопов рекомендуется даже при полевом дешифрировании.

При полевом способе дешифрирования в настоящее время успешно применяются технологии с использованием КПК или ноутбуков с малыми размерами монитора. Преимущества заключаются в том, что в процессе визуального анализа возможно увеличение изображения, изменение фотографического качества, что повышает точность отображения границ объектов. Кроме этого, нанесение границ и условных знаков выполняется программными средствами, что повышает скорость и качество отображения результатов дешифрирования.

Полевое обследование выполняют путем обхода или с привлечением наземных и воздушных транспортных средств.

В соответствии с инструкцией полевое обследование выполняют при участии уполномоченного представителя землепользования, землевладения или должностных лиц хозяйств. В их обязанности входит информирование дешифровщика о назначении и использовании земель, объектов, оказание помощи в организации работ и т. п.

Обнаруженные в поле неизобразившиеся объекты наносят на фотоизображение способом досъемки.

*Досъемку неизобразившихся объектов или межевых знаков выполняют в следующей последовательности.*

Если дешифрируют контактные, увеличенные снимки и фотосхемы, на которых неодномасштабное и неортогональное изображение, то положение неизобразившихся объектов определяют линейными измерениями рулеткой или лазерным дальномером. Для этого выполняют линейные измерения от надежно опознаваемых на сним-

## **ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА...**

ке и местности контуров до углов неизобразившихся объектов известными из геодезии способами (линейная прямая и обратная засечка, способ промеров, перпендикуляров, створов и их комбинаций). Результаты измерений фиксируют на абрисе в полевом журнале. Наносят неизобразившиеся объекты на дешифрируемые снимки и фотосхемы по данным досъемки с учетом частных масштабов.

Для определения частного масштаба используют два базиса. Базис — длина линии между двумя контурными точками, достоверно определяемыми на дешифрируемом материале и местности. Использование двух базисов позволяет исключить грубые ошибки при определении частного масштаба. Среднее значение из частных масштабов позволяет выявить предельную разномасштабность по различным направлениям и оценить возможную точность линейных измерений с помощью среднего значения масштаба. Очевидно, что базисы не должны иметь общих фиксируемых точек. На гиростабилизированных снимках разномасштабность возникает в основном вследствие влияния рельефа местности. Поэтому при работе на такой местности один из базисов следует расположить вдоль, а другой — поперек основного направления ската участка. Базисы при этом окажутся примерно взаимно перпендикулярными. Если плечи относительно точки их пересечения будут примерно симметричными, то среднее значение частного масштаба будет в этой точке. Базисы на снимке измеряют с помощью измерителя и масштабной линейки, на местности — рулеткой. Точность измерения с помощью рулетки достаточна. Даже при дециметровой погрешности измерение линий в натуре обеспечивает точность 1/500, что в несколько раз превышает точность измерения базисов на снимках.

Наиболее удобное средство измерения базисов в натуре — ручные лазерные безотражательные дальномеры («лазерные рулетки»). Дальность измерения с их помощью до 200 м и более. Погрешность измерения 1,5–3 мм.

Если дешифрируют ортофотопланы, то для досъемки применяют геодезические приборы или GPS/ГЛОНАСС-аппаратуру. Результаты этих измерений — координаты углов неизобразившихся объектов в системе координат ортофотоплана. По координатам наносят на ортофотоплан неизобразившиеся объекты.

В целях предупреждения методических ошибок дешифрирования руководитель подразделения контролирует все этапы работ, особенно на начальной стадии. Замечания по работе и рекомендации заносят в акт текущего контроля. Исполнитель согласует результаты по смежным границам рабочих площадей, планшетов, хозяйств. Процедуру согласования называют *сводкой результатов дешифрирования*. Под этим понимают однозначное дешифрирование и обозначение объекта или угодья, разделенного границей рабочей площади и расположенного на смежных материалах дешифрирования.

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

Сводку результатов дешифрирования выполняют по границам смежных рабочих площадей дешифрируемых материалов, вдоль рамок трапеций или границ землепользований предприятий. Цель сводки — согласование результатов классификации объектов, определение их качественных и количественных характеристик по границам смежных рабочих площадей, а также исключение пропусков объектов.

По завершении дешифрирования очередного снимка (фотосхемы, ортофотоплана) исполнитель выполняет сводку своих материалов (внутренняя сводка). С соседними исполнителями сводки проводят как в процессе работы, так и после окончания ее. Если смежный объект завершен ранее, исполнитель на подготовительном этапе изготавливает на восковке выкопировку ситуации в полосе до 2 см вдоль границы и по ней выполняют сводку.

Завершив работу по сводке, исполнитель записывает вдоль границы рабочей площади, с каким материалом выполнена сводка, его номер, указывает дату и фамилию.

По окончании дешифрирования исполнитель формирует «Дело по дешифрированию», включив в него материалы дешифрирования и документы, перечень которых установлен действующими инструкциями или нормативными указаниями.

Законченную работу принимает руководитель работ с обязательным выездом на место работы. При этом устанавливают соответствие результатов дешифрирования требованиям инструкции и дополнительным техническим условиям. Обращают внимание на выполнение рекомендаций, указанных в актах текущего контроля, на качество вычерчивания результатов дешифрирования и выполнения сводок, на наличие и правильность оформления необходимых документов. Полноту и достоверность результатов дешифрирования контролируют выборочно, непосредственно в поле, на наиболее сложных участках. Обнаруженные недостатки устраняет исполнитель. Дальнейшую приемку выполненных работ осуществляет руководство экспедиции и представитель технического отдела с оформлением актов. Принятые материалы представляют для проверки и согласования с представителями организации-заказчика. После согласования и приемки заказчиком дешифрированных материалов подписывают «Акт приемки работ».

#### **■ 13.3. Объекты дешифрирования при создании планов использования земель масштаба 1:10 000 и 1:25 000**

Объекты, подлежащие дешифрированию, должны соответствовать информации, содержащейся на топографических и тематических планах и картах. Они определяются соответствующими ин-

## **ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА...**

структурными, нормативными документами, техническим заданием на производство дешифровочных работ. Рассмотренные в данном параграфе объекты, подлежащие дешифрированию и отображению на материалах АКС, утверждены «Инструкцией по дешифрированию аэрофотоснимков в масштабах 1:10 000 и 1:25 000 для целей землеустройства, государственного учета земель и земельного кадастра».

Границы земель, землепользований, землевладений, поселений — наиболее значимые объекты данного вида дешифрирования. Данный вид границ определяется на местности межевыми знаками, служащими поворотными пунктами. В некоторых случаях границы проходят по урочищам или совпадают с линейными топографическими элементами местности (берега реки, ручья, просеки, дорог и т. д.). Межевые знаки могут отобразиться на аэрофотоснимках светлыми точками при достаточном яркостном контрасте оконки столбов на окружающем фоне. Поиск изображения межевых знаков на дешифрируемых материалах не должен быть случайным. Для этого используют их каталоги и абрисы. Опознавание упрощается, если сохранившиеся межевые знаки перед фотосъемкой маркируют (известью, опилками и др.) крестообразными или иной формы знаками.

*Пашня* — земельный участок, систематически обрабатываемый и используемый под посевы сельскохозяйственных культур, включая посевы многолетних трав, а также пары. К пашне не относят распаханные с целью коренного улучшения сенокосы и пастбища, а также используемые под посевы междуурядья садов. Особенность дешифрирования пашни — большое разнообразие ее по качественным характеристикам. Выделяют пашни с оросительной сетью, пашни лиманного орошения, осущенные (с указанием способа осушения) с двусторонним регулированием водного режима, заливные, богарные (в районах орошенного земледелия), чистые, засоренные камнями. Отдельно выделяют пашни под посевами риса, показывают теплицы, парники и оранжереи. Выделяют также приусадебные участки и индивидуальные огороды, расположенные вне поселений.

Основные дешифровочные признаки пашни — четкость границ и определенная текстура изображения. Текстура изображения пашни зависит от сезона съемки, высоты солнца и азимута падения солнечных лучей относительно направления обработки почвы. Тон пашни может варьироваться в большом диапазоне — он изменяется в зависимости от состояния данного участка, произрастающей на нем культуры, фазы развития этой культуры и др.

Заливные земли, в том числе и пашня, выделяются по горизонтальным на крупномасштабных топографических картах. Данные о среднем уровне воды за три последних года получают от постов Гидрометеослужбы. Определенные по карте границы разлива переносят на дешифрируемые материалы. При полевом обследовании границу уточняют по опросам местных жителей и по непосредственным

### ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

признакам разлива на местности. Большие массивы сельскохозяйственных угодий могут разделяться границей разлива на заливные (пойменные) и незаливные (суходольные). В соответствие с нормами генерализации участки до 50  $\text{мм}^2$  на плане относят к тому или иному подвиду угодий.

Наиболее вероятные ошибки дешифрирования пашни: отнесение некоторых участков пашни к залежи, и наоборот, а также отнесение к пашне сенокосов и пастбищ, распахиваемых с целью коренного улучшения.

К залежи относят участки пашни, не используемые более одного года (начиная с осени) для посева сельскохозяйственных культур и не подготовленные под пар. Залежи при дешифрировании разделяют на чистые, засоренные камнями, заросшие кустарником или порослью леса, богарные (на орошаемых массивах). Отдельно показывают залежи лиманного орошения, с оросительной сетью, расположенные в зоне орошения, заливные и осущенные с указанием способа осушения.

Дешифровочные признаки залежи и пашни очень близки. Границы и следы обработки почвы и соответственно линейная текстура изображения сохраняются многие годы. Однако со временем появляются признаки прекращения обработки — локальная нечеткость текстуры, возникновение в текстуре пятен (зерен отображения сорняков и древесной растительности). Косвенный признак залежи — расположение ее в межотроговых овражных и балочных участках (рис. 13.1), а также в значительно эродированных территориях.



Рис. 13.1. Изображение участков залежи, располагающихся между отрогами оврага: 3 — залежь

Сенокосы — участки местности, используемые для сенокошения. Сенокосы при дешифрировании разделяют на заливные, суходольные и заболоченные. Все их подразделяют на чистые, покрытые кочками, заросшие кустарником, порослью леса или редким лесом, залесенные и т. п. Согласно инструкции выделяют 48 видов сенокосов, что обусловлено тематическим направлением дешифрирования.

## **ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА...**

Форма и размеры участков сенокосов неопределенные, так как их границами служат границы пашни, залежи, леса, а также топографические элементы местности (реки, ручьи, дороги и др.).

Текстура изменяется в зависимости от качественных характеристик сенокосов. Наибольшую надежность опознавания сенокосов обеспечивает съемка, выполненная в период сенокошения и после него, до вывоза сена и маскирования следов уборки отавой.

При дешифрировании сенокосов важное значение имеют косвенные признаки: приуроченность к определенным природным комплексам, отсутствие возможности прогона скота к участку и признаков систематического выпаса.

*Пастбище* — земельный участок, используемый для выпаса скота, но не используемый как сенокос и не являющийся залежью. Пастбища делят на пойменные, суходольные и заболоченные с последующим разделением на чистые, покрытые кочками, заросшие кустарником, порослью леса или редким лесом и залесенные. Суходольные пастбища подразделяют на культурные, коренного улучшения, засоренные камнями, каменистые и расположенные на задернованных песках.

В степной, полупустынной и пустынной зонах пастбища разделяют в зависимости от произрастающей на них растительности и сезонного использования. Отдельно показывают орошаемые и осушенные пастбища. На пастбищах дешифрируют изгороди и все специальные сооружения.

Пастбища, так же как и сенокосы, не имеют четко выраженных прямых дешифровочных признаков. Распознают их в основном по косвенным признакам: положение относительно поселений и, в частности, относительно скотных дворов с установлением возможности прогона скота к пастбищному участку, наличие множества проложенных скотом троп, вытоптанных мест у водопоев, наличие специальных сооружений (загонов, навесов и т. п.).

*Многолетние насаждения* — земельные участки под древесными, кустарниковыми или многолетними травянистыми искусственными насаждениями, предназначенными для получения плодово-ягодной или технической продукции (чая, эфирных масел, хмеля и т. п.).

Отдельно дешифрируют сады цитрусовые, фруктовые субтропические, фруктовые с виноградниками, фруктово-ягодные, виноградники, ягодники, а также тутовники, хмельники, различные плантации и питомники древесно-кустарниковых культур. Выделяют орошаемые и осушаемые многолетние насаждения с указанием типа орошения и осушения, а также пойменные насаждения. Сады на приусадебных участках не дешифрируют. Коллективные сады показывают отдельными землепользованиями. Постройки на них не дешифрируют.

Основной дешифровочный признак многолетних насаждений — текстура изображения. При наличии сведений о типах насаждений,

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

встречающихся в районе выполнения работ по дешифрированию, и использовании эталонных снимков достоверность камерального распознавания наложений достаточно высокая.

Дешифрирование сельских населенных пунктов при данном тематическом дешифрировании имеет свои особенности.

В первую очередь на дешифрируемые материалы наносят внешние юридические границы, если они установлены и соответствуют фактической границе.

Внутри населенных пунктов дешифрируют улицы, здания, переулки, проезды и тупики без указания покрытия. Границами улиц и площадей, как правило, являются фасадные линии домов или ограждения усадеб.

Определены три типа застройки сельских населенных пунктов: системная, бессистемная и рассредоточенная.

При системной застройке индивидуальные постройки в поселении независимо от функционального назначения и характеристик строений объединяют поквартально общим контуром.

При рассредоточенной и бессистемной застройке участки объединяют по группам, если расстояние между кварталами более 5 мм в масштабе плана. Отдельно стоящие строения внутри кварталов не дешифрируются.

Также поквартально, без внутренней детализации, условным знаком огорода показывают приусадебные участки. Из общих массивов приусадебных земель выделяют не переданные в индивидуальное пользование участки. На изображении ставят пояснительные надписи и условные знаки их фактического использования.

При односторонней застройке для обозначения границы улицы по внешней стороне проезжей части проводят дополнительную тонкую линию.

В сельских населенных пунктах с рассредоточенной застройкой постоянные проезды показывают условным знаком дорог; улицы и площади при этом не выделяют.

Отдельно показывают общественные хозяйствственные постройки и их границы (черным цветом). Выделяют (красным цветом) участки посторонних землепользований (школ, больниц, контор связи и др.) с обобщенным показом строений внутри участков. Условное отображение общественных хозяйственных объектов и посторонних землепользователей сопровождают сокращенными пояснительными подписями.

В сельских населенных пунктах дешифрируются сельскохозяйственные угодья общественного пользования и топографические объекты: реки, ручьи, овраги, леса, кустарники, парки, скверы и др.

Дешифрированию подлежат также хутора, бывшие хутора, хозяйственные постройки, расположенные вне поселения (полевые станы, склады и т. п.), и используемые для их обслуживания земли.

## **ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА...**

Эти объекты показывают, сопровождая пояснительными надписями. Специфичность дешифровочных признаков сельских населенных пунктов, хуторов, отдельных зданий и сооружений исключает возможность перепутывания с прочими объектами.

Элементы сельских населенных пунктов (полосы застройки, приусадебные земли, улицы, площади, проезды) легко опознают при камеральном и особенно при стереоскопическом наблюдении дешифрируемых материалов. Большинство общественных хозяйственных объектов опознают с помощью косвенных признаков, например по расположению объекта в поселении, функциональной обусловленности изобразившихся элементов комплекса сооружений, изображению машин, бочек и других предметов на территории дешифрируемого объекта.

Леса в рассматриваемом виде дешифрирования не разделяются по породам. Отдельно показывают молодые посадки, участки под дикорастущими плодовыми деревьями. В лесах выделяют буреломы, вырубки, поросли леса, кустарники и кустарнички.

Дешифрированию подлежат полезащитные и садозащитные лесополосы, защитные насаждения вдоль оросительных и осушительных каналов, бровок оврагов, берегов водоемов, древесная и кустарниковая обсадка дорог и судоходных каналов, защитные лесонасаждения по дну и откосам оврагов и на песках.

Из общих массивов леса выделяют орошаемые и осушаемые леса, заболоченные леса и кустарники, раскорчеванные участки для вовлечения в сельскохозяйственное производство.

Основной дешифровочный признак лесов и кустарников — текстура фотоизображения. По характеру текстуры и высоте насаждений, определяемой по теням или стереоскопической модели, достаточно надежно разделяются зрелые леса, естественная поросль леса, молодые посадки леса, редколесья, кустарники. Уверенно опознаются просеки, а во многих случаях и лесные дороги. Заболоченность лесов и кустарников иногда хорошо отображается на черно-белых и особенно хорошо на цветных спектрональных аэрофотоснимках. Заболоченность определяют с привлечением косвенных признаков (характер рельефа местности, наличие и характер близлежащих водоемов и др.).

Лесополосы и защитные лесонасаждения надежно распознаются по прямым признакам с помощью стереоскопа.

На дешифрируемых материалах показывают все *дороги*, в том числе строящиеся. Если дороги имеют полосы отвода, на изображение наносят их границы. В пределах границ показывают земли, находящиеся непосредственно под дорогой, с канавами, насыпями и выемками, а также сельскохозяйственные угодья и другие подлежащие дешифрированию объекты.

Для всех железных, так же как и для автомобильных дорог применяют один (свой) условный знак. Если граница полосы отвода

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

располагается от условного знака дороги ближе 0,5 мм в масштабе плана, то границу не показывают, а на дешифрируемых материалах указывают ширину полосы отвода.

Все сооружения на дорогах показывают обобщенно. Границы станций, разъездов и других дорожных служб наносят на дешифрируемые материалы по геодезическим данным, а при их отсутствии — по фактическому состоянию.

Временные дороги в лесах и на сельскохозяйственных угодьях не дешифрируют.

Дешифрируют межники с разделением на чистые, с камнями, с отходами корчевания. Если межники не выражаются в масштабе плана (менее 1,5 мм), то на дешифрируемых материалах указывают их ширину.

Дороги имеют специфические прямые дешифровочные признаки — на обычных аэрофотоснимках, полученных в широкой спектральной зоне на территории нечерноземной зоны, они отображаются светлыми линиями (полосами). Профилированные дороги с покрытием отображаются полосами одинаковой ширины.

Мосты и путепроводы дешифрируют по прямым признакам; наличие водопропускных труб определяют косвенно по пересечению дорог с водотоками при отсутствии мостов.

При дешифрировании гидрографических объектов показывают береговые линии всех естественных и искусственных водоемов, гидротехнические сооружения (каналы, открытые и закрытые коллекторы, канавы, арыки, наземные и подземные водопроводы в районах орошаемого земледелия, колодцы, водопойные пункты и др.), а также ключи, родники, сухие канавы. Дешифрированию подлежит древесно-кустарниковая растительность по берегам водоемов.

Если ширина водотока не выражается в масштабе плана, с интервалом примерно в 1 дм показывают среднюю ширину зеркала воды в метрах. Также показывают ширину полос обслуживания каналов. Вдоль каналов и канав дешифрируют валы высотой более 1 м. Полосы отвода при каналах дешифрируют аналогично полосам отвода при железных и шоссейных дорогах. На реках, каналах и канавах стрелками обозначают направление течения воды. Водные объекты с высокой степенью достоверности дешифрируют на черно-белом и особенно надежно на цветных аэрофотоснимках по прямым признакам (рис. 13.2, 13.3). Задача нанесения на дешифрируемые материалы береговой линии существенно облегчается, если аэрофотосъемка выполнена в период, когда уровень воды в крупных водохранилищах соответствовал нормальному подпорному уровню, а в реках, озерах и прудах — среднему устойчивому уровню в летний период. В противном случае к решению этой задачи привлекают вспомогательные материалы (гидрографические проекты, крупномасштабные топографические карты) или береговую линию наносят

## ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА...

инструментально в поле в период нормального уровня воды в водоемах. Направление течения в реках определяют по косвенным признакам (форме островов и наносов на отмелях по направлению впадения притоков) или с помощью топографической карты.

Мелиоративные каналы и канавы относятся к категории контрастных объектов, поэтому они даже при малой ширине хорошо отображаются на аэрофотоснимках (см. рис. 13.2, 13.3). При правильном выборе времени аэрофотосъемки и элементов съемочной системы на снимках достаточно хорошо отображается и подземная дренажная сеть.



Рис. 13.2. Снимок поселения с участком, подверженным эрозии



Рис. 13.3. Снимок того же поселения, полученный через 10 лет.  
Эродированный участок залесен

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

Чтобы обнаружить мелкие компактные гидрографические объекты и гидрографические сооружения (ключи, родники, колодцы и т. п.), используют косвенные признаки (геоморфологическую приуроченность, наличие сходящихся к одной точке троп, изменение тона изображения растительности и грунта в местах выхода на поверхность грунтовых вод). Сведения о качестве воды обычно получают из справок, карт и других источников. Болота подразделяют на низинные, верховые и переходные с выделением в них окон чистой воды, участков с растительностью, пригодной при раннем скашивании на корм скоту, осушенных, но не используемых в сельскохозяйственном производстве участков, торфоразработок и участков, покрытых древесно-кустарниковой растительностью.

Основной дешифровочный признак болот — текстура изображения. Она в зависимости от типа болот, их закустаренности (заселенности), проходимости и других характеристик очень разнообразна и неоднородна. Но в большинстве случаев она достаточно специфична. Косвенные признаки болот: приуроченность к обширным плоскогоризонтальным участкам местности, отсутствие следов сельскохозяйственной обработки, наличие просеянных и полевых объездных дорог, а также наличие торфоразработок и др.

Состав растительного покрова болот в камеральных условиях распознается неуверенно.

Дешифрируют земли, не используемые в сельскохозяйственном производстве: пески, галечники, каменистые россыпи, выходы коренных пород, такыры, солончаки, участки, загрязненные и занятые отходами промышленного производства, места добычи полезных ископаемых, участки с нарушенным почвенным слоем и др.

Многие из перечисленных объектов имеют специфические прямые признаки (тон, текстура) и косвенные (определенная территориальная приуроченность, природно-климатическая обусловленность и т. п.). Достоверность камерального опознавания некоторых из этих объектов недостаточна.

Из естественных форм рельефа дешифрируют: сухие русла, овраги и промоины, обрывы, осыпи, скалы, оползни, карстовые воронки, линии резкого изменения крутизны задернованных склонов, бровки балок и др. Показывают также искусственные элементы рельефа: валы, дамбы, участки террасированных склонов, изрытые места, курганы и ямы, если их диаметр и высота (глубина) более 1 м.

Большинство указанных элементов выявляют и опознают с помощью стереоскопического эффекта. Топографические элементы местности показывают без их количественных характеристик (эксплуатационных характеристик мостов, численных параметров леса, глубин бродов и др.).

### **■ 13.4. Дешифрирование снимков населенных пунктов для целей кадастра и инвентаризации объектов недвижимости**

Результаты, получаемые в процессе дешифрирования снимков, используют для создания планов состояния и использования земель, информационных земельно-кадастровых баз данных и геоинформационных систем (ГИС). Планово-карографические материалы и информационные базы данных, хранящиеся на бумажной основе или на электронных носителях, являются основой для ведения Государственного земельного кадастра. Содержащиеся в них сведения используют при регистрации прав собственности, организации постоянного контроля за использованием земель, налогообложении и т. п. Наибольшее внимание уделяют территориям городов, поселков городского типа и сельским населенным пунктам.

При выполнении работ по дешифрированию руководствуются инструкциями и наставлениями, принятыми в производстве, а также техническим заданием, определяющим требования к содержанию и объему получаемой информации.

Дешифрирование выполняют полевым или комбинированным способом на увеличенных фотоизображениях. Масштаб увеличенных снимков (или их фрагментов) соответствует масштабу создаваемого кадастрового плана. Для сельских населенных пунктов используют масштаб 1:1000 – 1:2000, для городов — 1:500 – 1:1000.

В границах сельских населенных пунктов и городов подлежат дешифрированию следующие земельные участки:

- жилой застройки (земли под многоэтажными строениями и земли между ними, функционально связанные и закрепленные за зданиями и сооружениями, а также территории для их технологического обслуживания);
- общественной застройки (земли под учреждениями образования, науки, здравоохранения, культуры, искусства, общественного питания, торговли, гаражами и др.);
- общественного пользования (улицы, площади, проспекты, дороги, проезды, переулки, парки, лесопарки, бульвары, скверы, набережные, пляжи и др.);
- под промышленной, коммунальной и складской застройкой;
- транспорта, связи, инженерных коммуникаций (железные и автомобильные дороги, речной транспорт; земли под трубопроводами, линиями электропередачи, под сооружениями радиовещания и телевидения и т. д.);
- природно-заповедного, природоохранного, оздоровительно-го, рекреационного и историко-культурного назначения;
- водного фонда (занятые водными объектами: реками, озерами, водохранилищами, водоохранными зонами, гидротехническими и водохозяйственными сооружениями и другими водными объектами);

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

- сельскохозяйственного назначения (сельскохозяйственные угодья, земли акционерных и фермерских хозяйств, колхозов, муниципальных и подсобных хозяйств, земли под коллективными садами и огородами и т. п.);
  - запаса;
  - военных объектов, режимных зон и иные земли;
  - прочие земли (карьеры, копаные места, каменистые территории и т. п.).

Классификатор объектов может быть расширен или уменьшен в зависимости от поставленной задачи.

*Подготовительные работы* при дешифрировании снимков. Дешифрирование снимков для целей кадастра и инвентаризации земель имеет свои отличительные особенности, обусловленные спецификой определяемой информации. Поэтому подготовительные работы — наиболее ответственный этап в технологическом комплексе работ. Просчеты, допущенные на этом этапе, могут привести к увеличению материальных и трудовых затрат, сроков выполнения работ и в итоге к увеличению стоимости конечной продукции. На подготовительном этапе выполняют следующие виды работ:

- подбирают увеличенные снимки или их фрагменты на участки изучаемой территории;
- отграничивают рабочие площади на снимках, подлежащих дешифрированию;
- подбирают топографические материалы на участки работ: топографические планы (фотопланы) крупных масштабов 1 м = 1:500 – 1:5000, топографические карты масштаба 1:10 000, 1:25 000 и мельче, копии районных карт масштаба 1:50 000 с нанесенными кадастровыми номерами, специальные карты и планы (почвенные, геоботанические, лесные и т. п.);
- получают копии генеральных планов и другой градостроительной документации, перспективные планы развития и правила застройки городов и поселений;
- собирают материалы (копии) предыдущих инвентаризаций, документы и материалы по отводу земельных участков, выносу в наружу, установлению и восстановлению границ землевладений, землепользований и поселений;
- получают материалы обследований индивидуальных земельных участков и построек, выполненных бюро технической инвентаризации (БТИ), и материалы исполнительской съемки, в которых отражены сведения о землевладельцах, землепользователях;
- получают сведения о наличии зон ограничения и обременения по данным организаций, в ведении которых находятся линии электропередачи, связи, трубопроводы, коммунальные сети и т. п.;
- составляют списки землепользователей (физических и юридических лиц);

## **ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА...**

- собирают на каждое поселение сведения о распределении земель по целевому назначению, оформляют в виде таблиц и заверяют подписью и печатью районной землеустроительной службы и местной администрации;
- проводят по данным районной землеустроительной службы разделение объекта на кадастровые зоны, массивы и кварталы;
- согласуют существующие и проектные границы поселений в архитектурно-планировочных управлениях (отделах).

Технология дешифрирования снимков при кадастровых работах и инвентаризации земель состоит из двух этапов: камеральной подготовки и полевого обследования территории. На первом этапе, используя материалы подготовки, дешифрируют все объекты, подлежащие отображению на базовом плане. При этом наносят границы тех объектов, дешифрирование которых не вызывает сомнения, а также границы поселений, кадастровых зон, массивов, кварталов. На втором полевом этапе опознают объекты, достоверность дешифрирования которых в камеральных условиях была низкой, а также обследуют все камеральные дешифрированные объекты. Выполняют досъемку неизобразившихся объектов. Комбинированный способ позволяет уменьшить объемы чертежных работ в полевых условиях, сократить время полевых работ при одновременном повышении достоверности, полноты и точности результатов дешифрирования. Полевой этап дешифрирования выполняют опытные специалисты с участием представителей местных администраций или кадастровых управлений.

На увеличенных снимках (фрагментах) по согласованным на этапе подготовке материалам накалывают и обозначают поворотные точки границ населенных пунктов и границ кадастровых зон, массивов, кварталов. Их нанесение уточняют в полевых условиях в присутствии представителя местной администрации. В случае согласованного изменения границы ее новое положение вычерчивают сплошной линией (красного цвета), а старую границу аккуратно зачеркивают и делают пояснительную запись в журнале полевого дешифрирования. Достоверность установления и нанесения границ подтверждают на каждом дешифрированном снимке (фрагменте) подписями представителей администрации или главного архитектора района (города).

Дешифрирование границ землевладений, землепользований — ответственная, сложная и юридически значимая часть полевых работ. Положение поворотных точек и межевых знаков границ участков определяют в натуре и опознают (или уточняют) на снимках совместно с представителем местной администрации и желательно в присутствии землевладельца, землепользователя. При этом определяют и наносят на снимки границы участков по их фактическому использованию. Непосредственно опознаваемые поворотные точки наносят на увеличенные снимки с точностью 0,1 мм. Если поворотные точки не изобрази-

### **ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

лись на снимке или плохо распознаются, то для их нанесения выполняют линейные промеры от ближайших трех четких контурных точек. Результаты измерений и абрис заносят в журнал полевого дешифрирования. Чтобы перенести результаты измерений на снимок, определяют масштаб в данной зоне снимка (частный масштаб зоны).

В технологиях компьютерной обработки снимков при кадастровых съемках и инвентаризации земель применяют два способа нанесения неизобразившихся объектов по результатам полевых измерений. В первом способе объекты наносят на изображение, выведенное на монитор компьютера, после фотограмметрических преобразований снимков. Во втором случае преобразованные снимки печатают на принтере или плоттере. Получают одномасштабные изображения на бумажной основе, а далее по результатам досъемки неизобразившиеся объекты наносят в полевых условиях.

В границах земельных участков показывают жилые дома и капитальные строения. При этом должно выполняться условие — положение здания и сооружения определяется по его основанию (цоколю). В зависимости от вариантов изображения построек применяют различные приемы их нанесения на крупномасштабных снимках.

При наличии внутри землевладения участка, принадлежащего другому землевладельцу, определяют и согласовывают границы каждого с выделением земель общего пользования (проезды, проходы, земли технологического назначения и т. п.).

В присутствии землевладельца заполняют декларацию о факте использования земельного участка физическим или юридическим лицом. В декларации записывают:

- анкетные данные;
- адрес и кадастровый номер;
- юридические документы, указывающие на право владения земельным участком;
- вид собственности на землю и ее целевое назначение;
- площадь участка по документам, вычерчивают схему участка и т. п. Декларацию подписывает землевладелец, утверждает глава администрации, а информацию, занесенную в нее, используют в дальнейшем при создании кадастровых баз данных.

В случае выявления спорных границ в полевом журнале и в акте согласования границ отмечают суть заявленного спора, а сами границы показывают пунктирной линией со слов землевладельцев.

Для повышения точности кадастровых планов и результатов инвентаризации земель, выполняемых по увеличенным снимкам, в состав работ по дешифрированию включают линейные промеры. Их делают вдоль фасадных линий земельных участков, между поворотными точками границ землевладений, землепользований, а также обмеряют капитальные здания и сооружения. Линейные измерения выполняют с точностью 0,1 м.

## **ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА...**

*Дешифрирование линейных объектов (улиц, проездов, автомобильных и железных дорог, различных трубопроводов, линий электропередачи и связи) имеет свои особенности. Большинство линейных объектов имеют полосы отчуждения (отвода) или охранные зоны, которые подлежат дешифрированию и обозначению соответствующим условным знаком. Объекты, расположенные в охранных зонах, дешифрируют в обязательном порядке, а находящиеся в полосах отвода — по дополнительным требованиям.*

При дешифрировании улиц выделяют:

- проезжую часть по линии бордюрного камня, по ширине твердого покрытия или по факту использования;
- тротуары, располагающиеся между фасадной линией и проездной частью улицы;
- газоны, находящиеся между проездной частью улицы и тротуаром;
- канавы.

В границах населенных пунктов дешифрируют шоссе, бульвары, проспекты, проезды, тупики, включая сооружения на них (например, остановки общественного транспорта, трансформаторные подстанции и т. п.). При наличии в поселениях названий улиц, площадей, бульваров, нумерации построек их наносят на дешифрируемый материал.

Профицированные дороги (шоссе, автострады) дешифрируют по ширине твердого покрытия с указанием его типа и ширины полосы отвода. Дешифрированию подлежат находящиеся на них сооружения.

Грунтовые дороги дешифрируют за пределами застроенной территории.

Железные дороги дешифрируют в границах полосы отвода.

Границы полосы отвода и охранной зоны определяют на основании правоустанавливающих документов или по материалам земельного отвода.

Садовые некомерческие товарищества, земли, предоставленные жителям поселения во временное пользование, земли под застройкой гаражами, сарайами и т. п. дешифрируют одним общим контуром с указанием кадастрового номера.

В границах населенных пунктов дешифрируют по дополнительным требованиям выходы подземных инженерных коммуникаций (смотровые колодцы, выходы подземных переходов, трубопроводов), наземные инженерные коммуникации и сооружения на них.

Качество дешифрирования определяют полевым контролем и при окончательной приемке работ. Для этого проверяют 15 – 30 % объема выполненных работ. Контролируют точность нанесения границ объектов, для чего выборочно промеряют между поворотными точками границы землевладений, определяют достоверность и полноту семантической информации о землевладельцах, землепользователях.

## **ТЕСТЫ К ЧАСТИ III**

По результатам дешифрирования формируют «Дело по дешифрированию», в которое входят дешифрированные увеличенные аэрофотоснимки (фрагменты), фотопланы или ортофотопланы; журналы полевого обследования, декларация о факте использования земель физическими или юридическими лицами, акты полевого контроля.

### **Контрольные вопросы**

1. В каких случаях при досьемке используют линейные или угловые измерения?
2. Зачем при дешифрировании производят отграничение рабочих площадей?
3. С какой целью выполняют сводку результатов дешифрирования?
4. Какие этапы контроля производят при дешифрировании?
5. В чем заключается особенность дешифрирования границ населенных пунктов?
6. В чем заключается особенность дешифрирования границ землепользований и землевладений?

### **Тесты к части III**

1. Дешифрирование — процесс получения по материалам АКС
  - а) пространственного положения объектов;
  - б) точных геометрических форм объектов;
  - в) семантической информации.
2. Преимущество увеличенных изображений
  - а) увеличение площади дешифрируемого объекта;
  - б) увеличение числа дешифрируемых объектов;
  - в) повышение точности дешифрирования границ объектов и угодий.
3. Машинно-визуальный метод дешифрирования —
  - а) с использованием автомобиля;
  - б) с применением технических средств преобразования исходных изображений;
  - в) с использованием оптических увеличительных средств.
4. Цветное изображение увеличивает дешифрируемость материалов АКС, предназначенных для
  - а) создания топографических планов;
  - б) выявления различных природных аномалий;
  - в) создания тематических планов.

### **ТЕСТЫ К ЧАСТИ III**

---

5. Тон — функция характеристик объекта
  - а) геометрических;
  - б) оптических;
  - в) оптических и геометрических.
6. Текстура изображения зависит от
  - а) положения изображения объекта на снимке, высоты и азимута солнца;
  - б) геометрических и оптических характеристик объекта;
  - в) не зависит от перечисленных факторов;
  - г) зависит от перечисленных факторов.
7. Какова точность нанесения границ неизобразившихся объектов (точность досъемки)?
  - а) 1,5 мм в масштабе создаваемого плана;
  - б) 0,1 мм в масштабе создаваемого плана;
  - в) 0,3 мм между двумя определениями от четких контуров.
8. Минимальная площадь мелиорированной пашни, подлежащая дешифрированию (в 1:10000 масштабе создаваемого кадастрового плана)
  - а) 10  $\text{мм}^2$ ;
  - б) 5  $\text{мм}^2$ ;
  - в) 2  $\text{мм}^2$ .
9. Чем вызвана геометрическая тень на изображении («мертвые» зоны)?
  - а) оптическими свойствами атмосферы;
  - б) высотой объекта и его положением на снимке;
  - в) разрешающей способностью изображения.
10. Изменится ли дешифруемость границ объектов при изменении контраста изображения?
  - а) не изменится;
  - б) изменится;
  - в) изменится незначительно.
11. На каких этапах дешифрирования производят контроль результатов?
  - а) после выполнения 10 – 15 % объема выполненных работ;
  - б) на этапе приемки-сдачи материалов дешифрирования;
  - в) на всех этапах технологии дешифрирования.
12. Что представляют собой снимки-эталоны при дешифрировании?
  - а) снимки определенного формата;
  - б) снимки, дешифрированные в соответствии с условными знаками;
  - в) снимки, на которых дешифрированы типичные объекты местности.



ЧАСТЬ IV  
ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ  
АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК  
В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ



Задачи, решаемые с помощью материалов АКС для целей землеустройства, кадастра недвижимости, экологии и мониторинга территорий, можно классифицировать следующим образом.

1. Создание фотограмметрическими методами цифровых моделей местности, используемых в качестве первого информационного слоя в геоинформационных системах (ГИС). Цифровая модель местности является базовым слоем, из которого с помощью программных средств выделяются слои определенного тематического содержания, например слой рельефа, дорожной сети, жилой застройки, сельскохозяйственных угодий, водных объектов, общественных построек и т. д. Цифровая модель и тематические слои позволяют привязать в геодезическом пространстве смысловые и статистические сведения об объектах местности, хранящиеся в информационной базе данных.

2. Создание базовых планов состояния и использования земель. Базовые планы и карты составляются на территории населенных пунктов, городов, районов, а также на регионы. Масштаб создаваемых планов зависит от требуемой точности метрических данных и информационной нагрузки, необходимой при решении поставленной задачи. Базовый планово-картографический материал отражает специфику природных особенностей и хозяйственного развития изучаемых территорий. Тематические планы создаются для более детального отображения специальной информации. Подобные планы составляют в возможно короткий срок и на них показывают современное состояние компонентов природно-ресурсного и социально-экономического комплексов. Их называют оперативными или дежурными планами (картами).

Базовые и тематические планы служат для:

- межевания, инвентаризации и кадастровой оценки земель различного назначения;
- оценки эффективности использования земель сельскохозяйственного профиля, городских территорий и других направлений;
- обеспечения земельно-кадастровой информацией;
- проектирования перспективного развития территорий населенных пунктов, городов, промышленных зон и т. п.;
- выполнения проектно-изыскательских работ при проектировании инженерных коммуникаций. Для подобных целей также используются первичные модели. На аэрофотоснимках, фотосхемах

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

и ортофотопланах могут быть нанесены проектные направления трубопроводов, линий электропередачи и других линейных объектов;

- реконструкции и развития дорожной сети;
- выявления и оценки состояния подземных коммуникаций, трубопроводов, линий электропередачи, зон подтопления и т. п. При этом информацию получают по материалам нефотографических съемок (тепловых, радиолокационных, лазерных);
- информационного обеспечения планирования и управления земельными ресурсами;
- решения экономических и правовых вопросов, связанных с обеспечением межведомственного взаимодействия при формировании объектов недвижимости, регистрации прав на них и получения сведений об их использовании и состоянии;
- информационной поддержки рынка земли и недвижимости и др.

3. Выполнение государственного мониторинга земель. Мониторинг и прогнозирование экологических изменений земель.

Материалы космических съемок нашли широкое применение в различных областях хозяйственной деятельности человека. Космические снимки позволяют получать многообразную информацию о состоянии объектов и явлений на поверхности Земли.

Широкое применение космических снимков определяется существенными достоинствами способа их получения:

- возможность выполнения космических съемок любого района Земли;
- изображение на снимке территории, соответствующей нескольким сотням или тысячам квадратных километров, что позволяет проводить анализ интегральной информации и выявлять закономерности изучаемого явления на обширных пространствах;
- большой захват снимаемой территории при значительных скоростях полета летательного аппарата позволяет произвести съемку всей земной поверхности в течение короткого промежутка времени. Для некоторых спутниковых съемочных систем в течение суток;
- периодичность космической съемки. На один и тот же участок поверхности Земли могут быть последовательно получены изображения с большим или меньшим временным интервалом;
- экономическая эффективность. Стоимость космической съемки единицы площади значительно меньше по сравнению с аэрофотосъемкой.

Метрические и изобразительные свойства космических снимков, определяемые характеристиками съемочных систем и спецификой производства космической съемки, позволяют решать следующие задачи:

- глобальные изучения поверхности Земли: исследования Мирового океана, изучение береговых линий морей, создание модели рельефа, определение формы и размеров Земли и т. п.;

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДСТРАХ**

- изучение природных ресурсов Земли, особенно в труднодоступных районах;
- создание по космическим снимкам мелкомасштабных ( $1:m = 1:10\,000 - 1:25\,000$  и мельче) топографических и тематических карт, а также базовых планов и карт использования земель;
- изучение экологических последствий деятельности человека и природных явлений: загрязнений при освоении нефтяных и газовых залежей, загрязнений почвы, водных поверхностей и воздушной среды городов и прилегающих к ним территорий, территорий промышленных комплексов, последствий землетрясений и т. п.;
- установление границ крупных административно-территориальных образований (районов, областей, городов, округов, краев, республик, государств);
- учет и инвентаризация земель крупных административно-территориальных образований;
- проведение мониторинга границ перечисленных образований;
- оптимизация территориальных условий для формирования и совершенствования рациональной системы землевладений и землепользований в границах района, области, края;
- разработка мероприятий по улучшению и восстановлению земель с учетом совокупного влияния комплексных факторов, действующих на больших территориях;
- выявление резервов и создание специальных фондов земель;
- определение границ и качественной оценки земель труднодоступных районов тундры, пастбищ и т. п.;
- организация больших по площади территорий: районов, областей, городов и больших населенных пунктов;
- получение оперативной информации (экспресс-информации) о быстропротекающих процессах и явлениях, например, выявление очагов возгорания лесов и динамики распространения пожаров, определение зон затопления при разливе рек, отслеживание движения масс саранчи и поражений посевов и т. п.

Совершенствование съемочных систем, технологий обработки получаемых изображений на основе развития компьютерной техники и программного обеспечения позволяет значительно расширить круг решаемых задач для целей рационального использования земельных ресурсов.

## **Глава 14. Мониторинг недвижимости дистанционными методами**

### **■ 14.1. Характеристика подсистем мониторинга объектов недвижимости**

---

Цели изучения:

- знать характеристики и методологию мониторинга недвижимости дистанционными методами, методику автоматизированного выявления изменений по разновременным изображениям;
- знать особенности применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга недвижимости.

Система мониторинга недвижимости в общем виде состоит из наземной, авиационной и космической подсистем. При мониторинге недвижимости каждая из подсистем обеспечивает получение определенной информации, соответствующей тематике, геометрической и смысловой точности. Комплексные задачи могут решаться при использовании комбинаций соответствующих подсистем.

*Космическая подсистема* используется для федерального регионального мониторинга земель на территориях площадью тысяча и более квадратных километров. Подсистема состоит из:

- космических летательных аппаратов;
- бортовой аппаратуры дистанционного зондирования;
- средств передачи информации, получаемой при дистанционном зондировании;
- средств приема, регистрации и хранения информации на специальных пунктах, расположенных на Земле;
- технических и программных средств отраслевой и межотраслевой обработки получаемой информации.

В космической подсистеме используются КЛА, съемочные и технические средства, разрабатываемые специально для решения задач государственного мониторинга земель и экологического мониторинга территорий. Также могут использоваться спутники и бортовая аппаратура, принадлежащие различным другим ведомствам. Для обеспечения комплексного многоцелевого мониторинга земель на борту космического аппарата устанавливаются несколько съемочных систем, работающих в различных спектральных зонах: фотоаппаратура, многозональные сканеры, радиолокаторы и др.

Для реализации космического мониторинга земель разрабатывается комплексный план космических съемок, включающий следующие сведения: тип используемого космического летательного

## **ГЛАВА 14. МОНИТОРИНГ НЕДВИЖИМОСТИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

аппарата; типы съемочных систем; требуемая периодичность съемок; объекты съемки с указанием географических координат границ. План космических съемок формируется на основе заявок, поступающих от фирм и организаций, осуществляющих мониторинг земель.

*Авиационная подсистема* используется для проведения мониторинга на региональном и локальном уровнях.

Съемки проводятся с высотных (тяжелых), средневысотных и низколетающих (легких) воздушных аппаратов.

Высотные летательные аппараты: АН-30, ИЛ-20 и другие средства применяются при съемке достаточно больших площадей. Они оборудованы комплексами автоматического самолетовождения, использующими для навигации данные GPS-аппаратуры. Самолеты подобного класса представляют собой летающие лаборатории, на которые устанавливается комплекс различной аппаратуры дистанционного зондирования.

Например, с самолета АН-30 выполняют съемку:

- многозональной сканерной системой, обеспечивающей получение информации в цифровом виде в нескольких спектральных зонах (в том числе и тепловом интервале);
- радиолокационной станцией бокового обзора «Нить-С1СХ» — длина волны радиоизлучения 3 см, полоса обзора земной поверхности с высот съемки 3,5 и 6,5 км соответственно 15 и 37,5 км, масштабы радиолокационных изображений 1: M = 1:100 000 – 500 000;
- аэрофотоаппаратами типа ТАФА-10, МРБ, РС-30 и другими;
- лазерными съемочными системами.

Средневысотные самолеты АН-2, АН-28, ВСХС и другие используются для проведения аэрофотосъемки, аэровизуальных наблюдений, съемок с использованием видеоаппаратуры.

Низколетающие летательные аппараты используются для проведения локального мониторинга земель. В настоящее время широко применяются мотодельтопланы и беспилотные дистанционно управляемые летательные аппараты (БПЛА). Например, на малом дистанционно управляемом летательном аппарате (МБПЛА) устанавливаются съемочные системы для регистрации пассивного излучения в спектральном интервале (0,5 – 14 мкм). Также проводится аэрофотографирование в крупных масштабах малыми аэрофотоаппаратами типа АФА-39 или цифровыми профессиональными камерами. Управление полетом и съемкой выполняется на высоте до 3000 м и крейсерской скорости ЛА до 70 – 110 км/ч. Навигация обеспечивается установкой на ЛА компактных спутниковых систем позиционирования.

*Подсистема наземных наблюдений* предназначена для сбора наземной информации, обеспечивающей систему мониторинга земель. Функции данной подсистемы заключаются в следующем:

- калибровка технических средств дистанционного зондирования, учет влияний атмосферы, географическая (геодезическая) при-

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

вязка материалов аэро- и космических съемок, организация пунктов первичной обработки данных, подготовка экспресс-информации;

— определение основных показателей и характеристик категорий земель, сбор информации о состоянии земель для решения тематических задач;

— обеспечение дистанционного мониторинга земель опорной информацией для организации баз данных. Данную информацию используют при обучении интерпретационных систем (автоматизированный метод дешифрирования);

— выполнение оценки дешифрирования материалов аэро- и космических съемок.

Сбор наземной информации производится непосредственно на объекте изучения (полевой способ) или в лабораторных условиях (камеральный способ). Состав показателей и методики наземных наблюдений основаны на специфике объектов мониторинга и предусматривают информационное обеспечение органов земельного кадастра и управления земельными ресурсами. Показатели определяются с учетом дальнейшей обработки материалов дистанционного зондирования и содержания необходимых тематических сведений для земельно-кадастровой службы.

Наземные наблюдения проводятся на тестовых участках, соответственно локального, регионального и федерального значения. Основным критерием выбора тестового участка (полигона) является представительность (репрезентативность) объектов, гарантирующая достоверность получаемой информации. Тестовые участки выбираются на основании изучения многолетних статистических данных: климатических показателей, категорий земель и состояний земельного фонда, наличия и интенсивности эрозии, заболачивания, засоления, загрязнения почв, размещения транспортных и промышленных предприятий, состояния водных объектов и т. п. Район, располагающий группой представительных тестовых участков, определяется как базовый.

#### **■ 14.2. Общие вопросы технологии мониторинга недвижимости дистанционными методами**

Методика мониторинга земель может быть представлена в виде определенных последовательных действий отвечающих смыслу понятия «мониторинг» — периодическое, с некоторым временным интервалом, получение информации об изучаемом объекте или явлении, анализе и прогнозировании его развития. Полученные данные учитывают при разработке управленческих и технических мероприятий.

## **ГЛАВА 14. МОНИТОРИНГ НЕДВИЖИМОСТИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

Проведение мониторинга земель включает несколько укрупненных процессов, обеспечивающих получение необходимой информации: разработка общей стратегии исследования; сбор фондового материала; выбор программного и технического комплекса; получение периодических материалов дистанционного зондирования; сравнение, анализ и прогнозирование изучаемых объектов и явлений.

Разработка общей стратегии исследования является *подготовительным этапом* мониторинга земель. На район изучения производится подбор всех фондовых материалов, включая, материалы аэро- и космических съемок прошлых лет, планово-картографический материал, результаты различных обследований территории, статистический материал и т. п. На основе анализа фондовых данных выявляется динамика изменений объекта исследования, что позволяет определить оптимальную периодичность проведения съемок. Иерархический уровень мониторинга (федеральный, региональный или локальный) предъявляет требования к точности и генерализации конечной информации. Определяется способ дистанционного зондирования (наземный, авиационный или космический) и тип съемочной аппаратуры.

Задачи, решаемые при мониторинге земель, относятся к разряду создания различных тематических информационных слоев, т. е. созданию информационной земельно-кадастровой базы данных. Эффективность процедур работы с огромным количеством получаемой информации, доступность этой информации, возможность ее визуализации, обмена внутри базы и экспорта-импорта в другие информационные системы и т. п. определяет выбор конкретной, используемой при данном мониторинге геоинформационной системы.

*Производство* наземных, аэро- или космических съемок является наиболее важным этапом мониторинга земель. Съемки производятся в определенные на подготовительном этапе периоды времени. Космические съемки выполняются на основании заявок, в которых помимо дат съемок указывается тип используемой аппаратуры, спектральная зона съемки, формат представляемых результатов и т. п. Наземные и воздушные съемки проводят специализированные фирмы и предприятия, в соответствии с разработанными техническими заданиями в целях мониторинга земель.

Материалы аэро- и космических съемок в основном представляют собой двумерные изображения, полученные фотографическими и нефотографическими съемочными системами. Изображения подвергаются фотограмметрической обработке и дешифрированию с целью получения топографических и тематических планов, карт заданных масштабов, а также их электронных аналогов в ГИС в виде соответствующих геоинформационных слоев. Результаты определений характеристик земель, полученных специальной измерительной аппаратурой, наносятся на топографическую основу для про-

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

странственной привязки. По нанесенным данным выделяются границы распространения изучаемого параметра земель.

Используя фоновые материалы и материалы новых съемок, программными средствами ГИС производится сравнение разновременных данных. В результате их анализа выявляются изменения в положениях границ, площадей, качественного состава, использования и правового статуса категорий земель. Особо выделяются экологические изменения земель, вызванные техногенными процессами.

В таблице 14.1 приведена общая схема мониторинга земель по данным аэро- и космических съемок.

*Таблица 14.1*

##### **Основные операции и их содержание на различных этапах мониторинга земель**

Этапы технологической схемы мониторинга	Основные операции	Содержание операций
Подготовительный этап	Разработка основных технологических циклов	Оценка состояния и динамики изменения категорий земель. Выбор условий проведения съемок, типа и параметров съемочных систем
Проведение аэро- и космических, наземных съемок	Получение двух-, трехмерных изображений, результатов измерений	Первичная обработка результатов съемок
Наземное обеспечение дистанционного мониторинга	Выбор тестовых участков	Получение количественных характеристик категорий земель
Получение метрической и смысловой информации	Ввод растровых и векторных изображений, фотограмметрическая обработка, дешифрирование изображений	Трансформирование изображений в заданную проекцию, получение семантической информации
Сопоставление фоновых и новых данных	Сравнение растровых, векторных изображений и данных наземных наблюдений. Количественная оценка связи метрической информации и данных наземных наблюдений	Синтезирование разновременной информации. Выявление изменений метрических и качественных характеристик, правового положения земель. Статистический анализ взаимосвязи наземных и дистанционных данных
Формирование выходных данных и документов	Выход цифровых моделей местности, электронных ортофотопланов, геоинформационных слоев, текстовых, табличных и графических материалов; формирование базы данных	Хранение разновременной информации; тиражирование электронных и твердых копий

Экстраполяция полученных результатов позволяет прогнозировать динамику изучаемых процессов.

### ■ 14.3. Мониторинг изменений линейных и площадных объектов

Для выявления изменений линейных и площадных параметров объектов при мониторинге земель дистанционными методами используют снимки новой аэросъемки. Новые снимки сравниваются с базовыми материалами визуальным или автоматическим методами, в результате чего выявляют произошедшие изменения. В настоящее время метод автоматического сравнения базируется на применении технологий совмещения различных исходных материалов, представленных в цифровом виде. В практике используются следующие варианты совмещений разновременной информации.

Первый вариант — трансформирование изображения нового снимка в базовый снимок. Существуют разновидности данного варианта:

- совмещение изображений площадных объектов. Для увеличения геометрической точности совмещения двух изображений используют центральные части снимков, размер площади которых рассчитывают с учетом смещений точек изображения, вызванных углом наклона каждого снимка, их взаимным положением и рельефом;
- попиксельное совмещение элементов цифровых изображений. При этом используют различные алгоритмы геометрического совмещения изображений, классифицируемые на площадные и контурные. Выбор оптимального алгоритма зависит от параметров съемочной системы, условий съемки и требований к допустимой точности совмещения изображений.

Алгоритмы площадного совмещения просты в реализации, устойчивы к шумам изображений, при этом достигается субпиксельная точность совмещения. Методы, заложенные в алгоритмах попиксельных (контурных) совмещений, надежны при сложении материалов аэро- и космической съемки, имеющих существенные взаимные геометрические искажения.

Второй вариант — совмещение старого и нового планово-карографического материала. Предельное несовмещение определяется точностью отображения объектов на планах.

Третий вариант — совмещение старого плана с дешифрированным изображением нового снимка. При этом результаты дешифрирования должны быть представлены информационным слоем в векторной форме. Совмещение производят способом фотограмметрической вставки, при котором в качестве опорных точек для трансформирования используют идентичные точки на снимке и плане. Величина несовмещения на синтезированном материале зависит от точности геометрической информации (пространственного положения), представленной на исходных материалах.

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

При автоматической обработке изображений в целях государственного мониторинга земель изменения могут быть классифицированы следующим образом:

- выявление вновь появившихся или исчезнувших антропогенных и природных объектов на территории изучения;
- определение качественных изменений объекта в его существующих границах;
- определение геометрических (линейных и площадных) изменений объекта;
- изменение положения объекта в геодезическом пространстве.

Два последних пункта фактически связаны с выявлением изменений координат поворотных пунктов границ существующих объектов.

Особенностью выявления изменений при мониторинге земель является правовое подтверждение базовой и новой информации об объектах. Это означает, что информация на сравниваемых исходных и последующих материалах должна быть утверждена на этапе согласования границ с местной администрацией. Утверждению подлежат сведения, полученные в результате полевого обследования и камерального дешифрирования.

Процедура сравнения разновременной информации в компьютерных программах реализуется чаще всего в следующей последовательности. Исходному (базовому) материалу и новому трансформируемому изображению, представленным в растровой или векторной форме, присваиваются разные цветовые коды. Программными средствами осуществляется синтезирование двух изображений и представление на мониторе суммарной информации. По цвету изображенных объектов на синтезированном материале определяют вновь появившиеся или исчезнувшие объекты (рис. 14.1), изменения границ существующих объектов, а также изменения их качественных характеристик. Несовпадение границ выражается шириной цветной полосы. Цвет полосы указывает на динамику изменений границ объекта.

Достоверность выявления изменений главным образом определяют точностью нанесения границ при дешифрировании и точностью трансформирования.

При камеральном дешифрировании снимков на мониторе и переносе результатов полевого обследования осуществляют векторизацию изображений. Объекты, подлежащие дешифрированию, подразделяют по характеру локализации.

Под этим термином понимается способ представления положения объекта в координатном пространстве в зависимости от его размеров, формы и требований картографической генерализации. Выделяют точечные, линейные и площадные объекты.

*Точечный объект* — его положение описывают координатами одной точки; при необходимости указания его пространственной ориентации применяют пару точек.

## ГЛАВА 14. МОНИТОРИНГ НЕДВИЖИМОСТИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

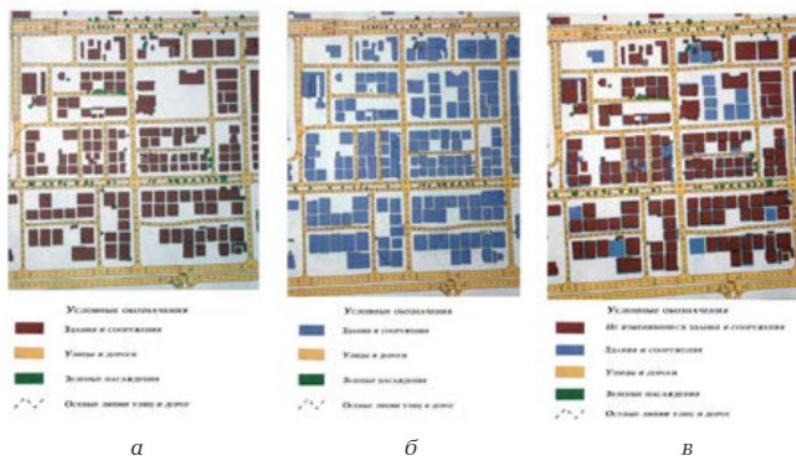


Рис. 14.1. Результат совмещения фрагментов карт, составленных по космическим снимкам 1998 (а) и 1999 (б) гг. На совмещенном материале (в) выявлены появившиеся объекты (показаны синим цветом)

**Линейный объект** — вытянутый по форме объект, положение и форма которого описывают координатами точек его осевой линии. Линейными принято считать объекты (или их детали) длина которых не менее чем в 7 раз больше ширины.

**Площадной объект** — объект, положение и форму которого представляют набором координат поворотных точек его границы.

При совмещении базовых и новых материалов выделяют три варианта изменений:

- смещение объекта — изменение пространственного положения объекта без изменения его площади и формы;
- изменение границ объекта без изменения площади;
- изменение площади объекта.

Для оценки изменения положения объектов используют погрешность положения точки в геодезическом пространстве  $m_{x,y}$ . Погрешность  $m_{x,y}$  зависит от точности измерения координат точек на снимке. На точность их измерения оказывают влияние многие факторы, в том числе контраст измеряемого объекта (точки) и минимальный размер элемента изображения. Результаты исследований показывают, что величина суммарной погрешности, включающая погрешности фотограмметрических преобразований, равняется 0,5–1 пикселью.

Данный вывод может быть положен в основу определения критерия изменения положения линейных или площадных объектов. Отличие координат поворотных точек, изображенных на двух совмещаемых материалах, приводит к появлению некоторой полосы на границе изображений одноименных контуров. Зная периметр  $P$  сравниваемого изображения объекта и погрешности определения

## **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

их границ, можно определить изменение площади, обусловленное методической погрешностью определения координат. Данную площадь можно считать допустимым изменением площади  $\Delta S_{gon}$ . В случае, когда разница в площади более  $\Delta S_{gon}$  принимается решение о факте изменения площади изучаемого объекта. При совмещении изображений появление полосы отличия показывает возможное изменение площади сравниваемых объектов.

### **■ 14.4. Применение беспилотных летательных аппаратов для получения цифровых моделей местности при мониторинге объектов ландшафта**

В параграфе 6.1 рассмотрены радиоуправляемые беспилотные летательные аппараты (БПЛА), используемые в качестве носителя съемочной аппаратуры. Рассмотрим особенности применения БПЛА при проведении локального мониторинга земель, выполнении работ по инвентаризации, кадастровой оценке земель населенных пунктов и для создания планово-картографического материала на небольшие участки местности.

Использование легко доставляемой к объекту съемки дистанционно управляемой авиамодели, оборудованной необходимой съемочной аппаратурой, позволяет оперативно выполнять аэрофотосъемочные работы даже при отсутствие устойчивых погодных условий, необходимых для выполнения традиционной АФС. Для применения БПЛА достаточно кратковременного «окна» хорошей погоды. Кроме этого, возможность съемки с малых высот позволяет ее проведение при низкой сплошной облачности.

В качестве съемочной аппаратуры используют полупрофессиональные или бытовые цифровые фотокамеры. При необходимости срочного обновления электронных карт, а также мониторинга изменений на небольших рассредоточенных в пространстве территориях применение БПЛА эффективнее по сравнению с использованием пилотируемых летательных аппаратов. Применение пилотируемой пусть даже и малой авиации приведет к значительным экономическим затратам.

Технология получения картографической информации по снимкам с БПЛА аналогична традиционной. Однако имеется ряд особенностей, обусловленных спецификой получения изображений. БПЛА предназначен для выполнения аэрофотосъемочных работ на локальных участках местности с высот 200 – 1000 м в радиусе 30 км и более от мобильного пункта управления. Управление полетом БПЛА осуществляют в ручном режиме пилотом-оператором, находящимся на наземном пункте управления. Положение БПЛА оценивают визу-

## **ГЛАВА 14. МОНИТОРИНГ НЕДВИЖИМОСТИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

ально на экране монитора, отображающего в реальном времени видеоизображение, транслируемое с борта БПЛА курсовой видеокамерой. На мониторе также представлены данные телеметрии (высота, скорость и состояние аккумуляторной батареи), а также положение БПЛА на цифровой карте местности.

Управление полетом осуществляют с портативной базовой станции, которая включает в себя: антеннную стойку; системы обеспечения, состоящие из зарядного устройства аккумуляторной батареи, планшетного компьютера, видеомонитора, комплекта кабелей.

БПЛА, как правило, выполняет полет по заложенной в бортовой комплекс управления программе с получением и передачей целевой информации по радиоканалу потребителям. Многофункциональный и интеллектуальный характер подобных технических комплексов предусматривает изменение программ полета в реальном времени. Наличие автопилота на БПЛА наряду со средствами дистанционного управления вне зоны визуальной и/или радиотехнической видимости отличает его от простой спортивной авиамодели.

Получаемые в результате выполнения комплекса работ ортофотопланы, цифровые модели рельефа и перспективные аэрофотоснимки позволяют решить широкий спектр картографических и геоинформационных задач: создание виртуальных моделей местности, составление топографических планов масштабов 1:500 – 1:5000, осуществление мониторинга земель и объектов ландшафта, разработка экологических карт и др.

Использование БПЛА эффективно при съемках линейных и малых по площади объектов, при инвентаризации земель городов и населенных пунктов (рис. 14.2, 14.3), городских территорий (рис. 14.4) получении оперативной информации при чрезвычайных ситуациях, определении объемов работ по рекультивации нарушенных земель, уточнении данных космического мониторинга территорий, контроле строительства крупных объектов и т. п.



*Рис. 14.2. Снимок, полученный с БПЛА*

#### ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ



Рис. 14.3. Топографический план, созданный по снимкам, полученным с БПЛА



Рис. 14.4. Фрагмент ортофотоизображения, полученного по снимкам с БПЛА

Существенными недостатками использования БПЛА в аэрофотосъемке являются:

- полученные с их помощью снимки имеют большие углы наклона, вызывающие появление «мертвых» зон на территориях с высотной застройкой, а также значительную разномасштабность снимков, затрудняющую их стереообработку;
- влияние вибраций, вызванных аэродинамическими характеристиками БПЛА и условиями полетов, снижают изобразительные свойства получаемых снимков;

## **ГЛАВА 14. МОНИТОРИНГ НЕДВИЖИМОСТИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

- значительные углы наклона снимков приводят к уменьшению продольных и поперечных перекрытий стереопар. В результате возникают затруднения при взаимном ориентировании снимков на этапе выбора связующих точек;
- тени, падающие от высотных строений изображающихся на снимках городских территорий, в значительной мере затрудняют нахождение фотограмметрических точек;
- на снимках наблюдаются значительные смещения изображений крыш (так называемые «завалы») многоэтажных зданий от точки надира, в результате чего образуются геометрические тени («мертвые» зоны). Данная особенность снимков определяет выбор рабочих областей на снимках для последующего исключения «мертвых» зон;
- различие масштабов в пределах снимка приводит к локальным нарушениям стереомодели, что затрудняет производство работ по созданию цифровых моделей рельефа. Это в свою очередь вызывает затруднения в процессе ортофототрансформирования снимков городских территорий. Данные особенности снимков с БПЛА учитывают при расчете параметров аэрофотосъемки.

### **■ 14.5. Технология полевого дешифрирования цифровых ортофотопланов с использованием компьютерных средств**

Дешифрирование ортофотопланов при локальном мониторинге земель и объектов ландшафта, при создании кадастровых планов является сложным, важным и практически неавтоматизированным процессом.

Как рассмотрено в части III, традиционная технология кадастрового дешифрирования имеет следующий вид.

1. Подготовительный этап.
2. Камеральное дешифрирование хорошо опознаваемых объектов.
3. Подготовка данных для полевого дешифрирования.
4. Полевое дешифрирование объектов, включающее досъемку неизобразившихся объектов.
5. Доставка материалов дешифрирования в камеральный отдел.
6. Перенос результатов дешифрирования на картографическую основу.

Использование для дешифрирования бумажных носителей изображения снижает точность, информативность результатов, экономическую эффективность. Это вызвано следующими факторами:

- точность отображения соответствует графической точности нанесения границ земельных участков;
- сложность (невозможность) нанесения условных знаков при их плотном расположении на изображении;

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

- неудобство внесения исправлений в процессе полевого обследования;
- значительный временной интервал доставки данных в камеральный отдел и обратно (при обнаружении ошибок ОТК);
- бумажные носители не являются надежным и удобным видом хранения информации при работе в полевых условиях (сложность работы с большим объемом бумажных ортофотопланов или снимков, влияние погодных условий и т. п.);
- при переносе результатов дешифрирования на картографическую основу возникает значительное количество операций.

С введением в производство цифровых фотограмметрических станций и геоинформационных систем традиционная технология создания картографических материалов претерпела ряд существенных изменений. Ортофотопланы получают в цифровом виде, карты составляют в геоинформационных системах (ГИС) по электронным классификаторам, все данные об объектах заносят в электронную базу данных. Практически весь процесс составления карт в современном картографическом производстве осуществляется в цифровом виде. Однако процесс полевого дешифрирования практически не изменился. Полевое дешифрирование традиционно производится на контактных снимках, увеличенных фрагментах снимков или ортофотопланах. Условные знаки наносятся вручную, пояснения записываются на бумажных носителях.

Увеличиваются затраты на отображение результатов досьемки на создаваемом планово-картиграфическом материале. При этом точность отображения соответствует графической точности 0,15 – 0,20 мм.

В связи с этим возникает задача устранения перечисленных недостатков и повышения эффективности процесса дешифрирования и досьемки.

**Современное техническое оснащение полевого дешифрирования.** Для регистрации результатов дешифрирования и досьемки при полевом дешифрировании используют портативный карманный персональный компьютер (КПК), навигационный GPS-приемник, электронный тахеометр, лазерный дальномер.

Возможность использования КПК для полевого дешифрирования основана на концепции их взаимодействия с настольными компьютерными системами.

Системы имеют высокую точность позиционирования, удобны в работе. GPS-приемник и антенна интегрированы в карманный ПК, что существенно упрощает использование всех GPS- и ГИС-приложений в полевых условиях (рис. 14.5). Линейка программных продуктов и опций построена таким образом, что можно выбрать наиболее подходящий вариант.

Компактные и мобильные системы позволяют в полевых условиях выполнять сбор или сопровождение данных существующей ГИС.



Рис. 14.5. Общий вид системы *GeoExplorer CE*

Мобильные ГИС используют в полевых топографических, кадастровых, мониторинговых работах и для любых других работ, где требуется оперативный доступ к ГИС-данным. Мобильные ГИС включают GPS-технологии, средства связи и ГИС-оболочку. Такие разработки позволяют упростить процесс обмена информацией при выполнении полевых работ с помощью мобильных средств связи и Интернета.

Мобильные ГИС предоставляют прямой доступ к базам данных для исполнителей, работающих в полевых условиях, в любой момент и независимо от их местонахождения. Использование подобных систем позволяет значительно упростить процесс ориентирования и навигации на местности, а также контролировать точность съемки объектов непосредственно во время выполнения работы. Это осуществляется с помощью функции отображения на экране текущего местоположения и фоновой карты, что особенно важно при работе по созданию данных для ГИС, при мониторинге инженерной инфраструктуры, кадастровой информации.

Системы обладают развитым интерфейсом для ввода и редактирования данных. В состав программного обеспечения, как правило, входит модуль расширения для создания символов, форм и проектов непосредственно в ГИС для последующего их использования в полевых условиях. Особенно следует подчеркнуть значимость форм, создаваемых средствами дизайнера диалогов. Формы и словари создаются на этапе подготовки и позволяют существенно сократить время ввода атрибутивных данных на этапе досъемки при полевом дешифрировании земельных участков и объектов ландшафта.

Существующие системы и программное обеспечение, применяемые в полевых работах по дешифрированию материалов АКС, позволяют следующее:

- решать задачи быстрого создания и актуализации пространственных данных при мониторинге земель и объектов ландшафта;
- использовать одинаковые форматы данных, что позволяет экономить время на процедурах экспорта-импорта. Небольшие габариты карманных компьютеров под управлением Windows CE имеют большое преимущество при съемке различных объектов ландшаф-

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

та, а возможность использования различных приемников значительно расширяет спектр применения систем;

– применять достаточный набор поддерживаемых GPS-приемников (метровой, субметровой и сантиметровой точности) для сбора и обновления цифровых пространственных данных. Существует возможность последующей их обработки для повышения точности позиционирования объектов ландшафта, исправления ошибок;

– экспортieren в различные форматы ГИС, значительно увеличивая возможные варианты использования систем.

**Полевое дешифрирование с использованием КПК.** Отображение объектов и границ в полевых условиях производят при помощи инструментария для черчения, входящего в программное обеспечение.

Объекты наносят в соответствии с классификатором. Выбор их условных обозначений осуществляют через поиск по наименованию. При этом небольшой экран КПК не вызывает затруднения при налесении границ изображений объектов. В результате достаточно быстрого и удобного масштабирования повышается точность наведения курсора на изображение поворотной точки границы дешифрируемого объекта.

При дешифрировании ортофотоплана границы объектов ландшафта отображают в два этапа:

– в полевых условиях границы объектов ландшафта или земельных участков наносят приближенно с точностью, определяющейся возможностью их выделения относительно соседних объектов;

– в камеральных условиях, используя возможности ПО: увеличение, изменение контраста изображения и др., на персональном компьютере производят уточнение положения поворотных точек границ.

Для фиксации семантической информации об объекте или уточнения сведений о его границах в КПК записывают голосовые комментарии.

Конечным результатом полевого дешифрирования являются векторные данные, нанесенные на ортофотоплан (рис.14.6).



*Рис. 14.6. Границы здания, отображаемые по данным геодезической досъемки*

## **ГЛАВА 14. МОНИТОРИНГ НЕДВИЖИМОСТИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

---

При полевом дешифрировании ортофотоплана с помощью ПО наносят условные знаки в целях создания базовой информации о расположении, виде и назначении объекта местности.

*При камеральной обработке полевых данных производят заполнение контуров условными знаками в полуавтоматическом режиме в соответствии с нормативными требованиями.*

### **Контрольные вопросы**

---

1. Что понимают под государственным мониторингом земель?
2. Какие задачи решают с помощью мониторинга земель дистанционными методами?
3. Из каких подсистем состоит система мониторинга земель дистанционными методами?
4. Какие функции выполняет подсистема наземных наблюдений при дистанционном мониторинге?
5. Перечислите основные этапы технологической схемы дистанционного мониторинга.
6. Как используют данные дистанционного мониторинга?
7. Каковы достоинства применения мобильных средств при полевом дешифрировании?
8. В чем заключена эффективность применения беспилотных летательных аппаратов при мониторинге недвижимости и создании картографического материала?

## **Глава 15. Экологический мониторинг земель**

Цели изучения:

- знать виды экологического мониторинга, методологические особенности экологического мониторинга дистанционными методами.

Экологический мониторинг является комплексной подсистемой мониторинга биосферы. Он включает системы повторных наблюдений, оценку и прогноз природных и антропогенных изменений окружающей среды, что позволяет достаточно надежно контролировать экологические условия среды обитания человека и других биологических объектов, а также функциональное состояние экосистем. Кроме того, создаются предпосылки для соответствующих корректирующих действий, если показатели экологических условий этого требуют.

Основная задача государственного экологического мониторинга — раннее обнаружение и предупреждение естественных или антропогенных изменений состояния окружающей природной среды.

Экологический мониторинг осуществляют в целях:

- наблюдения за состоянием окружающей среды, особенно в районах расположения источников антропогенного воздействия;
- оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов;
- обеспечения потребностей государства, юридических и физических лиц в достоверной информации о состоянии окружающей среды и ее изменениях, необходимой для предотвращения и (или) уменьшения неблагоприятных последствий таких изменений;
- обеспечения участия Российской Федерации в международных системах экологического мониторинга.

### **■ 15.1. Виды экологического мониторинга земель**

---

По технологии получения информации все мониторинговые исследования можно разделить на две большие группы: I — *методы наземных обследований*, II — *методы дистанционного зондирования*.

По временному интервалу поступающей информации мониторинг подразделяют на *периодический* и *оперативный*. Периодический мониторинг проводится для получения данных за определенный период (обычно раз в 1, 3, 5—15 лет). Периодичность получения информации обычно обусловливается скоростью протекания тех или иных негативных процессов и их опасностью для окружающей среды и человека.

Оперативный мониторинг проводят для получения данных на текущий момент. Чаще всего необходимость в проведении такого мониторинга появляется при возникновении чрезвычайных ситуа-

## **ГЛАВА 15. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ**

ций, интенсивном и широкомасштабном использовании природных ресурсов, быстро изменяющем состояние и облик ландшафтов (обустройство и начало разработки месторождений полезных ископаемых, лесные пожары и пр.).

В зависимости от пространственного уровня проведения мониторинга подразделяют: на биоэкологический (локальный), геоэкологический (региональный) и биосферный (глобальный).

Главная задача биоэкологического мониторинга земель — выявление реакции биосферы на антропогенные воздействия. Обычно его проводят на небольших территориях, в наибольшей степени подверженных тем или иным экологическим воздействиям.

Геоэкологический мониторинг позволяет выявлять изменения геосистем на региональном уровне, а также последствия преобразования их в природно-технические системы (агроэкосистемы, среду индустриальных районов, городскую среду и т. д.).

Биосферный мониторинг включает наблюдения за параметрами биосферы в глобальном масштабе и замыкает систему слежения за окружающей средой.

В зависимости от силы воздействия на окружающую среду, мониторинг подразделяют на **фоновый** и **импактный**.

Фоновый мониторинг земель предполагает слежение за состоянием компонентов природной среды (почв, растительности, водных объектов и пр.), не испытывающих непосредственного влияния техногенных факторов, и призван фиксировать относительно слабые сигналы глобального и регионального техногенного воздействия. Фоновый мониторинг чаще всего проводят на охраняемых территориях (заповедниках, заказниках и пр.), что позволяет оценивать косвенное влияние вмешательства человека в изменение состояния компонентов окружающей среды.

Импактный мониторинг ставит своей целью выявление, анализ и прогноз воздействия на земли непосредственного влияния различных антропогенных факторов.

При организации и проведении экологического мониторинга земель используют все перечисленные направления исследований.

Важная часть экологического мониторинга земель — этап обоснования и выбора тестовых участков (или ключевых полигонов). На тестовых участках проводят основной объем наблюдений. Обусловлено это тем, что детально изучать большие, особенно однородные, территории, испытывающие однотипные антропогенные (или природные) воздействия, неразумно и невыгодно экономически. Более обоснованным является детальное изучение природных условий, специфики функционирования компонентов ландшафта на небольшой части однородной территории.

По данным, полученным на тестовых участках, проводят экстраполяцию (перенесение) выявленных закономерностей на соседние

## **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

участки земель, подлежащих наблюдению. Тестовые участки и их число должны в наибольшей степени отражать все наиважнейшие свойства изучаемой территории. Работа на тестовых участках — обязательный этап как при наземных, так и при дистанционных исследованиях. Очевидно, что при использовании материалов аэро- и космических съемок число тестовых участков сокращается.

Данные, полученные на тестовых участках, будут удовлетворять по полноте и качеству поставленным задачам и могут быть без существенных корректировок экстраполированы на другие территории со сходным набором природных и антропогенных признаков. Выбор числа ключевых участков и их площади зависит от сложности ландшафтных условий, типа и интенсивности воздействия, масштаба картографических работ, используемых методов мониторинга.

В зависимости от благоприятных условий проведения полевого сбора интересующей информации, оптимальных сроков дистанционного зондирования, при которых наилучшим образом выявляются экологические изменения, устанавливают определенные сроки проведения аэро- и космических съемок, полевых обследований и наблюдений,

Например, геоботанические *обследования на землях оленевых пастищ* при ведении мониторинговых работ необходимо проводить со следующей периодичностью: I — для фоновых участков, в том числе на землях оленевых пастищ, — раз в 4–5 лет; II — в случае воздействия аэротехногенных выбросов промышленных предприятий — раз в 2–3 года; III — на территории освоения нефтегазовых месторождений — ежегодно.

### **■ 15.2. Методологические особенности экологического мониторинга земель дистанционными методами**

Дистанционные методы получения информации — основной способ наблюдения за экологическими изменениями состояния земель.

Физическая основа экологического мониторинга дистанционными методами заключается в том, что объекты (или их отдельные части) с изменившимися физическими и химическими свойствами имеют иные отражательные или излучательные способности. Поэтому на материалах аэро- и космических съемок объекты с измененными свойствами могут изображаться в виде ареалов иной оптической плотности или цвета.

Методология проведения экологического дистанционного мониторинга включает несколько этапов:

## ГЛАВА 15. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

- определяют время и условия наблюдений, при которых в наибольшей степени различаются отражательные или излучательные характеристики объекта и его аномальных изменений;
- выбирают тип съемочной системы, обеспечивающей наилучшую регистрацию исследуемых объектов;
- выполняют с помощью выбранной съемочной системы аэро- или космическую съемку в оптимальные сроки;
- выполняют фотограмметрическую и интерпретационную обработку полученных снимков;
- сравнивают с фондовыми данными, материалами полевых обследований тестовых участков;
- анализируют на основе полученных сведений динамику изучаемого процесса и прогнозируют его на будущее.

Далее данные мониторинга земель используют для разработки управленческих, организационных и технических решений. В случае выявления негативных процессов устраниют источники, их вызывающие, или минимизируют их проявление.

Индивидуальные особенности некоторых экологических процессов обусловливают специфические требования к проведению аэро- или космических съемок, при которых выявляемые изменения земель интерпретируются наилучшим образом.

Например, при использовании материалов аэро- и космических съемок для выявления механических нарушений ландшафтов или их загрязнений углеводородами, буровыми растворами, другими веществами, контрастно выделяющимися на ландшафте, предпочтительнее использовать весеннюю или осеннюю съемку. Для выявления площадей ландшафтов, загрязнение которых наилучшим образом определяется (индицируется) по состоянию растительности (тяжелые металлы, газовые выбросы, давние последствия углеводородного загрязнения и т. д.), лучше использовать съемку в середине или первой половине лета. При аэротехногенных воздействиях на земли первичные ареалы загрязнения необходимо выявлять по зимним снимкам, сделанным в середине или в конце зимы, в моменты наибольшего загрязнения снега.

Для сопоставления данных мониторинга их необходимо получать при возможно близких условиях наблюдения состояния объекта.

При изучении экологических изменений целесообразно и эффективно построение трехуровневого мониторинга, включающего одновременное использование данных наблюдений, зафиксированных в заданном временном интервале на земле, с воздуха и из космоса.

При проведении экологического мониторинга земель с использованием материалов аэро- и космических съемок необходимо получать и обрабатывать информацию обо всех компонентах природной и антропогенной среды (рис. 15.1).

#### ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ



Рис. 15.1. Компоненты природной и антропогенной среды в системе экологического мониторинга земель

Только в этом случае можно объективно судить о масштабах и причинах изменения состояния земель.

При загрязнении территорий практически всеми веществами: нефтью, после того как она впиталась в почву; тяжелыми металлами; диоксидом серы и т. д. — основным индикационным признаком становится растительность. Экологическая информативность наиболее полно изучена для растений и их реакций на те или иные виды или степени антропогенных воздействий.

Спектральные характеристики растений определяются в основном способностью листьев отражать, поглощать или пропускать солнечную энергию. В интервалах длин волн 0,7 – 1,3 мкм большая часть потока солнечной энергии отражается лиственным покровом. При ухудшении условий среды растения испытывают угнетение, выражающееся в различных формах: пожелтение (хлороз), увядание, т. е. обезвоживание. Как следствие происходит вырождение хлорофилла и заметное снижение поглощения излучения в голубой и красной зонах (0,4 – 0,5 и 0,6 – 0,75 мкм). На аэрофотоснимках, полученных в голубой и красной зонах спектра, угнетенная растительность оказывается более светлой, чем здоровые растения того же вида. Также отмечено, что в случае произрастания растительности на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, заметно возрастает ее отражательная способность в интервалах 0,63 – 0,69 и 1,55 – 1,75 мкм.

Экологические изменения почв и почвенного покрова (ПП) также возможно выявлять по материалам аэро- и космических съемок.

Наиболее резкие и, соответственно, хорошо отображаемые на материалах съемок нарушения ПП происходят в результате техногенных воздействий на земную поверхность. Они приводят или к полному нарушению отдельных участков почв, или к резкому изменению их свойств. Наиболее широко распространены следующие воздействия, приводящие к нарушению почвенного покрова, изменению его свойств, отображаемые на материалах аэро- и космических съемок:

## ГЛАВА 15. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

- открытые разработки полезных ископаемых;
- торфоразработки;
- выбросы нефти из буровых скважин и при прорыве трубопроводов;
- сооружение осушительных и оросительных каналов;
- орошение и осушение почв;
- строительство дорог;
- строительство поселков, городов, промышленных предприятий, ферм;
- рубка леса;
- лесные пожары;
- нарушение агроприемов при обработке и использовании пахотно-пригодных почв и др.

Примером возможностей применения дистанционного зондирования для экологического мониторинга земель может служить космический снимок территории Западной Сибири, в районе интенсивной добычи нефти и газа (рис. 15.2).

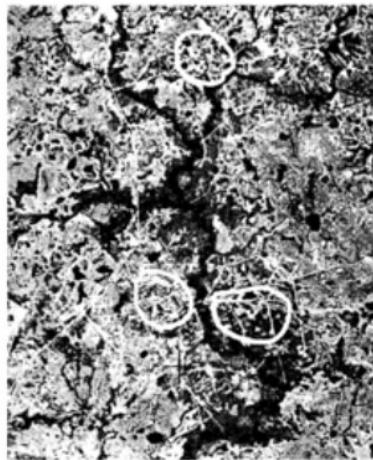


Рис. 15.2. Снимок территории интенсивной добычи нефти и газа  
(Западная Сибирь)

Содержащаяся на снимках информация позволяет проводить работы, входящие в систему экологического мониторинга:

- намечать тестовые участки (показаны на рис. 15.2). При этом в качестве дополнительной вспомогательной информации используют топографические основы близкого масштаба и ряд тематических карт: почвенные, растительности, геоморфологические и пр.;
- предварительно оценивать экологическую ситуацию на месте предстоящих работ;
- оценивать сложность наземных обследований и планировать виды работ на этом этапе;

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

- использовать как базу для создания ландшафтной и ландшафтно-экологических карт (после этапа наземных обследований);
- использовать в качестве фондовой при получении и обработке более поздних материалов.

При дистанционных методах экологического мониторинга, как правило, применяют комплекс аэро-геофизического оборудования для всестороннего изучения территорий. Результаты исследований используют для разработки рекомендаций по охране земель, водного и воздушного бассейнов.

Рассмотрим некоторые примеры использования материалов АКС при экологических исследованиях.

Использование аэро- и космических снимков при изучении процессов засоления почв — сложный и многофакторный процесс. При выявлении и исследовании динамики засоления, а также разработке методов по предотвращению этого явления требуется анализ происхождения ландшафта, истории его развития, взаимосвязи почв и форм рельефа на больших территориях. Аэро- и космические снимки используют для создания почвенных карт с указанием засоленных участков. Информацию о степени засоления можно получить способом полевого дешифрирования (обследования) или автоматизированным методом.

В первом случае на материалах АКС, используя в качестве основного признака тон изображения, наносят границы участков с различной засоленностью. При полевом обследовании уточняют границы, определенные камерально, и берут пробы почв. После лабораторных исследований почвенных проб на изготовленные фотограмметрическим методом карты наносят в пределах каждого участка условные знаки, указывающие степень их засоления.

При обработке в автоматизированном режиме используют программное обеспечение геоинформационных систем, позволяющее классифицировать цифровые изображения, передаваемые со спутников. Процедура выполняется в режиме классификации с использованием результатов обследования эталонных участков. На этапе обучения из базы данных выбираются репрезентативные участки с однородными спектральными характеристиками. На выбранные участки получают в полевых и лабораторных условиях сведения о степени засоленности. Затем создается классификатор засоленных участков: каждому уровню засоленности соответствует уровень оптической плотности (цвета). Для уменьшения помех при классификации проводится фотометрическая коррекция изображений. Степень засоленности всех иных участков, не входящих в разряд эталонных, определяется по изображению автоматически, в соответствии с разработанным классификатором. Оценивают точность классификации с помощью специальных матриц ошибок.

## **ГЛАВА 15. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ**

Получаемые тем или иным способом карты засоления участков являются базовыми для решения данной задачи. Регулярно передаваемые с космических летательных аппаратов разновременные изображения позволяют отслеживать прирост площадей, скорость и степень засоления. Изменения выявляют путем сопоставления новой информации с базовыми картами. Средствами программного обеспечения ГИС на основе полученных данных может осуществляться моделирование процесса засоления. Результаты анализа динамики засоления, экстраполяция этого явления способствуют разработке мероприятий для предотвращения деградации почв и восстановления их плодородия.

### **■ 15.3. Экологический мониторинг промышленных территорий**

Для изучения воздействия промышленных предприятий на природную среду используют аэро- и космические снимки. Известно губительное влияние промышленных выбросов производства на растительность, водную и воздушную среду. Зоны разрушения экосистем, так называемые техногенные пустоши, простираются на многие километры от современных гигантов промышленной индустрии — металлургических, химических и других комбинатов. Размеры воздействия вредных веществ таковы, что уничтожаются не только растительные сообщества, но разрушаются и почвенные покровы. По аэро- и космическим снимкам с достаточной точностью можно определить зоны распространения нарушений. Для этого используют многоzonальные съемочные системы. При компьютерной обработке нескольких зональных снимков техногенные пустоши выявляются с наибольшей вероятностью. Анализ разновременной информации позволяет прогнозировать динамику разрушения экосистем.

Для мониторинга районов добычи и транспортировки нефти проводят регулярную космическую съемку. Известно, что в районах интенсивного освоения нефтяных месторождений, а также на трассах нефтепроводов возникают выбросы и утечки нефти. Оперативное выявление и последующий мониторинг подобных нарушений, а также определение последствий их воздействия возможно по материалам, получаемым с КЛА в реальном или близреальном времени. Анализ материалов периодических космических съемок позволяет решать следующие задачи мониторинга районов добычи нефти:

- выявление загрязнения нефтепродуктами земель на территориях, окружающих буровые вышки, станции перекачки, а также на участках вокруг мест повреждения продуктопроводов; выявление изменений болотных массивов, цветения озер, вызванных длительным поступлением в них органических соединений;
- определение мест аварий и послеаварийного состояния территорий для оценки ущерба, разработки очистных и восстановительных работ;

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

- проведение зонирования территории по типам аварийной опасности, обусловленной эксплуатацией трубопроводов на различных участках;
- определение динамики изменений русла и пойм рек, отмелей в местах сооружений и эксплуатации инженерных коммуникаций;
- определение динамики мерзлотных и гидрофизических свойств грунтов в зоне трасс нефтепроводов и т. п.

#### **Контрольные вопросы**

---

1. Какие задачи решают при дистанционном экологическом мониторинге земель?
2. Какие особенности имеет методология дистанционного экологического мониторинга?
3. Каковы задачи мониторинга земель дистанционными методами?

## **Глава 16. Применение материалов дистанционного зондирования при организации и управлении территориями**

Цели изучения:

- знать возможности применения материалов аэро- и космической съемки для решения прикладных задач землеустройства, рекультивации нарушенных территорий, обновления картографического материала;
- знать о возможностях применения материалов дистанционного зондирования в создании геоинформационных систем, формировании 3D-изображений.

### **■ 16.1. Применение аэро- и космических снимков при организации территорий**

---

Материалы аэро- и космических съемок используются для установления (восстановления), изменения, технического и юридического оформления границ административно-территориальных образований — поселений, городов, областей и т. п. Координаты поворотных пунктов их границ определяются с помощью фотограмметрического метода.

Использование фотограмметрического метода *при установлении границ землепользований* позволяет сократить трудоемкие полевые работы и время их проведения.

Существуют различные варианты установления границ по материалам аэро- и космических съемок. Рассмотрим для примера общую схему одного из вариантов.

На участок, выделенный под землепользование (землевладение), имеется ортофотоплан. На основании решения местных органов управления и администрации об организации данного землевладения имеются сведения о площади участка, положении и схема его границ. На мониторе компьютера, где хранится электронный ортофотоплан, методом последовательного приближения положения поворотных точек намечаются на фотоизображении границы землепользования, добиваясь соответствия юридической и фактической площади проектного участка. При этом программными средствами контролируется заданная площадь. После создания проекта на мониторе автоматически получают координаты поворотных точек границ участка.

Затем создается проект выноса в натуру границ землепользования (землевладения). На каждую поворотную точку создается абрис с результатами линейных измерений (прямые засечки, способ перпендикуляров, створов и т. п.) от четких контурных точек на изобра-

#### **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

жении до данной точки. Используя масштаб ортофотоплана, каждую поворотную точку выносят в натуру и закрепляют соответствующим знаком на местности.

*Восстановление границ землепользования (землевладения) выполняется в том случае, когда в натуре утрачены поворотные точки.*

При восстановлении границ используют каталоги координат поворотных точек, полученных из материалов ранее проведенного установления границ. При использовании электронных ортофотопланов координаты поворотных точек вводятся с клавиатуры компьютера и отображаются условными знаками на фотоизображении. Перенос точек в натуру производится аналогично установлению границ.

Материалы аэро- и космических съемок могут служить основой для разработки схем *районной и градостроительной планировки*. Для этих целей могут быть использованы фотосхемы, изготовленные из приведенных к заданному масштабу снимков, и ортофотопланы. На этих материалах отображают: границы всех землепользований, каналы осушительных и оросительных сетей, промышленные предприятия, поселения, фермы и производственные комплексы, энергетические и инженерные сети и сооружения, линии связи и т. д. Для градостроительной планировки успешно применяют современные формы представления информационной модели местности 3D-изображения, позволяющие рассматривать территорию с различных ракурсов.

Аэро- и космические снимки применяются для изучения состояния сельскохозяйственных культур, разработок методов и приемов *рационального использования земель и ведения сельскохозяйственного производства*. С помощью космических снимков отслеживается состояние полей, что позволяет своевременно и выборочно вносить необходимые и дорогостоящие удобрения. Это повышает эффективность воздействия вносимых удобрений и улучшает экологическую обстановку.

По снимкам проводится *анализ производства сельскохозяйственной продукции*. Дистанционный способ значительно сокращает сроки, затраты и повышает точность получения информации о количестве произведенного продукта (пшеницы, картофеля, кукурузы и т. д.).

Использование космических снимков для обследования лесных массивов нашей страны приносит огромный экономический эффект. Своевременное определение, например, локальных возгораний позволяет на раннем этапе осуществлять противопожарные мероприятия. Мониторинг дает возможность оценить качественное состояние лесов, выявить несанкционированные вырубки, определить площади гарей, разработать комплекс мероприятий по репродукции лесных массивов и т. п.

## ■ 16.2. Применение данных космических съемок при чрезвычайных ситуациях

В настоящее время космические снимки применяются для оценки, моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. По снимкам изучаются природоопасные явления, с целью снижения риска возникновения ЧС. Сведения используются для принятия решений организационного и технического характера для ликвидации последствий негативного явления (моделирование последствий ЧС, определение зон досягаемости специалистов и оптимизация маршрутов их следования и т. д.). Система космического мониторинга состоит из:

- аппаратно-программного комплекса, осуществляющего прием, регистрацию и обработку изображений, передаваемых с космических летательных аппаратов;
- базы данных, состоящей из оперативных и архивных космических изображений, а также полученных на их основе планово-картографических материалов.

Сравнение оперативной информации с базой данных позволяет государственным и местным органам службы МЧС совместно с органами управления контролировать территорию и в случае ЧС ликвидировать последствия. В качестве примера рассмотрим в общем виде подход прогнозирования развития паводковой обстановки при разливе рек. Подобная информация позволяет принимать оптимальные решения по оказанию помощи населению и оценке ущерба. По космическим снимкам выявление паводковой обстановки на реках может выполняться с помощью визуального метода анализа изображения и автоматизированного (цифрового) метода обработки изображений. На космических снимках, поступающих по радиоканалу на пункты приема, визуально определяются участки разлива, места появления затворов льда, границы снежного покрова в бассейнах рек. Для этого используются как зональные, так и синтезированные изображения. Цифровой метод применяется для оперативного определения степени и площади затопления территорий. При этом производят совмещение разновременных снимков, текущего и опорного, соответствующего времени нормального состояния русла реки. Используя специальный алгоритм цифровой обработки, по изменениям на изображении выделяются границы разлива, вызванные паводком. Приведенные примеры — лишь малая часть широкого спектра использования космических снимков.

Эффективность применения материалов космических съемок для решения различных хозяйственных задач зависит от их качества и оперативности доставки потребителю, а также от наличия простых в использовании и доступных программных средств. Чтобы извлекать необходимую тематическую информацию при разработке программных

## **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

средств должны учитываться особенности получения космических снимков, включая тип сенсора, его геометрические и радиометрические характеристики, способ построения изображения, орбитальные параметры и форматы данных. Помимо существования тематических программных средств обработки космической информации в рамках современных геоинформационных систем, как правило, заложены модули фотограмметрических преобразований и цифровой интерпретации космических снимков. Расширение доступа, возможность приобретения или заказа через Интернет позволит различным пользователям применять космические снимки для решения разнообразных прикладных задач.

### **■ 16.3. Методика обновления планов и карт с использованием материалов новой аэрофотосъемки**

Метрическая и смысловая информация, содержащаяся на фото-планах, ортофотопланах и графических планах, с течением времени устаревает. Подобное старение происходит в результате естественных или антропогенных изменений объектов земной поверхности, в результате чего возникает несоответствие содержания планов и карт современному состоянию картографируемой территории. Другой причиной старения является введение новых нормативных документов (инструкций, условных обозначений и т. п.) или новой системы координат. Для поддержания информации на современном уровне на планы и карты наносят появившиеся изменения. Процесс внесения изменений в содержание планов и карт называют обновлением или дежурным сопровождением. При обновлении наносят вновь появившиеся объекты и удаляют исчезнувшие элементы ситуации.

Обновление выполняется геодезическим или фотограмметрическим методом.

*Геодезический метод* заключается в том, что в поле план на бумажной основе сличают с натурой. Положение вновь появившихся объектов определяют путем простых геодезических измерений (линейных промеров, линейных засечек и т. п.) от имеющихся на местности и плане контурных точек. В дальнейшем на экране монитора курсором по результатам линейных измерений отмечается положение определяемых объектов. При большом количестве изменений выполняют измерения геодезическими инструментами или наземными GPS. Затем по результатам измерений наносят на электронный план появившиеся объекты. Для этого с помощью клавиатуры компьютера вводят геодезические координаты поворотных точек появившихся на местности объектов. Геодезический метод обеспечивает высокую точность. Используется при малых локальных изменениях ситуации на местности.

## **ГЛАВА 10. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ...**

*Фотограмметрический метод* заключается в том, что обновляемый план камерально сличают с материалами новой аэрофотосъемки, на которых определяют изменения, дешифрируют вновь появившиеся объекты и после полевой проверки наносят изменения на план. Данный метод применяют для обновления планов на большие территории.

Конкретный вариант организации работ по обновлению планов определяется многими факторами: техническим обеспечением, экономичностью, оперативностью выполнения работ и т. п.

Цифровые способы фотограмметрической обработки снимков упрощают работы по обновлению планов. Существующие компьютерные программы позволяют экономично и качественно выполнить ввод изменившейся ситуации на обновляемый план. Наиболее простой способ представляет собой «врезку» фрагмента снимка с изменившейся ситуацией. Для этого по периметру фрагмента идентифицируются 5–6 точек дешифрированного снимка и плана, используемых в качестве опорных. Площадь фрагмента выбирается так, чтобы местность, изображенная на нем, была плоской. Точность координат идентифицированных (опорных) точек определяется точностью, с которой они занесены в базовый электронный план. Погрешность опознавания на снимке не должна быть более 0,1 мм. При значительных изменениях ситуации, когда невозможно надежно опознать на обновляемом плане опорные точки по периметру фрагмента снимка, применяют методы фототриангуляции. Используя идентифицированные точки как концы базисов, вычисляется коэффициент масштабирования для данного фрагмента снимка. Изображение фрагмента снимка, приведенное к масштабу обновляемого плана, занимает положение в геодезическом пространстве на электронном плане.

Периодичность аэрофотосъемки, выполняемой для обновления планов и карт, определяется скоростью и степенью старения имеющейся в них метрической и смысловой информации. *Скорость старения* зависит от интенсивности преобразований, происходящих на картографируемой территории, и характеризует количество изменений за единицу времени. *Степень старения* выражает отношение количества изменившихся объектов к общему количеству объектов на данной территории. Этот критерий может быть определен по данным регистрации ежегодного изменения земельного фонда в пределах изучаемой территории, а также с помощью методик оценки старения планов и карт. Выявление произошедших изменений может выполняться визуально или автоматически с помощью специализированных компьютерных программ. Для этого осуществляется ввод в компьютер, где хранится обновляемый план, материалов новой аэрофотосъемки. В соответствии с программой производится сопоставление старой и новой информации. Оператор осуществляет контроль и уточнение результатов.

## **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

Обновление может выполняться в двух вариантах: периодически и непрерывно.

При периодическом обновлении предусматривается уточнение содержания планов и карт через определенный промежуток времени. Для обжитых районов срок обновления составляет 3 года, для прочих районов — 5 лет и более.

Для непрерывного обновления базовых планов используются материалы геодезических измерений, выполняемых при отводе земель, инвентаризации, купле-продаже или по материалам новых аэрофотосъемок, проводимых различными ведомствами.

Аэрофотосъемку производят с помощью аэрофотоаппаратов, имеющих объективы с фокусным расстоянием  $f = 200 - 500$  мм. Продольное и поперечное перекрытия снимков при съемке могут быть стандартными. Выбор благоприятного времени выполнения аэрофотосъемочных работ зависит от характера обновляемой информации. Например, для обновления базовых планов поселений съемка выполняется в безлистственный период — ранняя весна или поздняя осень.

### **■ 16.4. Использование аэрофотоснимков при составлении проектов рекультивации нарушенных земель**

К нарушенным землям относят земли, утратившие свою хозяйственную ценность в результате негативного изменения почвенно-гидрологического режима и рельефа. Нарушения могут быть вызваны природными или антропогенными явлениями. Производственная деятельность человека — разработка карьеров для добычи полезных ископаемых, строительство гидроэлектростанций, дорог, трубопроводов и т. п. — приводит к существенным изменениям земной поверхности.

Для устранения негативных последствий производят рекультивацию нарушенных земель. Под рекультивацией земель понимают комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных земель.

Для определения характера и объемов работ по рекультивации разрабатывают технический проект и экономические обоснования. Основой для составления технического проекта служат крупномасштабные планы. При изготовлении планов изолированных и небольших по площади карьеров, торфяных разработок применяют наземные методы: геодезическую, лазерную съемку. При использовании фотограмметрического метода съемку выполняют калиброванными малоформатными цифровыми фотоаппаратами. При рекультивации земель значительных территорий топографическая основа для проектных работ изготавливается фотограмметрическими методами по

## **ГЛАВА 10. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ...**

материалам аэрофотосъемок. Материалы получают путем проведения специальных аэрофотосъемочных работ или используют материалы государственных или ведомственных аэрофотосъемок, параметры которых позволяют получать планы требуемой точности.

Параметры аэрофотосъемки (высота и масштаб фотографирования, фокусное расстояние АФА) определяются следующими соображениями. В большинстве случаев составление проектов рекультивации земель выполняется на топографической основе масштабов 1:1000 – 1:5000. При этом точность планового положения элементов ситуации и рельефа определяется средними квадратическими погрешностями:

- для топографических планов масштаба 1:1000 погрешность в плане — 0,5 м, по высоте — 0,1 м;
- для топографических планов масштаба 1:5000, соответственно, в плане 2,5 м и 0,2 м по высоте.

Основным методом создания топографических планов рекультивируемых земель в настоящее время является метод цифровой стереофотограмметрической обработки снимков. При этом расчет параметров аэрофотосъемки осуществляется исходя прежде всего из требований к точности высотных координат элементов объекта съемки. Точность получаемых высот элементов местности определяется высотой и базисом фотографирования.

Погрешность идентификации и измерения координат точек снимка зависит от его качества, определяемого, как рассмотрено ранее, свойствами АФА, аэрофотопленки, качеством производства аэрофотосъемки, от разрешающей способности сканированного изображения, точностью наведения курсора и т. д. Для определения масштаба фотографирования будем полагать точность измерения координат равной удвоенной разрешающей способности сканированного изображения. Например, при сканировании с разрешением 1250 dpi, что соответствует 0,02 мм, точность измеренных координат равняется 0,04 мм. Для нашего примера получаем масштаб фотографирования для создания плана 1:М = 1:1000 не мельче 1:m = 1:12 500. По рассчитанной высоте и масштабу фотографирования выбирается аэрофотоаппарат с необходимым фокусным расстоянием. В данном случае для аэрофотосъемки применяется АФА с  $f = 70$  мм.

На отдельные рекультивируемые участки местности создаются планы, как правило, в условной системе координат. Соответственно, привязка снимков выполняется в той же системе координат. Опорные точки могут быть использованы для переноса проекта в натуру.

В результате цифровой стереофотограмметрической обработки снимков получают цифровую модель местности. В дальнейшем цифровая модель может быть использована в специализированных программах, обеспечивающих автоматизированное проектирование рекультивации земель.

## **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

### **■ 16.5. Использование материалов аэро- и космических съемок при создании геоинформационных систем**

В настоящее время в различных областях человеческой деятельности стремительно развиваются информационные технологии. В общем понимании информационная технология включает теорию, методы, средства, системы, направленные на сбор, обработку и использование информации. Существуют специализированные пространственные информационные системы для работы с информацией об объектах, явлениях и процессах, имеющих определенное место в координатном пространстве. Такие системы принадлежат к классу географических информационных систем, обозначаемых сокращенно ГИС. При организации и управлении территорий, ведении кадастра и мониторинга земель применяются геоинформационные системы, которые представляют собой модель пространственного размещения объектов местности с соответствующей смысловой (атрибутивной) информацией о каждом из них. ГИС представляет собой инструмент для принятия практических решений определенной тематической направленности на основе всеобъемлющей информации, хранящейся в ее среде. Геоинформационные технологии — процесс организации, связи, манипулирования, анализа и представления пространственных данных.

ГИС имеют различную организацию, поэтому круг и сложность решаемых задач также широки и разнообразны. Например, можно ограничиться получением статистической информации о конкретном землевладении и регистрации земельной собственности или выполнить анализ глобальных проблем, связанных с сохранением экологического равновесия в зонах деятельности предприятий. С помощью ГИС может выполняться мониторинг народонаселения, производства сельскохозяйственной продукции, последствий природных катастроф, оптимизация маршрутов движения общественного или личного транспорта, расположения площадок под промышленное или жилищное строительство, проложения трубопроводов, линий электропередачи, дорог и т. п.

Любая геоинформационная система состоит из пяти основных компонентов:

- аппаратные средства (Hardware);
- программное обеспечение (Software);
- данные (Data);
- исполнители;
- методы.

*Аппаратные средства* представляют собой различные типы компьютеров. Это могут быть отдельные персональные компьютеры и связанные в единую сеть посредством мощного сервера.

## **ГЛАВА 10. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ...**

*Программное обеспечение ГИС* позволяет выполнять различные операции по вводу, хранению, анализу и визуализации пространственной информации. Программы включают отдельные составляющие: модуль ввода картографической информации и действий с ней; систему управления базой данных; программу запроса пространственной информации, ее визуализации и анализа, графический пользовательский интерфейс для оперативного доступа к хранящейся информации. В некоторых ГИС используется дополнительное программное обеспечение для решения специальных задач, например, для автоматического проектирования или тематического углубленного статистического анализа.

Данные, хранящиеся в информационной базе, являются наиболее важным компонентом ГИС. Прежде всего это планово-карточная основа, получаемая пользователем с помощью программного обеспечения самой ГИС или приобретенная у других производителей данной продукции. Создание планов и карт в рамках самой ГИС может осуществляться по материалам наземной геодезической съемки или фотограмметрическим методом, по аэро- и космическим снимкам. Смысловую и статистическую информацию получают из соответствующих организаций и подразделений в виде отчетов, таблиц, картограмм и т. п. При работе со снимками основную информацию получают в процессе дешифрирования. В ГИС объединяются данные о пространственном положении объектов с атрибутивной информацией о них, при этом существующие в ее среде системы управления базой данных (СУБД) позволяют систематизировать сведения, управлять информационными потоками и использовать их для решения конкретных задач.

*Исполнители*, работающие с программным средствами ГИС, разрабатывают стратегию оптимального использования возможностей системы при реализации поставленной задачи. Квалификация исполнителей определяется знаниями компьютерных технологий, аэро- и космической съемки, фотограмметрии и дешифрировании, геодезии, картографии и в направлениях областей исследования, например, землеустройстве, кадастре или планировке населенных пунктов.

*Методы* представляют собой сочетание оптимально составленного плана работы, соответствующего специфике конкретной решаемой задачи и возможностям геоинформационной системы. Выбор метода, строгость его организации и исполнения определяет успех и эффективность применения ГИС.

Как уже рассматривалось ранее, современные геоинформационные системы, как правило, имеют подсистемы обработки аэро- и космических фотографических или нефотографических (радиолокационных и тепловых) снимков. Получаемые в результате ортофотогрантсформирования изображения являются основой для создания базовых топографических планов и карт, которые в свою очередь

## **ЧАСТЬ IV. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И КАДАСТРАХ**

представляют собой в ГИС базу для пространственного размещения информации. Преобразование цифровых изображений может выполняться не только в прямоугольную систему координат, но практически в любую из применяемых в картографии. В процессе создания ортофотоизображений программными средствами улучшается качество изображений: производится выравнивание по оптической плотности, повышается проработка деталей в тенях, изменяется контрастность изображений, изменяется цвет изучаемого класса объектов и т. п. Улучшение качества изображения способствует повышению точности фотограмметрической обработки и интерпретации изображений.

ГИС могут быть специального назначения для решения довольно узкого тематического круга задач или многофункциональные, применяемые для сбора, анализа информации и составления оптимальных проектов широкого спектра человеческой деятельности.

### **■ 16.6. Создание 3D-изображений с использованием аэро- и космических снимков**

Цифровую модель местности можно визуализировать в виде традиционного планово-картографического материала, а также в виде трехмерного пространственного изображения, так называемого 3D-изображения. (3-dimensional (англ.) — трехмерный).

В современном понимании 3D-изображение — это изображение трехмерных объектов на плоскости, дающее максимально возможное представление об их пространственных формах и размерах. Существует большое разнообразие проекций (ортогональная, аксонометрическая, изометрическая и др.), позволяющих изображать пространственные объекты на плоскости.

Привычной для человеческого восприятия является центральная проекция, поскольку изображение окружающего нас мира строится на сетчатке глаза человека именно по законам центральной проекции, которую иначе называют перспективой. Как уже рассматривалось в части II, законы перспективы позволяют нам судить о глубине пространства. Более удаленные объекты изображаются мельче, чем находящиеся вблизи, к тому же могут быть частично или полностью ими закрыты.

Примером изображения трехмерных объектов на плоскости в центральной проекции является фотоснимок этих объектов, полученный кадровым фотоаппаратом. Удачно выбранный ракурс, т. е. точка фотографирования и угол зрения, позволит извлечь максимум информации о форме, размерах и взаимном расположении объектов.

Современные технологии цифровой обработки аэро- и космических снимков позволяют получать визуализированное изображение местности, аналогичное фотографическому, в любом ракурсе.

## **ГЛАВА 10. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ...**

3D-изображение создается на основе ранее построенной цифровой модели рельефа и ортфотоснимков. 3D-изображение можно назвать макетным фотоснимком, поскольку его получают не фотографированием, а компьютерной графикой.

При создании трехмерной модели местности используют пространственную информацию, полученную различными методами. Например, для застроенной территории фасады домов получают в результате наземной стереофотосъемки или лазерным сканированием, а изображения крыш зданий и сооружений по материалам аэро- или космической съемки. Полученные материалы формируют с помощью специализированного программного обеспечения в 3D-изображение.

3D-изображения позволяют осуществлять трехмерную интерполяцию какого-либо признака. Исходной информацией для трехмерной интерполяции служит нерегулярная сеть пунктов, в которых проведены измерения некоторого признака (уровня кислотности почв, содержания СО в воздухе и т. п.). Программа интерполяции создает математическую модель поведения исследуемого признака на заданном участке. С помощью данной модели рассчитываются наиболее вероятные значения признака в любой точке пространства, формируются изоповерхности, представляющие собой геометрические места точек с одинаковыми значениями признака.

Кроме того, 3D-изображения дают возможность построить любое сечение: горизонтальной, вертикальной или иной плоскостью. Также возможно построение сечения произвольной поверхностью. Подобные построения позволяют исследовать поведение интерполируемого признака на данных сечениях.

3D-изображения широко используют в городском кадастре и градостроительстве, экологическом мониторинге, при изучении эрозионных процессов, при рекультивации нарушенных земель, т. е. в тех областях, где измерения проводятся в трехмерном пространстве.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие преимущества имеет метод дистанционного зондирования при чрезвычайных ситуациях?
2. Какое функциональное назначение имеют материалы АКС при создании информационных слоев в геоинформационных системах?
3. В чем заключается суть и преимущество применения фотограмметрического метода при обновлении картографического материала?

## **ГЛОССАРИЙ**

---

### **Область применения**

---

Настоящие термины и определения понятий в области аэро- и космической съемки, фотограмметрии, дешифрировании, фототопографии рекомендуются для применения во всех видах документации и литературы, входящих в сферу работ по стандартизации и (или) использующих результаты этих работ, а также при изучении соответствующих учебных дисциплин, в том числе дисциплины «Фотограмметрия и дистанционное зондирование».

Приведенные термины и определения можно при необходимости изменять, вводя в них производные признаки, раскрывающие смысл определяемого понятия. Изменения не должны нарушать смысл и содержание понятий.

**ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ** — сбор информации об объекте или явлении земной поверхности с помощью регистрирующего прибора, не находящегося в непосредственном контакте с данным объектом или явлением. Термин «дистанционное зондирование» обычно включает в себя регистрацию (запись) электромагнитных излучений посредством различных съемочных систем, в том числе аэрофотоаппаратов, сканеров, микроволновых приемников, радиолокаторов и других приборов такого рода. Дистанционное зондирование используется также для сбора и записи информации о морском дне, атмосфере Земли, Солнечной системе. Науки и научные направления, ориентированные на полевые работы, к числу которых относятся такие, как землеустройство, кадастры, геология, лесоводство и география, также используют дистанционное зондирование для сбора данных в целях проведения своих исследований. Дистанционное зондирование охватывает теоретические исследования, лабораторные работы, полевые наблюдения и сбор данных с бортов воздушных носителей (беспилотных летательных аппаратов, самолетов, вертолетов) и искусственных спутников Земли.

**Термины и определения**

- Аэрофотограмметрия** — раздел фотограмметрии, относящийся к обработке снимков, полученных с воздушных носителей съемочной системы.
- Аэрофотоснимок топографический** — фотоснимок, полученный при топографической аэрофотосъемке.
- Аэрофотосъемка (топографическая)** — фотосъемка (фотографическая) с воздушного летательного аппарата.
- Аэрофотосъемка (топографическая) перспективная** — топографическая аэрофотосъемка, выполненная при угле отклонения оптической оси съемочной камеры от вертикали, превышающем 3°.
- Аэрофотосъемка (топографическая) плановая** — топографическая аэрофотосъемка, выполненная при угле отклонения оптической оси съемочной камеры от вертикали, не превышающем 3°.
- Дешифрирование** — выявление, распознавание и определение характеристик объектов, изобразившихся на топографическом фотоснимке или иных фотоизображениях местности.
- Дешифрирование визуальное** — дешифрирование фотоизображений местности в процессе восприятия человеком визуальной информации.
- Дешифрирование интерактивное** — дешифрирование фотоизображений местности на мониторе компьютера в сочетании визуального и автоматизированного методов с использованием специализированного программного обеспечения.
- Дешифрирование камеральное** — дешифрирование фотоизображений местности без непосредственного наблюдения объектов местности.
- Дешифрирование комбинированное** — сочетание камерального и полевого дешифрирования фотоизображений местности.
- Дешифрирование полевое** — дешифрирование топографического фотоснимка или иных фотоизображений местности в процессе полевого обследования местности.
- Дешифрирования эталон** — дешифрированное фотоизображение местности в поле характерного (репрезентативного) участка местности, который служит образцом при камеральном дешифрировании других фотоизображений данного ландшафта.
- Дешифровочные признаки** — характерные особенности изображений объектов местности, используемые при дешифрировании топографического фотоснимка или иных фотоизображений местности.
- Местности модель геометрическая** — совокупность точек пересечения соответственных проектирующих лучей, полученная по стереопаре ориентированных топографических фотоснимков.
- Местности модель стереоскопическая** — виртуальное пространственное изображение сфотографированной местности при стереоскопическом рассматривании пары смежных фотоснимков.
- Местности фотокарта** — карта, сочетающая тоновое фотографическое и штриховое картографическое изображение местности.
- Местности фотосхема** — фотографическое изображение местности, составленное путем монтажа нетрансформированных фотоснимков.

- Монтаж накидной (фотоснимков местности)** — результат упорядоченного размещения фотоснимков местности путем совмещения изображений на соседних перекрывающихся частях.
- Объекта модели фотограмметрической ориентирования внешнего элемент** — один из геометрических параметров, определяющих положение, ориентацию фотограмметрической модели объекта в системе координат объекта съемки и ее масштаб.
- Объекта модель фотограмметрическая** — совокупность координат точек объекта фотограмметрической съемки, определенных в результате фотограмметрической обработки снимков. *Примечание:* Фотограмметрическая модель объекта подобна объекту, может иметь произвольный масштаб и быть произвольно расположена и ориентирована относительно системы координат объекта.
- Объекта модель фотограмметрическая ориентированная** — фотограмметрическая модель объекта, координаты точек которой определены в какой-либо системе координат объекта фотограмметрической съемки.
- Опознак (опорный знак)** — точка объекта фотограмметрической съемки с известными пространственными координатами, опознанная на фотограмметрическом снимке (аналог опорной точки). *Примечание:* Опознак может быть использован в качестве опорной или контрольной точки при фотограмметрической обработке снимка.
- Ортофотоснимок** — топографический фотоснимок, полученный в результате ортофототрансформирования.
- Параллакс попеченный** — разность ординат соответственных точек топографических фотоснимков, составляющих стереопару.
- Параллакс продольный** — разность абсцисс соответственных точек топографических фотоснимков, составляющих стереопару.
- Сдвиг изображения** — смещение оптического изображения относительно сенсора (фотопленки) при формировании снимка за время экспонирования, вызванное поступательным или угловым перемещением съемочной камеры или объекта съемки.
- Сети геодезической опорной стущение фотограмметрическое** — фотограмметрическое определение пространственных координат дополнительных точек объекта фотограмметрической съемки, предназначенных для последующей фотограмметрической обработки фотограмметрических снимков.
- Снимка координаты точки** — координаты точки изображения в системе координат снимка.
- Снимка обработка фотограмметрическая** — совокупность технологических процессов, связанных с преобразованием метрической информации об объекте фотосъемки, полученной в системе координат снимка, в информацию иной системы координат.
- Снимка одиночного координат точек измерение** — определение значений координат соответственных точек фотограмметрических снимков.
- Снимка оптического проектирования центр** — узловая точка объекта съемочной камеры, используемой для съемки. *Примечание:* Различают переднюю и заднюю узловые точки, совпадающие со

## **ГЛОССАРИЙ**

- ответственно с центрами внешней и внутренней связок проектирующих лучей.
- Снимка плоскость** — предметная плоскость съемочной камеры, где расположена аэрофотопленка на которую проектируется оптическое изображение объекта съемки.
- Снимка точка** — изображение точки объекта съемки на снимке.
- Снимка точка главная** — точка пересечения плоскости снимка с оптической осью съемочной камеры.
- Снимка точка надира** — точка пересечения плоскости снимка с отвесным лучом, проходящим через центр оптического проектирования.
- Снимка фотограмметрического метки координатные** — маркированные точки, задающие систему координат фотограмметрического снимка и расположенные на середине сторон или в углах плоскости прикладной рамки съемочной камеры, изображение которых регистрируется на снимке одновременно с изображением объекта съемки.
- Снимка фотограмметрического ориентирования** — определение параметров фотограмметрического снимка, характеризующих его положение и ориентацию в пространстве во время съемки для использования их при фотограмметрической обработке снимка.
- Снимка фотограмметрического ориентирования внешнее** — ориентирование фотограмметрического снимка относительно системы координат объекта фотограмметрической съемки.
- Снимка фотограмметрического ориентирования внутреннее** — ориентирование фотограмметрического снимка относительно его центра проектирования.
- Снимка фотограмметрического ориентирования внешнего элемента** — один из геометрических параметров фотограмметрического снимка, определяющих его положение и ориентацию в координатном пространстве.
- Снимка фотограмметрического ориентирования внешнего элемент угловой** — один из параметров, определяющих угловую ориентацию фотограмметрического снимка в системе координат объекта фотограмметрической съемки. *Примечание:* Наиболее часто в качестве этих параметров используют продольный и поперечный углы наклона и разворота снимка.
- Снимка фотограмметрического ориентирования внешнего элементы линейные** — координаты центра оптического проектирования фотограмметрического снимка в системе координат объекта фотограмметрической съемки.
- Снимка фотограмметрического ориентирования внутреннего элемента** — один из геометрических параметров фотограмметрического снимка, определяющих его положение относительно центра оптического проектирования фотограмметрического снимка. *Примечание:* К элементам внутреннего ориентирования относят фокусное расстояние съемочной камеры и координаты главной точки фотограмметрического снимка в системе координат снимка.
- Снимка фотограмметрического система координат** — правая ортогональная пространственная система координат, фиксируемая на фотограмметрическом снимке изображениями координатных меток.

- Снимка фотограмметрического трансформирование** — преобразование аэро- или космических снимков, полученных в какой-либо проекции (например, центральной) в заданную картографическую проекцию местности (например, ортогональную).
- Снимков координат точек измерение стереоскопическое** — определение значений координат соответственных точек фотограмметрических снимков стереопары. *Примечание:* Под соответственными точками фотограмметрических снимков стереопары понимают изображения точки объекта съемки на этих снимках.
- Снимков перекрытие** — части двух соседних фотограмметрических снимков стереопары с изображением одного и того же участка объекта съемки. *Примечание:* При площадной съемке различают продольное перекрытие — перекрытие снимков одного маршрута и поперечное перекрытие — перекрытие снимков смежных маршрутов.
- Снимков фотограмметрических ориентирование взаимное** — ориентирование фотограмметрических снимков стереопары друг относительно друга.
- Снимков фотограмметрических ориентирования взаимного элемент** — один из геометрических параметров, определяющих положение одного фотограмметрического снимка стереопары относительно другого.
- Снимок (фотограмметрический) зональный** — фотоснимок, полученный в узком заданном интервале длин волн электромагнитного излучения.
- Снимок в видимом диапазоне** — фотоснимок, полученный в видимой области длин волн электромагнитного излучения 0,37 – 0,77 мкм.
- Снимок инфракрасный** — снимок, полученный в интервале длин волн электромагнитного излучения 0,77 – 15 мкм.
- Снимок кадровый** — фотограмметрический снимок, все элементы изображения которого формируются одномоментно в течение заданной выдержки.
- Снимок панорамный** — сканерный снимок, элементы изображения которого формируются центральным проектированием на цилиндрической предметной поверхности.
- Снимок радиолокационный** — снимок, полученный в диапазоне радиоволн электромагнитного излучения. Основные элементы и параметры фотограмметрического снимка.
- Снимок сканерный** — фотограмметрический снимок, элементы изображения которого формируются в различные моменты времени, каждому из которых соответствуют отличные друг от друга значения элементов внешнего ориентирования. *Примечание:* Сканерные фотограмметрические снимки могут быть получены щелевыми, панорамными, оптико-механическими, оптико-электронными и радиолокационными съемочными системами.
- Снимок щелевой** — сканерное изображение местности, полученное в результате неодномоментного экспонирования движущейся фотопленки через специальную щель, расположенную перпендикулярно относительно направления движения летательного аппарата.

## **ГЛОССАРИЙ**

- Стереофотограмметрия** — раздел фотограмметрии, относящийся к одновременной обработке двух и более фотограмметрических снимков одного объекта фотограмметрической съемки, полученных при разных положениях центра оптического проектирования съемочной системы.
- Съемка стереотопографическая** — фототопографическая съемка, выполняемая по стереоскопической модели местности.
- Съемка топографическая** — комплекс работ, выполняемых с целью получения первичной топографической карты или плана, а также получение топографической информации в другой форме.
- Съемка фототопографическая** — 1) топографическая съемка, выполняемая по материалам топографической фотосъемки, с применением фотограмметрической обработки топографического фотоснимка; 2) фототопографическая съемка, выполняемая по материалам топографической аэрофотосъемки или космической фотосъемки.
- Съемка фототопографическая комбинированная** — фототопографическая съемка, при которой информацию о плановом положении объектов местности получают по топографическим фотоснимкам, а информацию о рельефе — путем наземных определений.
- Съемка фототопографическая наземная** — фототопографическая съемка, выполняемая по материалам наземной топографической фотосъемки.
- Съемки базис** — расстояние между центрами оптического проектирования снимков, образующих стереопару.
- Съемки объект** — местность, объект или явление, отображенные на снимке.
- Точка опорная** — контурная точка на фотоснимке, геодезические координаты которой известны и которая является исходной при фотограмметрических построениях.
- Формат снимка** — значения длин двух смежных сторон снимка, записанные как их произведение.
- Фотограмметрия** — научная дисциплина и область техники, предметом которой является определение формы, размеров и пространственного положения объектов по снимкам, полученным с помощью съемочных систем.
- Фотограмметрия аналитическая** — раздел фотограмметрии, относящийся к аналитическим методам обработки аналоговых фотограмметрических снимков.
- Фотограмметрия аналоговая** — раздел фотограмметрии, относящийся к обработке аналоговых фотограмметрических снимков, обрабатываемых на оптико-механических устройствах.
- Фотограмметрия космическая** — раздел фотограмметрии, относящийся к обработке снимков, полученных с космических носителей съемочной системы.
- Фотограмметрия наземная** — раздел фотограмметрии, относящийся к обработке снимков, полученных с наземных пунктов или наземных носителей съемочной системы.

- Фотограмметрия одиночного (фотограмметрического) снимка** — раздел фотограмметрии, относящийся к обработке одного снимка.
- Фотограмметрия прикладная** — раздел фотограмметрии, относящийся к получению геометрической информации об объектах фотограмметрической съемки в инженерных или научных целях.
- Фотограмметрия топографическая** — раздел фотограмметрии, относящийся к созданию топографических карт и планов.
- Фотограмметрия цифровая** — раздел фотограмметрии, относящийся к аналитическим методам обработки снимков на цифровых фотограмметрических станциях с помощью специализированного программного обеспечения.
- Фотоплан или ортофотоплан** — фотографическое одномасштабное изображение местности, составленное из трансформированных (ортотрансформированных) топографических фотоснимков с замочным оформлением.
- Фотоснимка топографического обработка фотограмметрическая** — совокупность технологических процессов, связанных с преобразованием метрической и фотометрической информации топографического фотоснимка в геометрическую информацию об объекте фототопографической съемки.
- Фотоснимка топографического оптического проектирования центр** — узловая точка объектива съемочной камеры, используемой для фототопографической съемки.
- Фотоснимка топографического ортофототрансформирование** — процесс фотограмметрической обработки топографического фотоснимка, целью которого является преобразование топографического фотоснимка из исходной проекции в ортогональную.
- Фотоснимка топографического трансформирование** — процесс фотограмметрической обработки топографического фотоснимка, целью которого является преобразование изображения топографического фотоснимка в изображение в заданной проекции и масштабе.
- Фотоснимков топографических подготовка полевая, привязка** — технологический процесс опознавания изображений точек местности на топографических фотоснимках и определения координат опознанных точек на местности. *Примечание:* В зависимости от состава определяемых координат полевая подготовка топографических фотоснимков может быть плановой, высотной или планово-высотной.
- Фотоснимков топографических стереопара** — два перекрывающихся топографических фотоснимка одного объекта топографической фотосъемки, полученных при различных положениях их центров оптического проектирования.
- Фотоснимок (топографический) космический** — топографический фотоснимок, полученный при космической топографической фотосъемке.
- Фотоснимок (топографический) наземный** — топографический фотоснимок, полученный при наземной топографической фотосъемке.

## **ГЛОССАРИЙ**

**Фотоснимок топографический** — фотограмметрический снимок земной поверхности, полученный для создания планов и карт.

**Фотоснимок трансформированный** — топографический фотоснимок, полученный в результате трансформирования.

**Фотоснимок фотограмметрический** — изображение объекта фотограмметрической съемки, зафиксированное на материальном носителе в аналоговом или цифровом виде, используемое для целей фотограмметрической обработки.

**Фотосъемка (топографическая) конвергентная** — топографическая фотосъемка для получения стереопары снимков при значительном угле между оптическими осями съемочных систем.

**Фотосъемка (топографическая) космическая** — топографическая фотосъемка с космического летательного аппарата.

**Фотосъемка (топографическая) наземная** — топографическая фотосъемка с наземного пункта или подвижного наземного носителя.

*Примечание:* В качестве подвижного наземного носителя могут выступать любые средства передвижения, обеспечивающие достаточную стабилизацию съемочной камеры во время фотосъемки.

**Фотосъемка топографическая** — процесс получения топографического фотоснимка.

**Фотосъемки (топографической) материалы** — фотоснимок или группа фотоснимков земной поверхности, поддающиеся однозначной идентификации во времени и пространстве, с описанием технических характеристик применявшегося съемочного оборудования и внешних условий топографической фотосъемки.

**Фототопография** — область техники, которая занимается созданием топографических карт и топографических планов с использованием материалов топографической аэро- или космической фотосъемки.

**Фототриангуляция** — метод фотограмметрического стущения опорной геодезической сети путем построения, ориентирования и уравнивания фотограмметрической модели объекта по перекрывающимся фотограмметрическим снимкам, принадлежащим одному или нескольким маршрутам. *Примечания:* 1. Различают маршрутную и блочную фототриангуляцию. 2. В результате фототриангуляции определяют значения координат точек объекта фотограмметрической съемки и значения элементов внешнего ориентирования фотограмметрического снимка в системе координат объекта.

Термины и определения составлены с использованием утвержденных стандартов в области аэрофотосъемки, фототопографии и фотограмметрии, разработанных ЦНИИГАиК.

## **ЛИТЕРАТУРА**

---

- Буров М.И., Краснопевцев Б.В., Михайлов Л.П.* Практикум по фотограмметрии. М.: Недра, 1987.
- Ильинский Н.Д., Обидалов А.И., Фостиков А.Л.* Фотограмметрия и дешифрирование снимков. М.: Недра, 1986.
- Инструкция по дешифрированию аэроснимков и фотопланов в масштабах 1:10000 и 1:25 000 для целей землеустройства, государственного учета земель и земельного кадастра. М.: ВИСХАГИ, 1978.
- Киенко Ю.П.* Основы космического природоведения. М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 1999.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В.* Аэрокосмические методы в географических исследованиях. М.: Издательский центр «Академия», 2004.
- Кучко А.С.* Фотография и специальные фотографические исследования. М.: Недра, 1987.
- Лимонов А.Н.* Методология мониторинга земель дистанционными методами (проблемы, концепция, взаимосвязи этапов) [Текст]: Монография. LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2012.
- Лобанов А.И.* Фотограмметрия. М.: Недра, 1987.
- Лобанов А.Я., Журкин И.Г.* Автоматизация фотограмметрических процессов. М.: Недра, 1980.
- Малявский Б.А., Жарновский А.А.* Аналитическая обработка фотографической информации в инженерных целях. Мн.: Недра, 1990.
- Назаров А.С.* Фотограмметрия. Мн.: ТетраСистемс, 2006.
- Обидалов А.И., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А.* Фотограмметрия и дистанционное зондирование. М.: КолосС, 2006.
- Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов. М.: Недра, 1978.
- Практикум по фотограмметрии и дешифрированию снимков/А.И. Обидалов, Я.И. Гебгарт, Н.Д. Ильинский и др. М.: Недра, 1990.
- Родионов Б.И.* Динамическая фотограмметрия. М.: Недра, 1993.
- Условные знаки для топографических планов в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. М.: Недра, 1989.

## **Сведения об авторах**

---

### **Лимонов Анатолий Николаевич**



Кандидат технических наук, доцент, почетный работник высшего профессионального образования.

В 1973 г. окончил Московский институт инженеров землеустройства (ГУЗ). С 1994 г. А.Н. Лимонов работает заведующим кафедрой аэрофотогеодезии Государственного университета по землеустройству.

*Специальность:* инженер-геодезист.

*Область научной деятельности:* оптика ландшафта, аэро- и космические съемки, фотограмметрия, дешифрирование, дистанционные методы мониторинга земель.

Им опубликовано более 90 научных и учебно-методических работ.

*Основные публикации:* соавтор четырех учебников: «Фотограмметрия» для средних специальных учебных заведений; «Фотограмметрия и дистанционное зондирование», «Научные основы фотограмметрии и дистанционного зондирования», «Научные основы фотограмметрии» для высших учебных заведений, автор трех монографий: «Дистанционные методы государственного мониторинга земель», М.: ГУЗ, 2005, «Совершенствование технологических процессов создания цифровых моделей местности по материалам аэрофотосъемки» (в соавторстве), М.: ГУЗ, 2006, «Методология мониторинга земель дистанционными методами», LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2012.

## **Гаврилова Лариса Анатольевна**



Кандидат технических наук, доцент.

В 1983 г. Лариса Анатольевна с отличием окончила Московский институт инженеров землеустройства (ГУЗ). В настоящее время доцент кафедры аэрофотогеодезии и декан факультета «Городской кадастр».

*Специальность:* инженер-землеустроитель (специализация: изучение земельных ресурсов аэро- и космическими методами).

*Область научной деятельности:* теоретическая и прикладная фотограмметрия.

С 1983 г. работает в Государственном университете по землеустройству.

Автор более 50 опубликованных научных и научно-методических работ.

*Основные публикации:* в соавторстве написаны два учебника «Фотограмметрия» для средних специальных учебных заведений и «Фотограмметрия и дистанционное зондирование» для высших учебных заведений, «Научные основы фотограмметрии и дистанционного зондирования», «Научные основы фотограмметрии» для высших учебных заведений, монография «Совершенствование технологических процессов создания цифровых моделей местности по материалам аэрофотосъемки».

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

---

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>ЧАСТЬ I. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ</b>	
<b>ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ЗЕМЛИ.....</b>	<b>10</b>
1.1. Основные понятия, термины и определения .....	10
1.2. Схема получения видеоинформации при аэро- и космической съемке .....	11
1.3. Электромагнитное излучение, используемое при аэро- и космических съемках земной поверхности .....	13
1.4. Роль атмосферы при проведении аэро- и космических съемок.....	15
1.5. Объекты земной поверхности как отражатели и излучатели энергии .....	17
Контрольные вопросы.....	23
<b>ГЛАВА 2. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>25</b>
2.1. Классификация съемочных систем .....	25
2.2. Основные критерии съемочных систем .....	26
Контрольные вопросы.....	28
<b>ГЛАВА 3. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>29</b>
3.1. Общие сведения.....	29
3.2. Кадровые топографические аэрофотоаппараты.....	30
3.3. Деформация изображения в кадровых аэрофотоаппаратах .....	38
Контрольные вопросы.....	40
<b>ГЛАВА 4. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ .....</b>	<b>42</b>
4.1. Понятие о черно-белом фотографическом процессе.....	42
4.2. Строение черно-белых фотографических материалов.....	43
4.3. Сенситометрические характеристики аэрофотопленок .....	45
4.4. Структурометрические характеристики фотопленок .....	48
4.5. Этапы фотографического процесса.....	49
4.6. Понятие о цветной фотографии .....	54
Контрольные вопросы.....	57
<b>ГЛАВА 5. НЕФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>59</b>
5.1. Кадровые телевизионные системы .....	59
5.2. Сканирующие съемочные системы .....	60
5.3. Тепловые съемочные системы .....	62
5.4. Оптико-электронные съемочные системы .....	64
5.5. Лазерные съемочные системы.....	67
5.6. Радиофизические съемочные системы .....	69
Контрольные вопросы.....	72
<b>ГЛАВА 6. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ .....</b>	<b>74</b>
6.1. Технические показатели аэрофотосъемки.....	74
6.2. Оценка качества результатов аэрофотосъемки .....	80
6.3. Особые условия проведения аэрофотосъемки городских территорий .....	87
Контрольные вопросы.....	88

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ГЛАВА 7. ПОНЯТИЕ О КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ ЗЕМЛЯ.....</b>	<b>89</b>
7.1. Условия получения космических снимков .....	89
7.2. Отличие космических снимков от аэрофотоснимков.....	91
Контрольные вопросы.....	92
7.3. Космические съемочные системы .....	93
Контрольные вопросы.....	98
Тесты к части I.....	98
<b>ЧАСТЬ II. АЭРО- И КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ — ПЕРВИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ</b>	
<b>ГЛАВА 8. ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ СНИМOK – ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ .....</b>	<b>108</b>
8.1. Основные элементы центральной проекции .....	108
8.2. Метрические свойства снимка, полученного топографическим аэрофотоаппаратом.....	111
8.3. Фотосхемы .....	115
Контрольные вопросы.....	119
<b>ГЛАВА 9. ТЕОРИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОДИНОЧНОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО СНИМКА.....</b>	<b>120</b>
9.1. Системы координат, применяемые в фотограмметрии .....	120
9.2. Элементы ориентирования одиночного топографического снимка .....	122
9.3. Аналитическое трансформирование топографических снимков....	123
9.4. Определение элементов внешнего ориентирования топографического аэрофотоснимка .....	126
9.5. Раздельное определение элементов внешнего ориентирования снимка при фотограмметрической обработке его частей .....	127
9.6. Математический метод решения фотограмметрических задач....	129
9.7. Цифровые модели рельефа .....	132
9.8. Расчет параметров аэрофотосъемки при фотограмметрической обработке одиночного снимка .....	134
9.9. Технология создания векторного плана методом цифровой фотограмметрической обработки одиночного снимка .....	136
Контрольные вопросы.....	140
<b>ГЛАВА 10. ТЕОРИЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ.....</b>	<b>141</b>
10.1. Возможности зрительного аппарата человека.....	141
10.2. Стереоэффект и условия его получения .....	143
10.3. Элементы внешнего ориентирования пары аэрофотоснимков ...	147
10.4. Элементы взаимного ориентирования пары аэрофотоснимков ....	147
10.5. Взаимное ориентирование пары аэрофотоснимков .....	149
10.6. Определение пространственных фотограмметрических координат точек модели местности.....	150
10.7. Внешнее ориентирование фотограмметрической модели местности.....	151
10.8. Прямая фотограмметрическая засечка по паре снимков.....	153
10.9. Расчет параметров аэрофотосъемки при стереофотограмметрической обработке снимков .....	154
10.10. Технология цифровой стереофотограмметрической обработки аэрофотоснимков.....	156
10.11. Планово-высотная привязка аэрофотоснимков.....	158

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

10.12. Пространственная аналитическая фототриангуляция .....	161
10.13. Аппаратные средства и программное обеспечение цифровой обработки снимков.....	163
10.14. Критерии систем цифровой обработки аэро- и космических снимков.....	165
10.15. Алгоритм испытаний систем цифровой фотограмметрической обработки снимков.....	167
10.16. Устройства ввода-вывода изображений .....	171
10.17. Технологические схемы создания цифровых моделей местности.....	175
Контрольные вопросы.....	182
10.18. Фотограмметрическая обработка сканерных снимков, полученных оптико-электронными съемочными системами .....	182
Контрольные вопросы.....	186
<b>ГЛАВА 11. НАЗЕМНАЯ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА .....</b>	<b>187</b>
11.1. Аналитические методы фотограмметрической обработки наземных снимков .....	187
11.2. Подготовительные работы при наземной стереофотограмметрической съемке .....	189
11.3. Полевые работы при наземной стереофотограмметрической съемке .....	191
11.4. Использование метода наземной фотограмметрии при решении нетопографических задач .....	191
11.5. Создание фронтальных планов зданий и сооружений методом наземной стереофотограмметрической съемки.....	194
Контрольные вопросы.....	195
Тесты к части II .....	196
<b>ЧАСТЬ III. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК</b>	
<b>ГЛАВА 12. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ....</b>	<b>204</b>
12.1. Классификация дешифрирования .....	204
12.2. Дешифровочные признаки, используемые при визуальном дешифрировании.....	208
12.3. Материалы аэро- и космических съемок, используемые при визуальном дешифрировании.....	212
12.4. Генерализация информации и критерии качества дешифрирования .....	213
Контрольные вопросы.....	216
<b>ГЛАВА 13. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРА .....</b>	<b>217</b>
13.1. Задачи и содержание кадастрового дешифрирования .....	217
13.2. Основные этапы технологии визуального дешифрирования.....	218
13.3. Объекты дешифрирования при создании планов использования земель масштаба 1:10 000 и 1:25 000 .....	224
13.4. Дешифрирование снимков населенных пунктов для целей кадастра и инвентаризации объектов недвижимости.....	233
Контрольные вопросы.....	238
Тесты к части III .....	238