

**А.Н. СОЛОВЬЁВ, М.М. ОРЕХОВ,
О.М. МАТЭР, В.Е. БОЖБОВ**



ФОТОГРАММЕТРИЯ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.М. КИРОВА»

Кафедра геодезии, землеустройства и кадастров

А.Н. СОЛОВЬЁВ, кандидат технических наук, доцент

М.М. ОРЕХОВ, кандидат технических наук, доцент

О.М. МАТЭР, кандидат технических наук, доцент

В.Е. БОЖБОВ, кандидат технических наук, доцент.

**ФОТОГРАММЕТРИЯ И
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ**

Учебное пособие для бакалавров
по направлению 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»
профиль: «Земельный кадастр и кадастр недвижимости»
всех форм обучения

Санкт-Петербург

2021

УДК 528. 715. 528. 721. 625. 7 (075. 8)

Рассмотрено и рекомендовано к изданию:

Кафедрой геодезии, землеустройства и кадастров института леса и природопользования Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета протокол №13 от 02 марта 2021 года.

Учебно методической комиссией Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета Протокол №7 от 09 марта 2021 года.

Составители:

А.Н. Соловьёв, кандидат технических наук, доцент

М.М. Орехов, кандидат технических наук, доцент

О.М. Матэр, кандидат технических наук, доцент

В.Е. Божбов, кандидат технических наук,

Рецензенты:

Кафедра городского хозяйства, геодезии, землеустройства и кадастров СПбГАСУ
(кандидат технических наук, доцент А.В. Волков).

Доцент кафедры городского хозяйства, геодезии, землеустройства и кадастров
СПбГАСУ Т.Ю. Терещенко.

Фотограмметрия и дистанционное зондирование земли. Учебное пособие для студентов по направлению 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» для подготовки бакалавров всех форм обучения / А.Н. Соловьёв, М.М. Орехов О.М. Матэр, В.Е. Божбов, - СПб.: СПбГЛТУ, 2021, 85 стр.

В учебном Пособии изложены основы фотограмметрии: рассмотрены основные сведения об аэрофотосъемке и аэрофотосъемочном оборудовании, геометрическая сущность и виды воздушного фотографирования, производство аэрофотосъемки; особенности аэрофотосъемки при проектировании дорог; проведен анализ одиночного аэроснимка и стереоскопической пары, элементов ориентирования аэроснимков, зависимости между координатами точек аэроснимка и местности; рассмотрены основы дешифрирования аэроснимков, демаскирующие признаки объектов, дешифрирование топографических объектов и объектов кадастрового учета.

© А.Н. Соловьёв, М.М. Орехов, О.М. Матэр, В.Е. Божбов

©Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет им. С.М.Кирова,
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. Основные сведения о фотограмметрии.....	6
История развития фотограмметрии.....	6
1.1. Аэрофотосъемка и аэрофотосъемочное оборудование.....	9
1.2. Объектив АФА и его основные характеристики.....	12
1.3. Геометрическая сущность воздушного фотографирования.....	14
1.4. Виды воздушного фотографирования.....	14
1.5. Принцип получения цифровых снимков.....	16
1.6. Требования к аэрофотосъемочным работам.....	18
Глава 2 Производство аэрофотосъемки.....	20
2.1 Технические показатели аэрофотосъемки.....	20
2.2 Оценка качества результатов аэрофотосъемки.....	24
2.3 Особые условия проведения аэрофотосъемки городских территорий.....	29
Глава 3. Анализ одиночного аэроснимка.....	30
3.1. План и аэроснимок местности.....	30
3.2. Основные точки и линии аэроснимка.....	32
3.3. Устранение смещений положения точек на аэроснимке.....	33
3.4. Элементы ориентирования аэрофотоснимка.....	38
3.4.1. Элементы ориентирования снимка.....	39
3.4.2. Масштаб аэрофотоснимка.....	40
Глава 4. Создание фотопланов и фотосхем.....	42
4.1. Трансформирование аэрофотоснимков.....	42
4.2. Создание фотоплана и фотосхемы.....	44
Глава 5. Анализ стереоскопической пары.....	46
5.1. Виды зрения и их характеристика.....	46
5.2. Получение искусственного стереоэффекта по снимкам.....	48
5.3. Способы измерений на стереопаре аэрофотоснимков.....	50
5.4. Связь координат точек стереопары аэрофотоснимков и объекта.....	52
5.5. Определение превышений на аэроснимках.....	54
Глава 6. Дешифрирование аэроснимков.....	55
6.1. Общие положения.....	55
6.2. Дешифровочные признаки объектов.....	56
6.3. Способы рассматривания аэроснимков.....	62
6.4. Организация работы при дешифрировании.....	67
Глава 7. Создание и обновление топографических карт по аэроснимкам.....	71
7.1. Стереотопографическая съемка. Технологическая схема.....	71
7.2. Назначение и классификация универсальных приборов.....	73
7.3. Аналоговые, аналитические и цифровые приборы.....	73
7.4. Создание топографических карт на стереоприборах.....	77
7.5. Обновление топографических карт по аэрофотоснимкам.....	79
Глава 8. Понятие о космической съемке.....	80
Список литературы.....	84

ВВЕДЕНИЕ

Фотограмметрия - наука и технология определения количественных и качественных характеристик объектов и их изменений во времени и пространстве по снимкам. Предметы изучения фотограмметрии это геометрические и физические свойства снимков, способы их получения и использования для определения количественных и качественных характеристик сфотографированных объектов, а также приборы и программные продукты, применяемые в процессе обработки.

Таким образом, фотограмметрия является средством бесконтактных, дистанционных измерений.

Исторически научное и техническое развитие фотограмметрии связано с использованием фотоснимков для измерительных целей. Снимки могут быть получены различными методами: фотографическими, радио- и звуколокации, рентгеноскопии, голографии, телевидения и т.д. Эти методы имеют свою геометрию построения изображения, а при использовании их в измерительных целях и дешифрировании снимков - свои особенности. При этом общие принципы решения измерительных задач по различным снимкам аналогичны классическим методам фотограмметрии и сводятся к преобразованию или установлению математической зависимости между изображением точек на снимках и местности, а также к изучению методов обработки фотоснимков в измерительных целях.

Фотограмметрию применяют при картографировании территорий для создания топографических карт и планов, используемых при решении различных научно - технических задач. Раздел фотограмметрии, занимающийся составлением планов и карт местности по фотоснимкам, называют *фототопографией*. Раздел, занимающийся решением различного рода измерительных задач в гидротехнике, геологии, дорожном деле, при землеустроительных и лесоустроительных работах, в географических исследованиях, при охране природы и окружающей среды, съемке памятников истории и культуры, в архитектуре, медицине, военном деле и других областях науки и техники, называют *нетопографической* или *прикладной фотограмметрией*. Раздел, занимающийся вопросами изысканий инженерных сооружений, архитектуры, гидротехники и другими научно - техническими измерениями, называют *инженерной фотограмметрией*, являющейся составной частью прикладной фотограмметрии.

Раздел, занимающийся изучением космического пространства, съемки планет, природных ресурсов, охраны природы и окружающей среды путем съемки со спутников Земли, называют *космической фотограмметрией*.

Основными достоинствами фотограмметрического метода являются:

- высокая точность результатов, так как снимки объектов получают

высокоточными фотокамерами, а их обработку выполняют, как правило, строгими методами;

- высокая производительность, достигаемая благодаря тому, что измеряют не сами объекты, а их изображения. Это позволяет обеспечить автоматизацию процесса измерений и последующих вычислений;

- объективность и достоверность информации, возможность при необходимости повторения измерений;

- возможность получения в короткий срок информации о состоянии, как всего объекта, так и отдельных его частей;

- безопасность ведения работ, так как съемка объекта выполняется неконтактным (дистанционным) методом. Это имеет особое значение, когда объект недоступен или пребывание в его зоне опасно для здоровья человека.

- возможность изучения движущихся объектов и быстро протекающих процессов.

Рассматриваемые методы конечно не лишены и ряда недостатков. К ним следует отнести зависимость фотографических съемок от метеоусловий и необходимость выполнения полевых геодезических работ с целью контроля всех технологических процессов. Поэтому только разумное их сочетание с другими методами получения информации может обеспечить решение поставленной задачи с минимальными затратами труда и средств.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ФОТОГРАММЕТРИИ

История развития фотограмметрии

Начало научных основ теории определения формы, размеров и положения объектов по их перспективным изображениям было положено еще в эпоху Возрождения. Работами Альберти (1511 г.), Дюрера (1525 г.), Дезарга (1636 г.) были заложены предпосылки для развития теории перспективы, позволившие швейцарскому математику И. Ламберту опубликовать в 1759 г. обобщающий труд «Свободная перспектива». Практическое применение перспективных рисунков, полученных камерой-обскурой, в топографии связано с именами М.А. Капеллера (1725 г.), М.В. Ломоносова (1764 г.), Ш.-Ф. Ботан-Бопре (1791 г.). Важнейшим событием в истории фотограмметрии явилось изобретение фотографии (Ж.Н. Ньепс, Ж.М. Даггер и У. Тальбот, 1839 г.) и стереофотографии (Дюбоск, 1844 г. и И.Ф. Александровский, 1852 г.). Первые теоретические и практические разработки по использованию фотографического изображения для составления топографических карт принадлежат французскому офицеру Э. Лосседа (1849-1868 гг.). Дальнейшие

совершенствования фотограмметрии в конце XIX в. связано с именами А. Майденбауера, В. Иордана, С. Финстервальдера (Германия), П. Паганини (Италия), Е. Девиля (Канада), Н.Ф. Виллера, Р.Ю. Тиле, П.И. Щурова (Россия).

Большой вклад в разработку теории и практику фотограмметрических работ, создание приборов внесли русские инженеры. Первые опытные работы по фототопографической съемке выполнены в России в 1891 г. Н.Ф. Виллером при изыскании Закавказской железной дороги. В 1897 г. Р.Ю. Тиле и П.И. Щуров применили фототеодолитную съемку на изысканиях Забайкальской и Маньчжурской железных дорог. К этому времени относится публикация первых научных трудов по фотограмметрии С. Коппе (1889 г.), Е. Девиля (1895 г.), Г.Н. Шибуева и Н.Н. Веселовского (1899 г.).

Большое влияние на дальнейшее развитие фотограмметрии оказали трехтомный труд Р.Ю. Тиле "Фотография в современном развитии" (1908-1909 гг.) и первый учебник "Измерительная фотография и ее применение в воздухоплавании" (1907 г.), написанный В.Ф. Найденовым для слушателей Военно-инженерной академии. В учебнике были обобщены вопросы теоретической фотограмметрии и дано математическое обоснование способов графического трансформирования аэроснимков.

Одновременно с наземным фотографированием развивается фотографирование с воздушных носителей (шаров, аэростатов и т.д.). Первые фотографии с аэростатов были получены в 1858 г. французом Ф. Надаром. В России началу аэрофотосъемочных работ положили поручик А.М. Кованько, выполнивший в 1886 г. с воздушного шара аэрофотосъемку устья реки Невы с высот 800, 1200 и 1350 м, и полковник Н.А. Козлов, впервые в 1887 г. выполнивший аэрофотосъемку на пленку.

Развитие авиации, точного приборостроения и оптики привело к дальнейшему совершенствованию методов фотограмметрии. Решающими в истории ее развития после изобретения фотографии явились открытие Штольцем в 1892 г. принципа измерительной марки, изобретение Е. Девиллом в 1895 г. стереоскопического прибора для составления карт по фотоснимкам и изобретение К. Пульфрихом в 1901 г. стереокомпаратора. Стереоскопический принцип измерения стереопары устранил трудности связанные с отождествлением одинаковых точек на разных снимках и открыл новые возможности по совершенствованию их камеральной обработки. В 1914 г. фирма К. Цейсса выпустила первый универсальный прибор, изобретенный в 1908 г. Э. Орелем (Австрия).

В России до 1917 г. фотограмметрия применялась в основном для военных целей. Создание отечественной фотограмметрической аппаратуры и приборов тормозилось из-за слабого развития оптико-механического производства.

В начале Советского периода развития страны создается

фототопографическая служба, осуществляется подготовка кадров и разработка новой технологии создания карт. В 1919 г. в системе Военно-топографической службы (ВТС) был создан первый аэрофототопографический отряд. В том же году открылась Высшая аэрофототопографическая школа Красного военно-воздушного флота. В 1921 г. в Московском (бывшем Межевом) геодезическом институте открывается аэрофотогеодезическое отделение, преобразованное в последующем в факультет, чем и было положено начало подготовки инженерных и научных кадров в области фотограмметрии.

За рубежом в 1922 г. фирмой К. Цейсса была создана первая модель стереопланиграфа, при помощи которого по аэроснимкам, используя принцип стереоскопического зрения, стало возможным составление плана с горизонталями. Приборы такого типа названы универсальными стереофотограмметрическими приборами, а способ создания планов при помощи этих приборов – универсальным способом стереофотограмметрической съемки. В 1928 г. в Москве создан Государственный институт геодезии, аэрофотосъемки и картографии (ныне Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф.Н. Красовского). Его ученые внесли существенный вклад в развитие топографо-геодезического и картографического производств.

Значимыми результатами дальнейшего развития было создание М.М. Русиновым широкоугольного и сверхширокоугольного объективов, С.П. Шокиным и Г.Г. Гордоном – топографических аэрофотоаппаратов. В 1933 г. выпущен стереоавтограф Ф.В. Дробышева. В 1934-1938 гг. им созданы стереометры, что послужило основой для широкого внедрения в производство и дальнейшего усовершенствования метода дифференцированных процессов. Для картографирования страны с 1937 г. начинают широко применяться методы аэрофототопографической съемки, а к 1939 г. в системе главного управления геодезии и картографии они стали основными способами топографических съемок.

Успехи отечественной фотограмметрии позволили приступить к съемкам обширной территории страны в масштабах 1: 100 000, 1: 50 000 и 1: 25000. К началу Великой Отечественной войны сплошное картографирование территории страны в мелких и средних масштабах в основном было выполнено.

Во время второй мировой войны фактически все имеющиеся средства фотограмметрического картографирования были подчинены решению сложной задачи создания огромного количества карт и фотодокументов для удовлетворения нужд войны.

После Великой Отечественной войны перед геодезией была поставлена задача завершения картографирования страны в масштабе 1: 100 000 и перехода к сплошному картографированию в масштабе

1: 25 000, а для отдельных районов - к съемкам в более крупных масштабах. В связи с этим потребовалось дальнейшее усовершенствование приборов и методов съемки. В 1950 г. на базе отечественной оптики был создан сверхширокоугольный многокамерный аэропроектор - мультиплекс (М.М. Русинов, Н.В. Викторов).

В последней четверти 20 века произошел качественный скачок в развитии электронно-вычислительной техники. В 1970 году создана технология получения цифровых снимков, появились быстродействующие ПК с большим объемом памяти, обеспеченные качественным периферийным оборудованием (графопостроители, сканеры, принтеры и т.д.). Интенсивно разрабатывалось программное обеспечение, среди которого следует отметить и специализированные фотограмметрические пакеты. Все это привело к тому, что традиционные технологии составления карт по снимкам стали вытесняться, а их заменили цифровые методы. Появились спутниковые методы позиционирования, что обеспечило аэронавигацию и получение координат точек фотографирования с высокой точностью. Это существенно сократило объем полевых работ по геодезической привязке аэрофотоснимков.

Но успешное совершенствование фотограмметрических технологий возможно лишь на базе совместного использования материалов фотосъемки, спутниковой геодезии и автоматизированных систем обработки информации.

1.1. Аэрофотосъемка и аэрофотосъемочное оборудование

Аэрофотосъемка - фотографирование местности с самолета или какого-либо летательного аппарата. Аэрофотосъемка производится для создания топографических карт, планов, профилей по аэроснимкам, изучения и учета лесных, и земельных фондов, проектирования инженерных сооружений, при выполнении геологоразведочных работ и для других народнохозяйственных целей.

Аэрофотосъемка включает комплекс летносъемочных, фотолабораторных и фотограмметрических работ, в результате которых получают аэронагивы и аэроснимки местности, а также другие вспомогательные материалы.

Летносъемочные работы включают задание технических условий полета и фотографирования, аэронавигационное руководство полетом и фотографирование согласно техническому проекту. Фотолабораторные работы содержат фотообработку экспонированных фильмов, печатание аэроснимков и изготовление репродукции накидного монтажа. Фотограмметрические работы заключаются в регистрации аэрофотосъемки и оценке ее качества.

Аэрофотосъемка по условиям выполнения и метрическим требованиям к аэроснимку существенно отличается от обычных видов фотографии. Эти отличия обуславливаются повышенными требованиями к измерительным качествам снимка, наличием малоконтрастных деталей на местности с большой границей изменения оптических характеристик, что необходимо учитывать для получения качественных снимков. Для аэрофотосъемки применяются *топографические* аэрофотоаппараты (АФА). Топографические АФА предназначены для получения аэроснимков, обладающих высокими измерительными и изобразительными свойствами. Они непосредственно реализуют принцип центральной проекции на плоскость снимка и являются кадровыми.

Аэрофотоаппарат для топографической съемки имеет жесткую конструкцию и состоит из объективной, камерной и кассетной частей (рис. 1.1).

Аэрофотоаппараты, применяемые для воздушного фотографирования, принципиально не отличаются от обычных наземных фотоаппаратов, но у них имеются конструктивные особенности, вызываемые особыми условиями работы в воздухе и необходимостью автоматизации всего процесса фотографирования.

Основными особенностями аэрофотоаппаратов являются:

фокусировка объектива на бесконечность;

короткие выдержки затвора с целью получения качественных аэроснимков на различных высотах и скоростях полета;

жесткость конструкции, обеспечивающая сохранение постоянных величин аэрофотоаппарата (фокусного расстояния, положения главной точки аэроснимка);

надежность и безотказность работы механизмов в условиях низких температур.

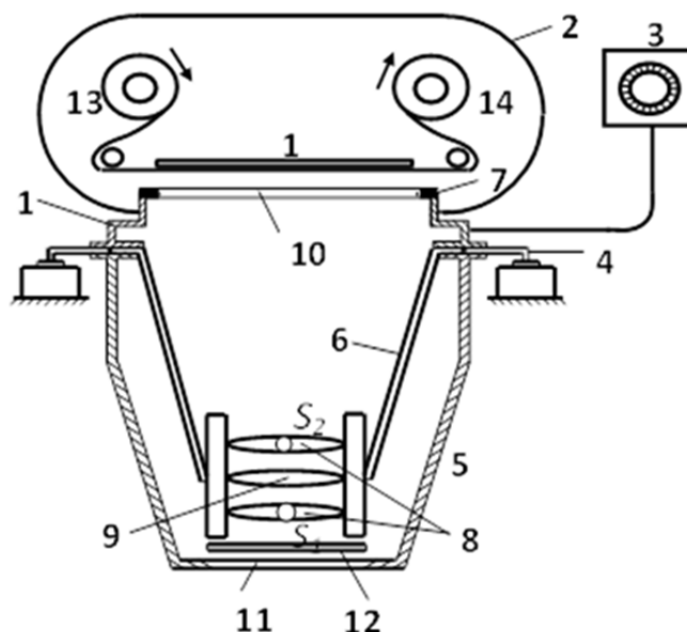


Рис.1.1.1. Принципиальная схема аэрофотоаппарата

Аэрофотоаппарат имеет фотокамеру 1 и кассету 2, как правило, съемную. Фотокамера состоит из корпуса 5, объективного блока 6 и прикладной рамки 7, к которой в момент экспонирования должен прижиматься эмульсионный слой фотоматериала. В нижней части объективного блока вмонтирован объектив 8. Расстояние от задней узловой точки S_2 объектива до плоскости прикладной рамки 7 постоянно и равно фокусному расстоянию АФА. Между компонентами объектива установлены диафрагма 9 и центральный многодисковый затвор. Конструкции затворов рассчитаны на диапазон выдержек от 1/50 до 1/1000 сек. и меньше.

Для надежного выравнивания аэрофотопленки в плоскость прикладной рамки устанавливается выравнивающие плоскопараллельное стекло 10. На нем выгравированы координатные метки, контрольные линии или координатная сетка в виде крестов, с промежутками в 1 или 2 см. В нижней части фотокамеры под объективом устанавливается защитное стекло 11, а между защитным стеклом и объективом – светофильтры 12.

Для монтажа АФА на самолете или другом носителе служит *аэрофотоустановка*, которая используется для ориентирования АФА в пространстве и предохраняет его от толчков и вибрации. Для дистанционного управления работой АФА служит *командный прибор*, который имеет время измерительный механизм, обеспечивающий срабатывание АФА через заданные интервалы времени.

При аэрофотосъемке, кроме АФА, используют комплект аэросъемочного оборудования: радиовысотомер, статоскоп, приемоиндикатор радионавигационных систем.

Радиовысотомер предназначен для определения высоты фотографирования.

Статоскоп служит для определения разности высот фотографирования.

Приемоиндикатор радионавигационных систем предназначен для определения координат точки фотографирования в момент съемки.

В настоящее время для всех процессов летносъемочных работ разработаны соответствующие автоматизированные системы, и специализированный аэрофотосъемочный самолет АН-30, оборудованный ими, может выполнять летносъемочные работы по заданной программе в соответствии с командами аэронавигационной автоматической системы.

1.2. Объектив АФА и его основные характеристики

Изображение в фотокамере строится на плоскости (пленке или пластинке со светочувствительным слоем, или ПЗС матрице) с помощью объектива, представляющего собой сложную оптическую систему собирательных и рассеивающих линз, центры кривизны сферических поверхностей которых расположены на одной прямой линии, называемой главной оптической осью.

Законы геометрической оптики позволяют сложную оптическую систему идеального объектива заменить упрощенной моделью (линзой), сечение которой плоскостью, проходящей через главную оптическую ось, показано на рис. 1.2.

На нем: R_1 и R_2 – передняя и задняя поверхности объектива; S_1 и S_2 – его передняя и задняя узловые точки; F_1 и F_2 – передний и задний главные фокусы; H_1 и H_2 – главные плоскости объектива (они проходят через точки S_1 и S_2 перпендикулярно главной оптической оси).

Передняя узловая точка S_1 относится к пространству предметов местности и является точкой фотографирования. Задняя узловая точка S_2 относится к пространству изображения и является центром проекции. Узловые точки обладают тем свойством, что любой луч, вошедший в переднюю узловую точку, выйдя из задней узловой точки, не меняет направления. Такие лучи называются центральными.

Главным фокусом объектива (линзы) называется точка схода лучей идущих от бесконечно удаленного предмета, параллельно главной оптической оси. Их два. Плоскости, проходящие через главные фокусы перпендикулярно к главной оптической оси, называются фокальными плоскостями.

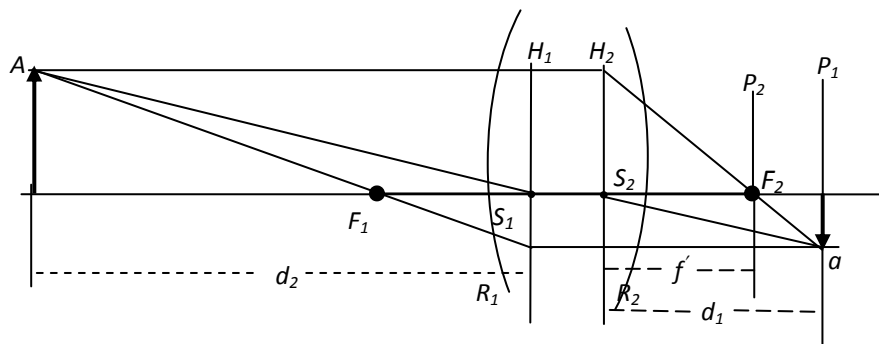


Рис. 1.2. Построение изображения объективом

Изображение любой точки, например, A , фотографируемого объекта местности строится следующим образом. Луч, идущий параллельно главной оптической оси, преломляется на главной задней плоскости H_2 и проходит через задний фокус F_2 . Луч, проходящий через передний фокус F_1 , после преломления на передней главной плоскости H_1 пойдет параллельно оптической оси. В соответствии с законами геометрической оптики центральный луч AS входит в переднюю узловую точку S_1 под углом β к оптической оси и выходит из задней узловой точки S_2 под тем же углом к ней. В результате таких построений все три луча пересекутся в точке a на плоскости P_1 . При этом для точек A и a будет выполняться условие оптического сопряжения

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{f'},$$

где d_1 – расстояние от плоскости H_2 до плоскости изображения P_1 ;
 d_2 – расстояние от плоскости H_1 до точки фотографируемого объекта;
 f' – фокусное расстояние объектива (рис.1. 2).

Говорят, что объектив, изображенный на рисунке строит действительное, уменьшенное и перевернутое (обратное) изображение рассматриваемого объекта.

Фотографические объективы характеризуются фокусным расстоянием, относительным отверстием, глубиной резкости, углами поля зрения и изображения, разрешающей способностью и аберрациями.

Относительное отверстие характеризует количество света, которое может проходить через объектив, или способность объектива передавать изображение на фотопленку или фотопластинку с определенной степенью яркости.

Способность объектива давать изображение большей или меньшей яркости (т.е. создавать большую или меньшую освещенность светочувствительного слоя) называется светосилой.

Глубиной резкости (глубиной изображения) называется способность объектива передавать одинаково резко изображения предметов, находящихся на различных от него расстояниях.

Разрешающая способность объектива характеризует его возможность

воспроизводить отдельно в оптическом изображении мелкие объекты.

Каждому объективу присущи оптические недостатки: сферическая аберрация, кома, хроматическая аберрация, дисторсия, астигматизм, кривизна поля зрения.

1.3. Геометрическая сущность воздушного фотографирования

Геометрическая сущность воздушного фотографирования состоит в том, что местность изображается в центральной проекции (рис. 1.3).

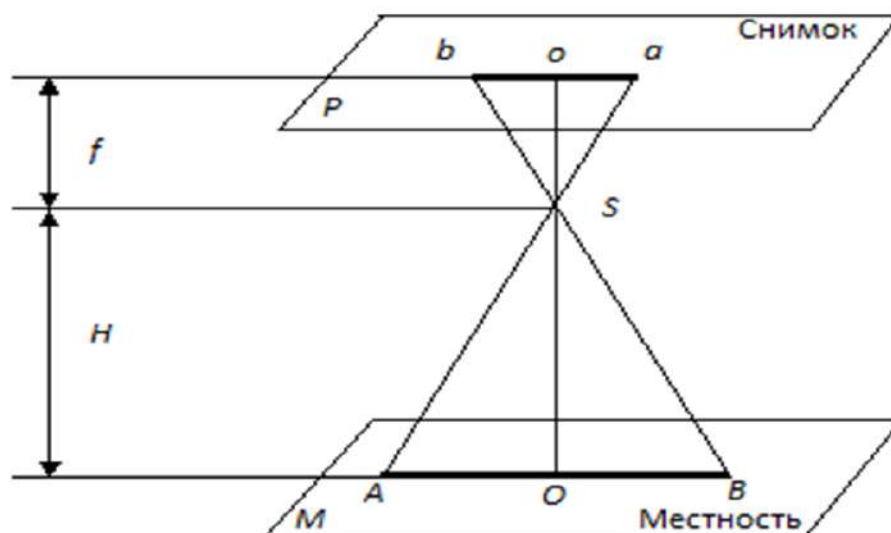


Рис. 1.3. Геометрическая сущность воздушного фотографирования

Центр объектива S аэрофотоаппарата является центром проекции, а плоскость аэроснимка P - плоскостью проекции. Прямая Oo , проходящая через центр объектива перпендикулярно к плоскости аэроснимка, называется *оптической осью* фотоаппарата. Точка пересечения оптической оси с плоскостью снимка (точка o) называется *главной точкой* аэроснимка. Расстояние So от центра объектива до плоскости аэроснимка называется *фокусным расстоянием* аэрофотоаппарата и обозначается буквой f . Расстояние SO от центра объектива до земной поверхности называется *высотой фотографирования* и обозначается буквой H .

1.4. Виды воздушного фотографирования

Виды воздушного фотографирования определяются по следующим основным признакам:

- по положению оптической оси АФА в момент фотографирования;
- по количеству и расположению аэроснимков во время залета;
- в зависимости от применяемого при фотографировании фотоматериала.

По положению оптической оси АФА в момент фотографирования различают два вида воздушного фотографирования: *плановое* и *перспективное* (рис. 1.4).

Если в момент фотографирования отклонение оптической оси камеры АФА от отвесного ее положения не превышает 3° ($\alpha \leq 3^\circ$), то такое фотографирование называют *плановым*. Если же оптическая ось камеры АФА в момент фотографирования отклоняется от ее отвесного положения на угол, превышающий 3° ($\alpha \geq 3^\circ$), то такое фотографирование принято называть *перспективным*.

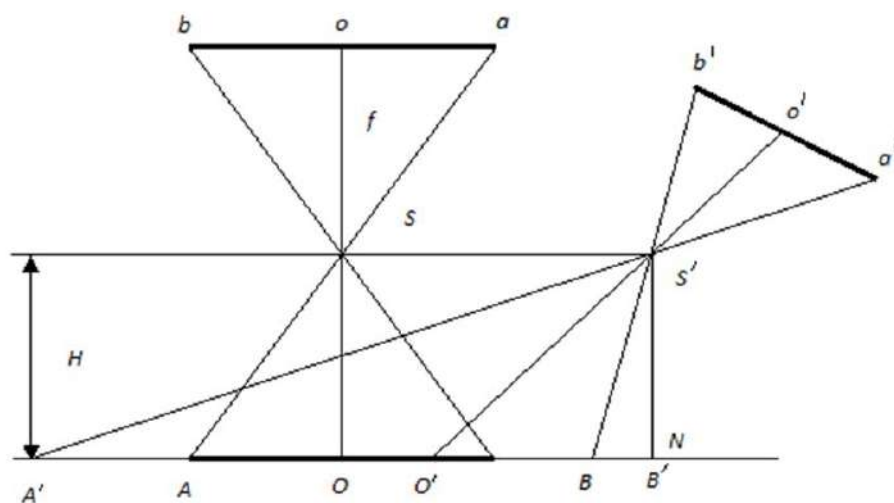


Рис. 1.4. Схема плановой и перспективной аэрофотосъемки

По количеству и расположению аэроснимков аэросъемка подразделяется на:

- *кадровую* (одинарную), при которой получают один или несколько не перекрывающихся между собой аэроснимков;
- *маршрутную*, при которой получают взаимно перекрывающиеся аэроснимки полосы местности вдоль линии полета летательного аппарата;
- *многомаршрутную* (площадную), при которой получают взаимно перекрывающиеся аэроснимки местности путем прокладки прямолинейных перекрывающихся между собой маршрутов.

При выполнении маршрутной или многомаршрутной аэрофотосъемки на смежных аэроснимках обязательно должно быть изображение одной и той же местности. Изображение одной и той же местности на смежных снимках называется *перекрытием* аэроснимков. Взаимное перекрытие смежных снимков в маршруте называется *продольным* перекрытием. Оно может быть двойным и тройным (рис. 1.5). Взаимное перекрытие аэроснимков смежных маршрутов называется *поперечным* перекрытием. Оно, как правило, двойное.

Перекрытие аэроснимков выражают в процентах от длины сторон аэроснимка и подсчитывают по формулам

$$p = (p_l / l_x) 100; \quad q = (q_l / l_y) 100, \quad (1.1)$$

где p и q - продольное и поперечное перекрытия, %;
 p_l и q_l - те же перекрытия в линейной мере;
 l_x и l_y - длины сторон аэроснимка вдоль и поперек маршрута.

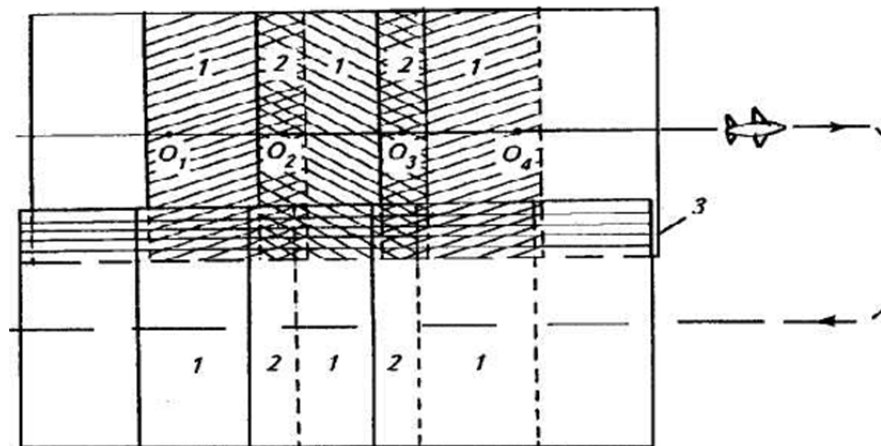


Рис. 1.5. Продольное и поперечное перекрытия снимков.
 Зоны перекрытия: 1 - продольного; 2 - тройного; 3- поперечного

В зависимости от применяемого при фотографировании фотоматериала аэрофотосъемка бывает *черно-белая*, дающая черно-белое изображение местности, *цветная*, при которой местность изображается в естественных или близких к ним цветах, *спектрозональная*, дающая изображение местности в условных цветах.

1.5. Принцип получения цифровых снимков

В настоящее время цифровые изображения (снимки) в основном получают либо при фотографировании объектов цифровыми камерами, либо путем сканирования их фотографических изображений.

И в том и в другом случаях изображение, сформированное посредством объектива, попадает не на пленку, а на светочувствительный сенсор (матрицу). Свет улавливается множеством крошечных элементов сенсора (пикселей), каждый из которых формирует электрический заряд, в соответствии с количеством попавшего на него света, а затем заряд преобразуется в код и запоминается в цифровой форме.

В производстве сенсоров применяются две технологии: ПЗС (прибор с зарядовой связью, английский вариант названия - CCD — (charge-coupled device) и КМОП (комплиментарный металлоксидный полупроводниковый прибор, английский вариант - CMOS). Первая технология старше второй, а потому и сенсоры ПЗС лучше. ПЗС это монолитный чип, представляющий

собой совокупность мельчайших датчиков-фотоэлементов, тем или иным способом собранных в единую матрицу.

Одной из важнейших характеристик светочувствительного сенсора является его *физический размер*. Размеры сенсора определяются длиной его диагонали, и измеряются в дюймах. Стандартный ряд типоразмеров светочувствительных матриц - 1/3, 1/2, 2/3 дюйма, есть и больше, например 5/3. При одинаковом разрешении (количестве ячеек) матрица большего размера лучше, чем матрица меньшего размера. Она способна воспринять больше ступеней перепадов яркости между абсолютно-белым и абсолютно-черным цветами. Количество этих градаций называется *динамическим диапазоном* и определяется числами диафрагм: 2, 2.8, 4 и т.д.

Динамический диапазон ПЗС является очень важной характеристикой качества изображения и соответствует понятию фотографической широты пленки.

Другой важный параметр сенсора - его *светочувствительность*, Она тоже зависит от физического размера сенсора, точнее, от размера ячейки. Обычная светочувствительность эквивалентна 80-200 ISO. Увеличение чувствительности происходит на стадии обработки информации с матрицы путем усиления сигнала.

Но наиболее важный параметр, это *разрешение* цифровой камеры. Оно определяется количеством светочувствительных ячеек, расположенных на матрице. Стандартный ряд начинается с 350 тыс. пикселей, что соответствует экранному изображению стандарта VGA — 640x480 пикселей.

Простой замер интенсивности света, попавшего на ПЗС-матрицу, может породить только черно-белое изображение, поэтому перед ней помещают цветные фильтры. Самой популярной технологией получения цветного изображения является однокадровая с одной матрицей, состоящая из триад. Перед каждым элементом триады устанавливается микроскопический светофильтр одного из базовых цветов (красный, зеленый, синий). Их сочетание дает полный спектр. Альтернативой быстродействующим системам с одной матрицей ПЗС можно считать только фотоаппараты с тремя матрицами, каждая из которых фиксирует изображение за своим светофильтром одного из базовых цветов. Специальная оптическая система расщепляет сфокусированный объективом световой луч и направляет его на все три матрицы. Светофильтры, установленные перед каждой матрицей, пропускают только свою часть цветовой характеристики. После этого с помощью трех сенсоров картинка передается в электронный логический блок камеры, где становится одной фотографией, записанной во флэш-память в виде графического файла.

Применение сразу трех матриц позволяет получить очень высокое

качество изображения.

Важной характеристикой матрицы ПЗС является метод считывания состояния ее ячеек. Существуют три типа сенсоров - с построчным, покадровым и построчно-кадровым переносом зарядов, накопленных ячейками матрицы при их засветке. Этот показатель отражает быстродействие сенсора. Значения, собранные по всей площади сенсора, выстраиваются с высокой точностью, создавая своеобразную «карту», на которой четко определено физическое расположение всех цветов и их интенсивность. В результате и получается цифровое изображение, которое записывается в виде цифрового файла. Такой файл состоит из множества единиц информации (битов), которые затем могут быть расшифрованы и прочитаны другим цифровым устройством, например, компьютером или принтером.

Каждый пиксел несет в себе информацию о цвете. Количество получаемых цветовых оттенков определяется способностью цифровой камеры распознать и зафиксировать количество градаций каждого из базовых цветов.

Чтобы снимок, полученный цифровым способом, мог хотя бы приблизиться по качеству к снимку с пленочного негатива, каждый элемент сенсора должен иметь размер, который был бы сравним с частицей галогенида серебра пленочной эмульсии. Речь идет об элементе величиной с десяток микрон. Если учесть, что каждый светочувствительный элемент (пиксел) это сочетание трех более мелких субэлементов, снабженных индивидуальным светофильтром (красным, зеленым или голубым), то становится ясно, какая это сложная задача. На практике даже очень качественный и большой по физическим размерам сенсор обладает худшей разрешающей способностью, чем самая крупнозернистая фотопленка. Именно поэтому в цифровых камерах используются сложные механизмы программной коррекции и интерполяции изображения.

1.6. Требования к аэрофотосъемочным работам

К аэросъемке, выполняемой для картографирования территорий, предъявляются следующие технические требования:

1. Аэрофотоаппарат должен иметь объектив с разрешающей способностью не менее 25-30 линий в центре и 8-10 линий на краях, при фотограмметрической дисторсии не более 0.02 - 0.04 мм.

2. Аэросъемочные маршруты должны перекрывать границы участка аэросъемки на величины не менее 1/3 заданной ширины маршрута.

3. Направление аэросъемочных маршрутов не должно уклоняться от заданного курса более чем на пять, а фактическое число маршрутов превышать расчетное более чем на один.

4. Колебание в расчетной высоте фотографирования допускается в пределах маршрута не более чем на ± 50 м.

5. Продольное взаимное перекрытие аэроснимков не должно быть меньше 56%, а поперечное 17%.

6. Непараллельность базиса фотографирования сторонам аэроснимка не должна быть больше 5° .

7. Непрямолинейность маршрутов не должна быть больше 3%.

8. Аэронегативы, диапозитивы и аэроснимки должны иметь нормальную плотность и контрастность, вуаль (почернение, полученное при проявлении фотографического слоя, не подвергшегося воздействию света) должна быть в допустимых пределах. Они не должны содержать изображений облаков и их теней, царапин, пятен, бликов и других дефектов, понижающих точность фотограмметрических определений, полноту и достоверность результатов дешифрирования аэроснимков. Фиксирование и промывка всех материалов аэрофотосъемки должны обеспечивать их долгое хранение.

9. Углы наклона аэроснимков, снятых с гиросtabilизирующей установки, не должны превышать $40'$.

10. При стереоскопическом просмотре аэроснимков не должно быть искажений форм рельефа и нерезкостей фотоизображения, связанных с невыравниванием аэропленки в плоскость при фотографировании.

По завершении всего комплекса работ по аэрофотосъемке в летно-съемочном отряде проводится оценка качества результатов аэрофотосъемки. Цель этой работы - выявить пригодность материалов аэрофотосъемки для измерительных работ.

Оценка проводится на основании технических требований к аэрофотосъемке. Результаты оценки качества аэрофотосъемки заносят в паспорт залета. К нему прилагают сведения по испытанию аэрофотоаппаратов, радиовысотомера и статоскопа, а также ряд данных о полете, качестве выравнивания пленки, характеристики условий фотографирования и т.д.

По результатам аэрофотосъемочных работ заказчику выдают следующие материалы:

- 1) аэрофильмы всех залетов;
- 2) диапозитивы всех аэроснимков в 1 экз.;
- 3) аэроснимки (контактные отпечатки) в 2-4 экз.;
- 4) репродукции накидных монтажей в 2 экз.;
- 5) фотопленки с показаниями радиовысотомера;
- 6) фотопленки с показаниями статоскопа;
- 7) паспорта залетов;

8) выписки из аттестатов аэрофотоаппаратов, радио высотомера и статоскопа.

Глава 2 ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ

2.1. Технические показатели аэрофотосъемки

При создании топографической основы фотограмметрическим методом используют снимки, полученные отечественными аэрофотоаппаратами типа АФА-ТЭ, АФА-ТЭС, а из зарубежных - LMK, RC-30 (Leica). В качестве основных носителей съемочной аппаратуры применяют самолеты: Ан - 2, Ан - 30, Ту - 134СХ, Ил - 20М (табл. 2.1).

Характеристика основных воздушных носителей

Показатель	Тип самолета			Вертолет Ка – 26
	Ан - 2	Ан - 30	Ту - 134	
Диапазон скоростей, км/ч	140...250	240...490	300...900	0...160
Практический потолок, м	4500	8900	11800	3100
Взлетная дистанция, м	690	1240	2180	-
Продолжительность полета, ч	7	6	5	3,5
Эксплуатационная скорость, км/ч	180...210	450...475	600...880	140
Дальность полета, км	1200	2300	2900	400

В некоторых случаях съемку проводят с вертолетов, мотодельтапланов, управляемых по радио авиамodelей и воздушных шаров. Съемку выполняют в ясную солнечную погоду, при отсутствии облаков. Комплекс аэрофотосъемочных работ состоит из нескольких этапов:

- *разработки 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 и компьютерная система управления полетом и работой аэрофотоаппарата типа ASCOD, разработка задания имеет свои особенности. Получают координаты проектируемых центров фотографирования, т. е. точек, в которых происходит открытие затвора АФА (экспонирование). Для этого на топографическую карту масштаба 1:100 000 наносят заданную границу участка (объекта) аэрофотосъемки. Затем с помощью дигитайзера 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;

- *подготовки аэрофотосъемочного оборудования, полетного задания и т.п.*;

- *аэрофотографирования*;

- *фотолабораторная обработка аэрофильмов* (проявление, фиксирование, сушка, нумерация негативов, контактная печать аэроснимков);

- *составления накидного монтажа и изготовления его репродукции, оценки фотографического и фотограмметрического качества материалов аэрофотосъемки*;

- *сдачи материалов аэрофотосъемки заказчику.*

При аэрофотографировании масштаб получаемых снимков, по экономическим соображениям, 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 ($1 : M < 1 : 51\,000$),

сверхмелкомасштабную ($1 : M < 1 : 200\,000$).

Фотосъемку в зависимости от угла отклонения оптической оси объектива АФА от вертикали, как было рассмотрено ранее, делят на плановую и перспективную.

Плановой называют аэрофотосъемку, выполняемую при вертикальном

положении оптической оси, при этом угол отклонения допускается до 3° .

Использование гиростабилизирующих аэрофотоустановок при фотографировании местности позволяет получить снимки с углом наклона $7...10$ мин (предельное значение угла 40 мин). При создании планов и карт крупного масштаба применяют снимки, полученные в результате проведения плановой аэрофотосъемки.

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

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

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

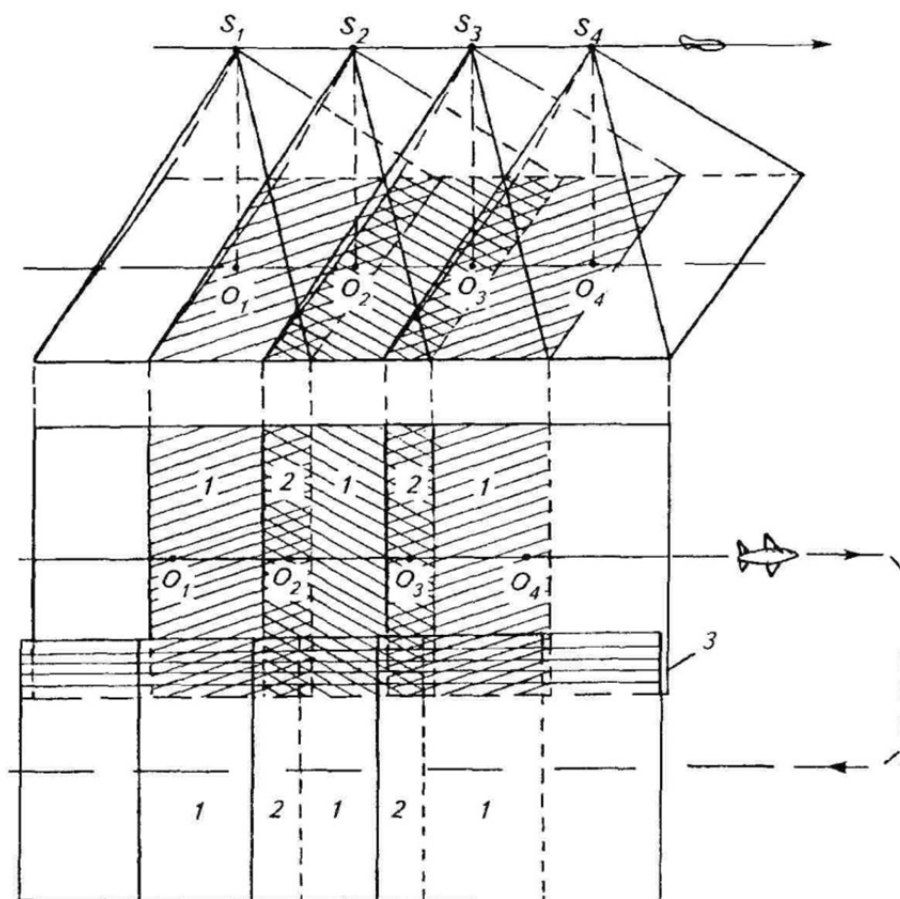


Рис. 2.1. Схема аэрофотосъемки

1 - двойное продольное перекрытие снимков; 2 - тройное продольное перекрытие снимков; 3 - поперечное перекрытие снимков; $S_1 \dots S_4$ - положение центров фотографирования; $O_1 \dots O_4$ - их проекции на местности.

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

При *маршрутной* фотосъемке изображение полосы местности представляется в виде некоторого количества снимков, полученных по направлению (маршруту) полета летательного аппарата. Маршрут полета может быть прямолинейным, криволинейным или ломаным. 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 проводят по криволинейным или ломаным маршрутам.

Многомаршрутная (площадная) фотосъемка представляет собой получение снимков местности с нескольких параллельных маршрутов (рис. 1). Маршруты прокладываются чаще всего по направлениям восток-запад-восток или север-юг-север. Площадную аэрофотосъемку применяют при картографировании или обследовании больших территорий.

Одномаршрутную и многомаршрутную аэрофотосъемку, проводимую с помощью кадровых АФА, выполняют с перекрытиями

соседних снимков. *Перекрытиями* называют части аэроснимков, на которых изображена одна и та же местность. Значения перекрытий выражают в процентах от длины стороны снимков.

Взаимное перекрытие снимков одного маршрута - это *продольное перекрытие*, рассчитываемое по формуле

$$p_x = (l_x * 100\%) / l, \quad (2.1)$$

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

Продольное перекрытие снимков рассчитывают или задают, исходя из технологии фотограмметрической обработки снимков (или иных соображений). Величина его может быть 60, 70, 80, 90 %. Перекрытие двух смежных снимков называют двойным (на рис. 2.1 обозначено цифрой 1). Зона перекрытия трех снимков - тройное перекрытие (на рис. 2.1 обозначено цифрой 2) и т. д. Для каждого стандартного значения продольного перекрытия определяют минимальные и максимальные пределы.

Продольное перекрытие обеспечивается частотой (временным интервалом) включения АФА, которое зависит от высоты фотографирования и путевой скорости летательного аппарата. Расстояние между соседними точками фотографирования в маршруте называют базисом фотографирования и обозначают B_x .

Поперечное перекрытие P_y - это перекрытие снимков соседних маршрутов. Поперечное перекрытие рассчитывают по формуле

$$p_y = (l_y * 100\%) / l, \quad (2.2)$$

где l_y - размер перекрывающейся части снимков двух смежных маршрутов.

Минимальное поперечное перекрытие допускается 20 %. Расстояние между маршрутами (см. рис. 1) рассчитывают по формуле

$$B_y = l_y * m * (100\% - p_y) / 100\%, \quad (2.3)$$

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. Эту часть снимка называют *рабочей площадью* снимка. Рабочую площадь снимка, ограниченную линиями, проходящими через середины двойных продольных и поперечных перекрытий, называют *теоретической* (рис. 2.2).

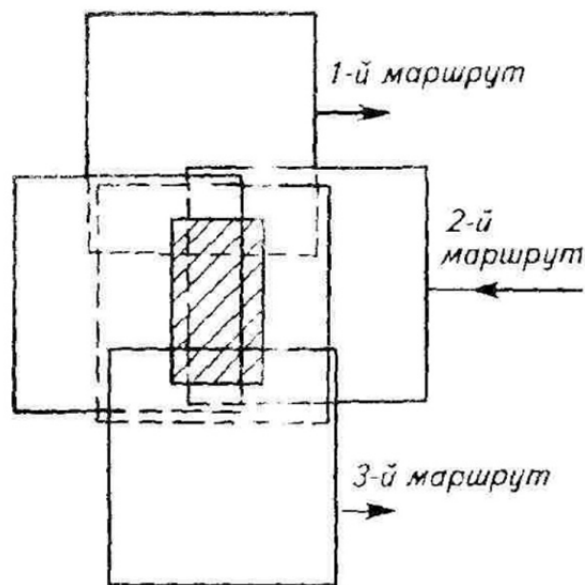


Рис. 2.2 Рабочая площадь снимка

Размеры ее сторон b_x - и b_y по соответственным осям x и y рассчитывают по формулам:

$$b_x = l (100\% - p_x) / 100\% \quad (2.4)$$

$$b_y = l (100\% - p_y) / 100\% \quad (2.5)$$

Теоретическую рабочую площадь используют при расчетах, а практическую - при выполнении фотограмметрических работ.

2.2. 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, если фирма-исполнитель имеет возможности выполнить этот вид работ. В задании отмечают технические параметры

съемки: назначение съёмки, высота фотографирования, фокусное расстояние АФА, съёмочный масштаб, тип аэрофотоаппарата, тип аэрофотопленки и светофильтра, использование специальной аппаратуры, сопровождающей аэрофотосъемку (радиовысотомеров, приборов GPS 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 аэрофотосъёмочных работ, которую согласовывают с заказчиком;

- между заказчиком и исполнителем заключается договор на выполнение аэрофотосъёмки.

После выполнения аэрофотосъёмочных работ оценивают качество материалов аэрофотосъёмки.

Оценку качества материалов съёмки выполняют с целью выявления соответствия реально получаемых результатов требованиям технического задания и существующим нормативам, значения которых определены инструкциями и наставлениями по производству аэрофотосъёмок. Оценивают фотографическое качество аэрофотоснимков и фотограмметрическое качество материалов аэрофотосъёмки.

Фотографическое: качество зависит от состояния атмосферы, освещения объекта съёмки, 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, т. е. снимки, фотографическое качество которых оценено высококвалифицированными специалистами - экспертами. Применение приборов позволяет более точно и объективно оценить фотографическое качество аэрофотоизображений.

Фотограмметрическое качество материалов аэрофотосъёмки оценивают по следующим критериям.

1. Определение продольных и поперечных перекрытий. Величину перекрытий определяют с помощью специальной линейки, позволяющей измерять перекрытия в процентах. Если аэрофотосъёмка выполнена с продольным перекрытием 60% или 80%, то 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% перекрытии снимки укладывают через один, при 90% - через два. Независимо от величины продольного перекрытия обязательно используют крайние снимки маршрутов. Укладывают снимки так, чтобы номера снимков были видны 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.

Первый закрепленный снимок укладывают на второй из данного маршрута так, чтобы максимально точно совместить изображения их перекрывающихся частей. Совмещают изображения способом «мельканий». Суть этого способа заключается в том, что на предыдущий снимок укладывают 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 объекта будут перемещаться. Возникает эффект мультипликации. Для устранения перемещения положение верхнего снимка уточняют, сдвигая в нужном направлении. После закрепления второго снимка аналогично укладывают остальные снимки маршрута. Снимки второго и последующих маршрутов укладывают также способом «мельканий», добиваясь совмещения изображений как в зонах продольных, так и поперечных перекрытий. При 30%-м поперечном перекрытии монтируют все маршруты, при 60%-м - через маршрут. При значительной территории съемочного участка составляют несколько накидных монтажей, каждый из которых, как правило, покрывает четыре смежных трапеции.

2. Непрямолинейность аэрофотосъемочного маршрута начинают с определения главных точек крайних снимков маршрута. За главные точки принимают пересечение линий, соединяющих противоположные координатные метки. Затем соединяют прямой линией и измеряют расстояние L между ними (рис. 3).

После этого измеряют отклонение l от этой прямой главной точки наиболее удаленного снимка. Это отклонение называют стрелкой прогиба маршрута. Отношение стрелки прогиба к длине маршрута, выраженное в процентах, есть непрямолинейность маршрута:

$$n=l*100\%/L \quad (2.6)$$

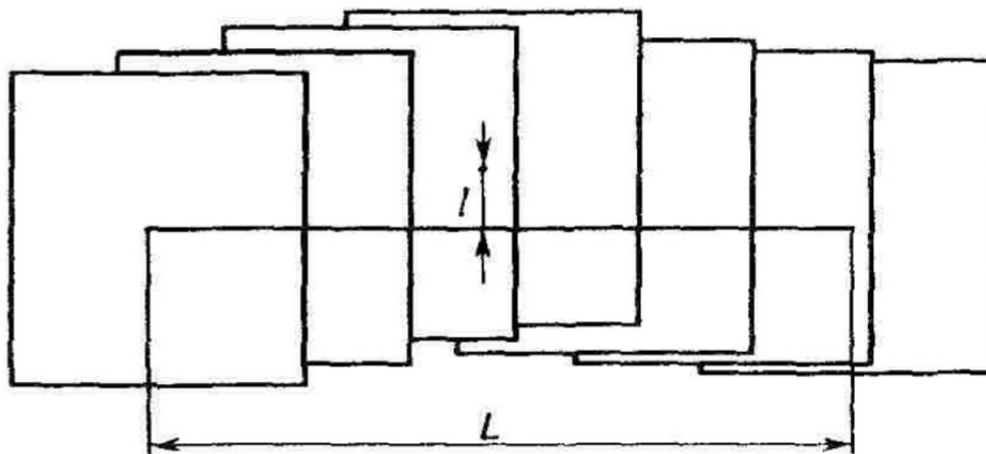


Рис. 2.3. Схема определения непрямолинейности маршрута съемки

Непрямолинейность 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 1: M крупнее 1:5000.

3. Разворот снимка относительно направления маршрута «елочка» ε можно определять двумя способами: первый – путем измерения угла ε между линией xx , соединяющей координатные метки снимка, и базисом фотографирования (рис. 4); второй - измерение 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°.

4. Углы наклона снимков можно определять по изображению круглого уровня в одном из углов снимка. 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:

$$H = f d_k M / d_{HM}, \quad (2.7)$$

Где: d_k - базис на карте; M - знаменатель масштаба карты; d_{HM} - базис на накидном монтаже.

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

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

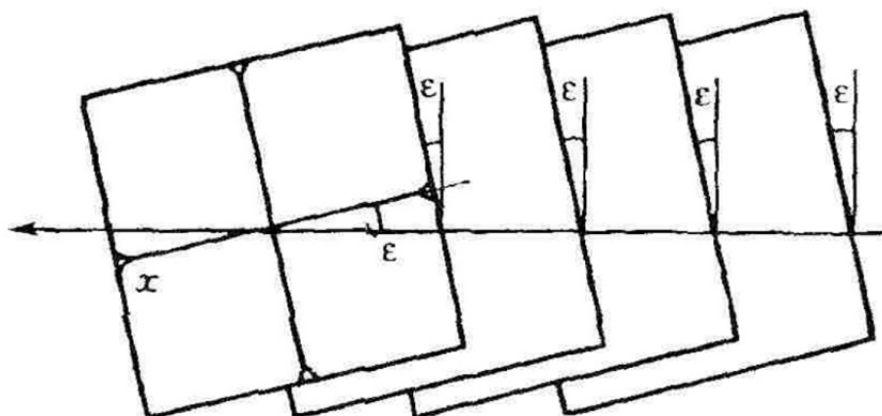


Рис. 2.4. Схема определения разворота снимка относительно направления маршрута съемки («елочки»)

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

6. Обеспеченность границ участка (объекта) съемки и проверка наличия аэрофотоснимков, покрывающих всю территорию в пределах границ участка съемки. Контроль выполняют по накидным монтажам всего участка или отдельных маршрутов. 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. Репродукцию изготавливают чаще традиционным фотографическим способом. Для этого с помощью специальных репродукционных фотокамер получают негативы репродукций, а затем осуществляют фотопечать их позитивного изображения. Перед фотографированием на накидном монтаже прикрепляют надписи с указанием года выполнения и масштаба аэрофотосъемки, номенклатуры трапеции, шифра объекта и масштаба будущей репродукции. В компьютерных технологиях 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. С помощью репродукции легче пользоваться большим числом аэрофотоснимков: выбрать необходимый в

данный момент снимок, составить проект геодезической привязки снимков и т. п.

После производства аэрофотосъемки заказчику сдают:

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

2.3. Особые условия проведения аэрофотосъемки городских территорий

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

Важный этап подготовки проведения летно-съемочных работ - 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:

1. для уменьшения «мертвых зон» аэрофотосъемку проводят с продольным перекрытием снимков $p_x = 80 \%$ и поперечным перекрытием $p_y = 40-60\%$ и более;
2. если аэрофотоснимки в дальнейшем будут использовать для получения только плановых координат (X, Y) точек местности (например, при инвентаризации земель), то применяют аэрофотоаппараты с длиннофокусным объективом высокой разрешающей способности;
3. для улучшения изобразительных свойств аэрофотоснимков применяют аэрофотоплёнки с высокой разрешающей способностью и большой фотографической шириной;
4. фотохимическую обработку экспонированной аэрофотоплёнки проводят в мелкозернистом проявителе. Для проработки изображений деталей объекта в тенях коэффициент контрастности проявленного изображения должен быть равен 0,8 - 1,2;
5. для уменьшения влияния теней от высотных объектов съемку проводят при максимально возможных высотах солнца. Если позволяют погодные условия, выполняют так называемую съемку «под зонтиком» - летательный аппарат находится ниже сплошной высокой облачности. При этом объект съемки освещается только рассеянной радиацией и поэтому теней практически не образуется.

Глава 3. АНАЛИЗ ОДИНОЧНОГО АЭРОСНИМКА

3.1. План и аэроснимок местности

Топографический план представляет собой уменьшенное изображение местности на бумаге, обычно в крупном масштабе, без учета кривизны земной поверхности. Все расстояния на плане пропорциональны расстояниям на местности, а углы равны соответствующим углам на местности.

Плановый аэроснимок представляет собой уменьшенное изображение центральной проекции местности. Все то, что должно быть изображено на плане очень подробно, изображается на аэроснимке такого же масштаба. Изображение на таком снимке подобно изображению на плане, так как оно получено при отвесном положении оптической оси аэрофотоаппарата, расположенного над фотографируемым участком местности. Все расстояния на аэроснимке пропорциональны расстояниям на местности, а углы равны соответствующим углам на местности. В этом

отношении аэроснимок похож на план, но при использовании аэроснимка вместо плана нельзя забывать о различии между центральной и ортогональной проекциями.

В том случае, когда фотографируемый участок местности ровный и горизонтальный, а оптическая ось аэрофотоаппарата занимает отвесное (вертикальное) положение, аэроснимок подобен местности, то есть центральная проекция подобна ортогональной, и масштаб аэроснимка во всех его частях одинаков.

Но если аэроснимок получен при наклонном положении оптической оси аэрофотоаппарата (рис. 3.1, *а*) а также если местность была рельефной, то подобие контуров аэроснимка и местности (рис. 3.1, *б*) отсутствует во всех его частях.

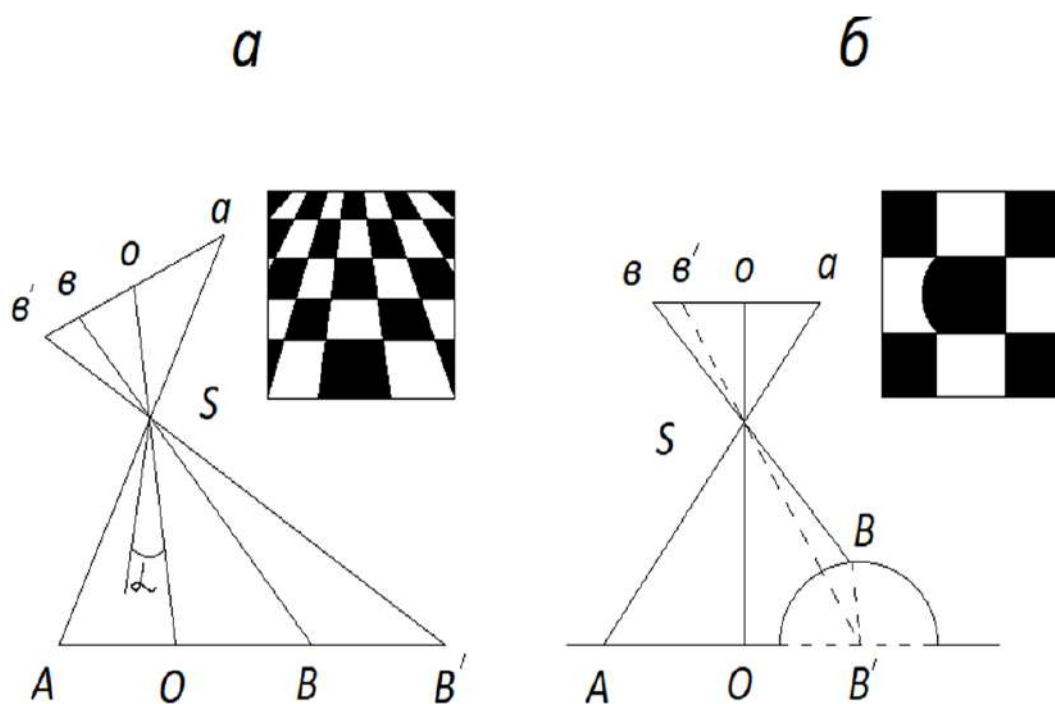


Рис. 3.1. Искажения на аэроснимках
а - из-за наклона аэрофотоаппарата; *б* - из-за рельефа

Искажения из-за наклона аэроснимка вызывают перспективность изображения местности. Величина смещения точек из-за наклона аэроснимка зависит от угла α (рис. 3.1, *а*), отклонения оптической оси АФА от отвесной линии, его фокусного расстояния от центра снимка до определяемой точки.

Из-за искажений равные на местности расстояния AO и OB изображаются на аэроснимке неравными отрезками ao и ob . Отрезки, соответствующие равным расстояниям на местности, уменьшаются в сторону наклона аэроснимка. В данном случае отрезок ob значительно меньше отрезка ao . Характер искажений из-за отклонения оптической оси

от отвесной линии представлен на правой части (рис. 3.1, а), где показано изображение сетки одинаковых квадратов при наклонном снимке.

Искажения из-за рельефа имеются как на плановых, так и на перспективных аэроснимках, поскольку они присущи центральной проекции. Точка A (рис. 3.1, б) местности изобразится на аэроснимке в точке a , а точка B , находящаяся на вершине возвышенности, - в точке b . Проекцией точки B является точка B' , которая при отсутствии возвышенности изобразилась бы на снимке в точке b' . Отрезок bb' представляет собой искажение из-за рельефа, характер которого показан на изображении сетки квадратов. В результате влияния рельефа левая сторона центрального квадрата получилась не прямой, а выпуклой в сторону от центра снимка. Искажение будет тем значительнее, чем больше относительное превышение точки и чем дальше отстоит изображение от центра аэроснимка.

Следовательно, причинами, определяющими различия между аэроснимком и планом, являются рельеф местности и наклоны оптической оси аэрофотоаппарата в момент фотографирования. В силу этого одной из основных задач фотограмметрии при получении плана местности является преобразование центральной проекции аэроснимка в ортогональную проекцию.

3.2. Основные точки и линии аэроснимка

На аэроснимке (негативе) имеется ряд точек, линий, обладающих характерными геометрическими свойствами, схематически показанных на рис. 3.2.:

главная точка аэроснимка o , являющаяся основанием перпендикуляра, опущенного из центра проекции S на плоскость аэроснимка P ;

главный луч *связки* центральных проектирующих лучей So , проходящий в направлении этого перпендикуляра через центр проекции (оптическая ось АФА);

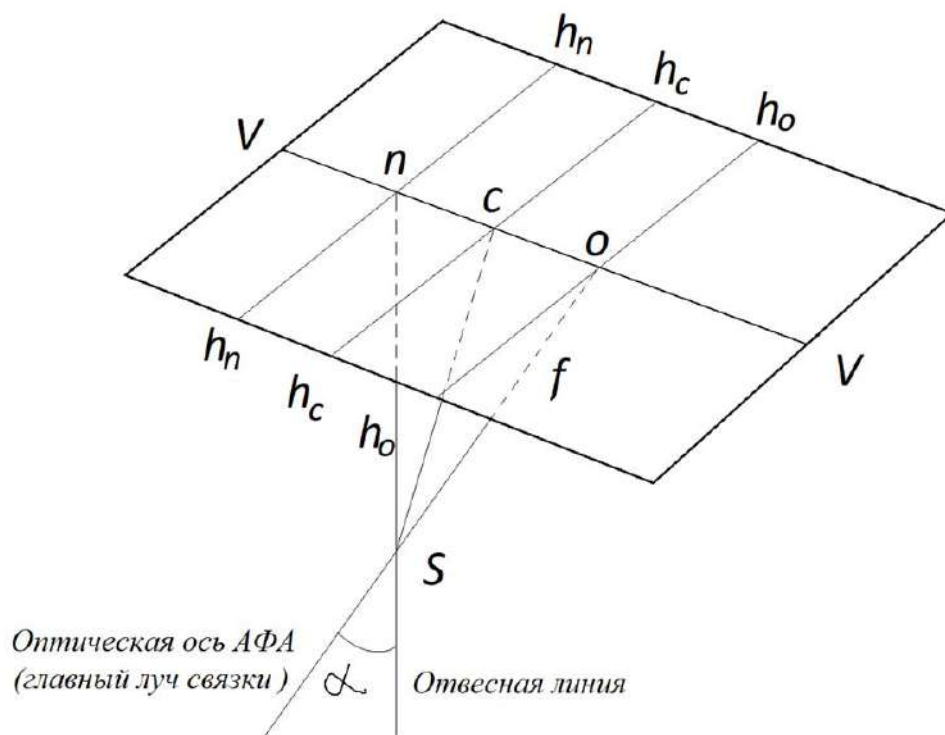


Рис. 3.2. Основные точки и линии на наклонном аэроснимке

угол наклона снимка α , образующийся между отвесной линией и главным лучом;

точка надира n , находящаяся в пересечении плоскости аэроснимка с отвесной линией, проходящей через центр проекции;

главная вертикаль VV - прямая, проходящая на аэроснимке через его главную точку и точку надира;

точка нулевых искажений c , лежащая на пересечении главной вертикали и биссектрисы угла наклона снимка;

главная горизонталь $h_o h_o$ - прямая, проходящая через главную точку снимка перпендикулярно к главной вертикали;

$h_c h_c$ - горизонталь, проходящая через точку нулевых искажений;

$h_n h_n$ - горизонталь, проходящая через точку надира;

Математическую зависимость между основными точками аэроснимка можно представить, пользуясь тригонометрическими функциями углов прямоугольных треугольников $oS n$ и $oS c$, в следующем виде:

$$\begin{aligned} on &= oS \operatorname{tg} \alpha = f \operatorname{tg} \alpha ; \\ oc &= oS \operatorname{tg}(\alpha / 2) = f \operatorname{tg}(\alpha / 2). \end{aligned} \quad (3.1)$$

3.3. Устранение смещений положения точек на аэрофотоснимке

Линейные смещения точек планового снимка, обусловленные влиянием рельефа местности

Характер влияния рельефа местности на изображение точек на аэрофотоснимке схематически показан на рис. 3.3.

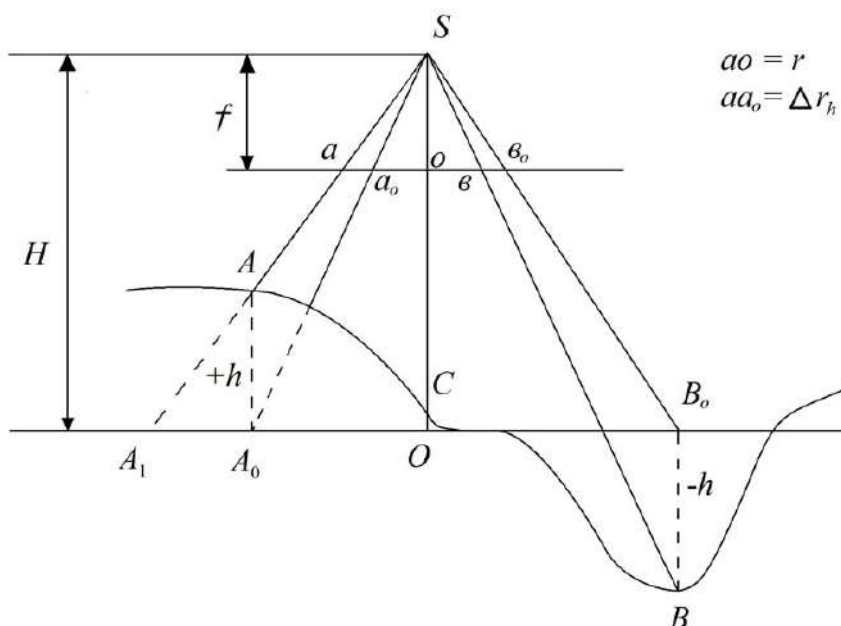


Рис. 3.3. Линейное смещение на плановом аэроснимке из-за рельефа местности

Рисунок представлен в вертикальной плоскости, проходящей через центр объектива S АФА, главную точку аэроснимка o и точки местности A , C , B . Линия $A_o B_o$ лежит в горизонтальной плоскости. Точки A и B местности изобразились в плоскости аэроснимка p в точках a и b , а их плановое положение, то есть в ортогональной проекции, должно было бы изобразиться в точках a_o и b_o . Очевидно, отрезки aa_o и bb_o представляют собой линейное смещение изображений точек A и B , обусловленное рельефом местности.

Из подобия треугольников Soa и SA_1O , AA_1A_o и SA_1O

$$aa_o/ao = A_1A_o/A_1O \quad \text{и} \quad Aa_o/SO = A_1A_o/A_1O$$

откуда определяется величина линейного смещения точек.

$$Aa_o/ao = Aa_o/SO, \quad \text{или} \quad \Delta r_h/r = h/H.$$

Линейное смещение точек на плановом аэроснимке, обусловленное влиянием рельефа местности, может быть определено по формуле

$$\Delta r_h = \pm rh/H, \quad (3.2)$$

где Δr_h - линейное смещение точек на плановом аэроснимке, обусловленное влиянием рельефа местности;

r - расстояние от главной точки аэроснимка до некоторой точки a ;

h - превышение точки A местности над горизонтальной плоскостью;

H - высота фотографирования относительно горизонтальной плоскости A_oB_o .

Для исправления положения точки на плановом аэроснимке следует вводить поправку со знаком, обратным линейному смещению, то есть если h с плюсом, то, чтобы получить плановое положение точки, нужно ее фотографическое изображение сместить по направлению к главной точке o аэроснимка, если h с минусом, то ,наоборот - от главной точки к краю аэроснимка.

Задаваясь величиной Δr_h и рассчитав максимальные превышения точек данного аэроснимка над средней горизонтальной плоскостью, можно вычислить радиус r окружности, в пределах которой линейные смещения в положении точек, обусловленные влиянием рельефа, не будут выходить за пределы заданной величины Δr_h :

$$r = \Delta r_h H/h. \quad (3.3)$$

Для уменьшения искажений из-за превышения точек местности следует применять длиннофокусные аэрофотоаппараты, использовать центральную часть аэроснимка (уменьшать r), уменьшать превышения h , что достигается трансформированием снимка по высотным зонам (ступеням), в пределах которых превышения h не превышают допуска.

Линейные искажения на аэроснимке, вызываемые отклонением оптической оси от вертикали

Характер влияния отклонения оптической оси от вертикали на изображение точек на аэроснимке схематически представлен на рис. 3.4.

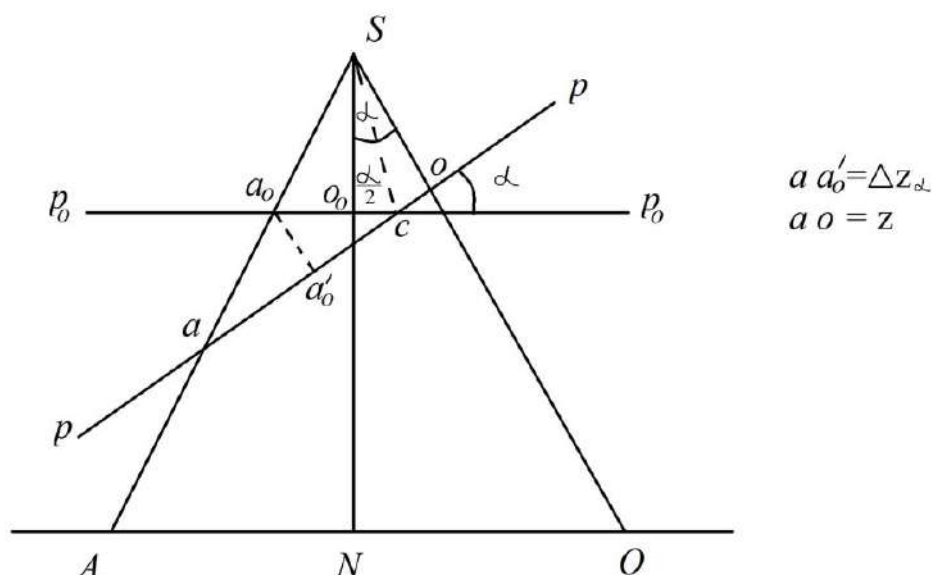


Рис. 3.4. Линейные искажения на наклонном снимке

Рисунок представлен двумя аэроснимками из одной и той же точки S : один горизонтальный P_0P_0 , другой наклонный PP , - на которых изобразилась одна и та же точка местности A .

Очевидно, изображение точки A местности спроектируется (сфотографируется) в точке a_0 на горизонтальном снимке P_0P_0 в точке a на наклонном PP .

Точка с пересечения P_0P_0 и PP горизонтального и наклонного аэроснимков будет точкой нулевых искажений.

Опишем из точки нулевых искажений c дугу радиусом ca_0 до пересечения с линией PP в точке a'_0 . Очевидно, что точка a'_0 будет плановым положением точки A на наклонном аэроснимке PP , а $\Delta r = a'_0o$ будет представлять собой величину линейного смещения (искажения) изображения точки A местности на наклонном снимке относительно ее планового положения, то есть положения, которое она занимала бы, если бы аэроснимок был горизонтальным.

Из подобия треугольников Sao и $a_0a'_0o$

$$aa'_0o/ao = a_0a'_0o/So = \Delta r/r = a_0a'_0/f.$$

Из треугольника ca'_0a_0 находим

$$a_0 a'_0 = c a'_0 \operatorname{tg} \alpha = (r_0 + o_0 c) \operatorname{tg} \alpha. \quad (3.4.)$$

Далее из треугольника So_0c получим

$$o_0 c = f \operatorname{tg}(\alpha / 2).$$

Из формулы (3.4) при небольших углах α , не превышающих 10° , величину отрезка $a_0 a'_0$ можно записать приближенно:

$$a_0 a'_0 = r_0 \operatorname{tg} \alpha.$$

Тогда величина линейного смещения точек на наклонном аэроснимке $\Delta r \alpha$ для аэроснимков, полученных с отклонением оптической оси от вертикали, не превышающем $\alpha < 10^\circ$, может быть определена по упрощенной рабочей формуле:

$$\Delta r \alpha = \pm r r \operatorname{tg} \alpha / f, \quad (3.5)$$

где r - расстояние от главной точки o аэроснимка до определяемой точки;
 α° - величина угла отклонения оптической оси АФА от вертикали в момент фотографирования в градусах;
 f - величина фокусного расстояния АФА.

Искажения, вызываемые отклонением оптической оси от вертикали, исключаются трансформированием аэроснимков. Преобразование перспективных аэроснимков в горизонтальные с одновременным приведением их к одному масштабу производится, в основном, оптико-фотомеханическими приборами, называемыми фототрансформаторами.

Задаваясь величиной $\Delta r \alpha$, можно вычислить радиус окружности на аэроснимке, в пределах которой линейные смещения точек из-за наклона не будут выходить за пределы заданной величины $\Delta r \alpha$.

В общем случае ошибка в положении точки на аэроснимке, возникающая из-за угла наклона оптической оси АФА и рельефа местности, будет зависеть от удаления ее от главной точки аэроснимка o , то есть от величины радиуса r . При этом общая ошибка на аэроснимке в какой-либо точке на конце радиуса r , так называемой полезной площади (рабочей площади) аэроснимка, в неблагоприятном случае равна сумме этих отдельных ошибок:

$$\Delta = \Delta r \alpha + \Delta r_h \quad (3.6)$$

Очевидно, придавая суммарной ошибке Δ различные значения, например, чтобы она не превышала 0.5 мм, можно определить величину радиуса полезной площади планового аэроснимка r , что и делается при точных измерениях по аэроснимкам и составлении фотопланов.

Это вынуждает выполнить съемку с перекрытиями между аэроснимками. Перекрытия делаются с таким расчетом, чтобы каждый участок местности находился по возможности в полезной площади хотя бы одного из снимков.

3.4. Элементы ориентирования аэрофотоснимка

Конечным результатом решения задач аэрогеодезии является массив координат отдельных точек местности, по которым строятся топографические карты и планы.

Процесс получения координат точек местности в общем проходит через следующие этапы:

определение (измерение) координат точки плоской прямоугольной системе координат снимка;

вычисление пространственных прямоугольных координат точек местности (фотограмметрические координаты в фотограмметрической системе);

перевычисление пространственных фотограмметрических координат в плоские прямоугольные в проекции Гаусса-Крюгера.

Схематичное изображение систем координат представлено на рис. 3.5.

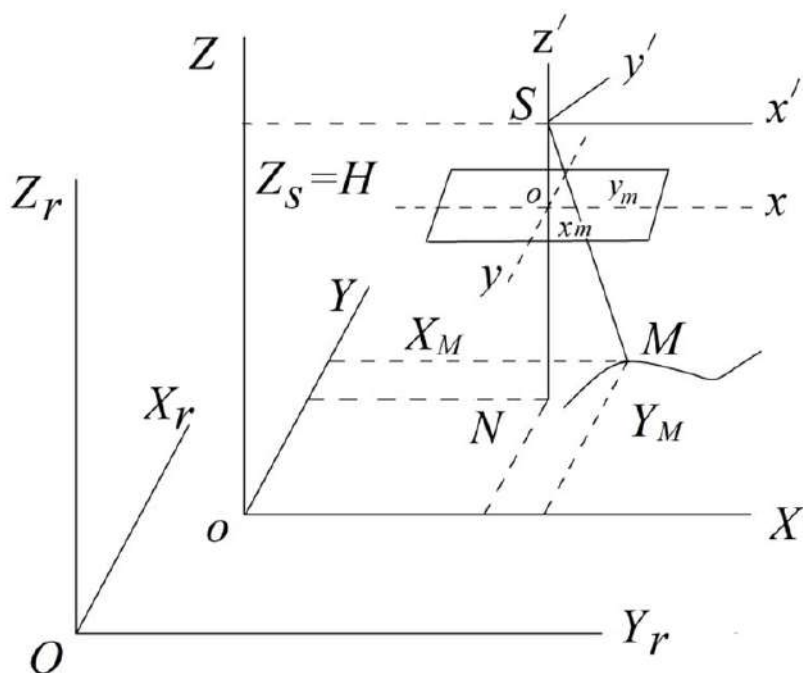


Рис. 3.5. Системы координат, используемые в фотограмметрии и геодезии

Положение точек на снимке определяется в плоской *прямоугольной системе координат снимка* oxy . За ее начало принимают точку пересечения прямых, соединяющих противоположные координатные

метки (главная точка снимка); ось x совмещают с линией направления вдоль маршрута, а ось y - перпендикулярно к ней.

Пространственную прямоугольную систему координат XYZ устанавливают в пространстве так, чтобы математическая зависимость между координатами точек на местности и снимке имела наиболее простой вид. Начало координат может быть произвольным.

В частных случаях его совмещают с началом системы координат в центре проекции (в системе координат снимка) или с началом системы координат в точке o (в системе координат точек местности). Фотограмметрическая система координат - правая. Фотограмметрические координаты могут определяться в заданном или произвольном масштабе.

Переход от фотограмметрических координат к геодезическим в проекции Гаусса-Крюгера требует выполнения переноса начала координат, масштабного преобразования и поворота системы с учетом перехода от правой системы к левой.

Связи между плоскими координатами x и y , пространственными координатами X, Y, Z , а также между координатами точек снимка и местности устанавливаются через элементы ориентирования снимка.

3.4.1. Элементы ориентирования снимка

Элементами ориентирования снимка называют величины, определяющие положение снимка в пространстве. Эти величины условно подразделяются на две группы: элементы внутреннего и элементы внешнего ориентирования снимка.

Элементы внутреннего ориентирования определяют положение центра проекции S относительно координат x, y снимка. К ним относятся фокусное расстояние f фотокамеры и координаты x_0, y_0 главной точки o относительно начала координатной системы снимка (рис. 3.6).

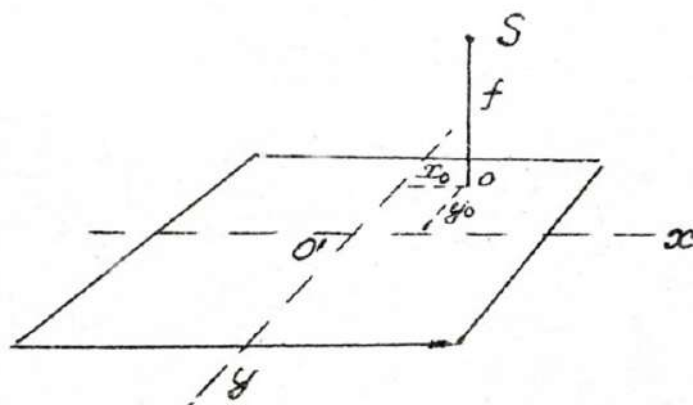


Рис. 2.6. Элементы внутреннего ориентирования снимка

Эти элементы позволяют восстановить положение проектирующих лучей в момент съемки. Элементы внутреннего ориентирования всегда

являются известными и постоянными величинами для данного аэрофотоаппарата. В хорошо отъюстированных АФА точки o и o' практически совпадают, то есть $x_0 = y_0 = o$.

Элементы внешнего ориентирования определяют положение пространственной системы координат X, Y, Z снимка относительно системы координат местности (рис. 3.7).

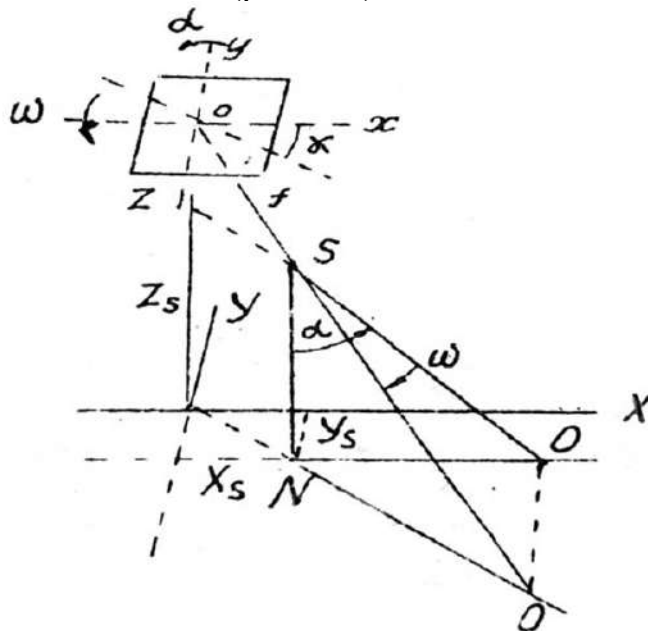


Рис 3.7. Элементы внешнего ориентирования снимка

К ним относятся координаты X_s, Y_s, Z_s центра проекции S и угловые элементы α, ω, χ ориентирования координатной системы снимка. Углы α (продольный) и ω (поперечный) определяют положение главного луча So .

Угол χ - угол поворота снимка в своей плоскости. Элементы внешнего ориентирования зависят от условий фотографирования и во время полета непрерывно изменяются, поэтому различны для каждого отдельного аэроснимка. Элементы внешнего ориентирования в настоящее время могут определяться физическими способами с помощью регистрации показаний радиовысотомера, статоскопа, гиросtabilизирующей фотоустановки и радиогеодезических систем. Наиболее точно элементы внешнего ориентирования могут быть определены в результате решения обратной фотограмметрической задачи с использованием опорных контурных точек аэроснимка и местности.

3.4.2. Масштаб аэрофотоснимка

Масштабом снимка $1/m$ в данной точке по данному направлению называется отношение бесконечно малого отрезка dl на снимке к соответствующему отрезку dL на местности. То есть:

$$\frac{1}{m} = \frac{dl}{dL}.$$

Пусть местность равнинная, а начала координат в пространстве и на снимке расположены соответственно в точках S и o , (рис. 2.8.).

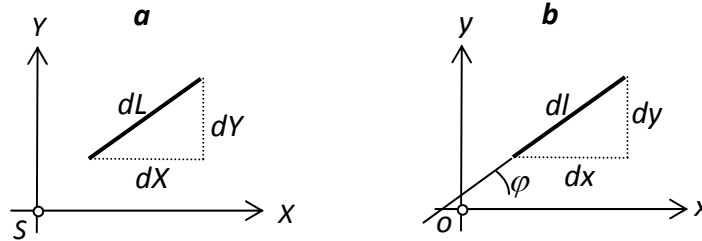


Рис 3.8. **a** – горизонтальный отрезок на местности, **b** - его изображение

Обозначив проекции отрезков dl и dL на соответствующие координатные оси через dx , dy и dX , dY , с учетом данного определения масштаба и рис. 3.8 напомним:

$$\frac{1}{m} = \frac{dx}{\cos \varphi \sqrt{dX^2 + dY^2}},$$

где φ – угол между осью x снимка и заданным направлением отрезка dl .

При указанном выборе систем координат, и при условии, что оси ординат расположены в плоскости главного вертикала, справедливы формулы зависимости между координатами точек местности и снимка

$$X = H \frac{x}{f \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon} \quad \text{и} \quad Y = H \frac{y \cos \varepsilon + f \sin \varepsilon}{f \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon}.$$

Введём обозначение:

$$k = \cos \varepsilon - \frac{y}{f} \sin \varepsilon, \quad p = \frac{x}{f} \sin \varepsilon, .$$

После преобразований получим:

$$\frac{1}{m} = \frac{f k^2}{H \sqrt{\sin^2 \varphi + (k \cos \varphi + p \sin \varphi)^2}}$$

Полученное равенство показывает, что масштаб снимка зависит от фокусного расстояния АФА, высоты фотографирования, угла наклона снимка, положения точки на снимке (координат x и y), в которой взят элемент dl и от направления φ этого элемента относительно линии главного вертикала UU .

Глава 4. СОЗДАНИЕ ФОТОПЛАНОВ И ФОТОСХЕМ

4.1. Трансформирование аэрофотоснимков

Для того чтобы понять суть фотомеханического трансформирования (его еще называют оптико-механическим), предположим, что элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимка известны. Восстановим связку проектирующих лучей и поместим ее в положение, которое она занимала в момент фотографирования, затем пересечем связку горизонтальной плоскостью E (рис. 3.1.).

В результате на экране получим трансформированное изображение наклонного снимка.

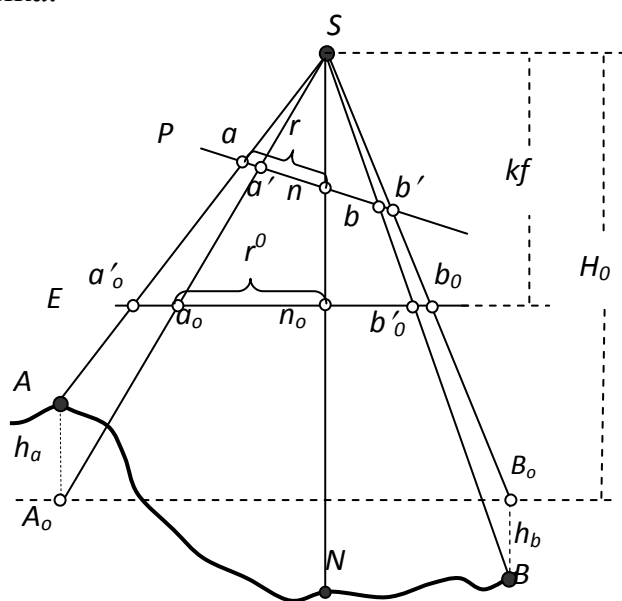


Рис.4.1. Перспективное трансформирование

На практике, установку связки относительно экрана выполняют по опознакам. Для этого на экран укладывают основу с, опознаками (их должно быть не менее четырех), выполненную в масштабе, который равен заданному масштабу трансформированного изображения. На снимке делают отверстия (диаметром 0.2 – 0.3 мм) в точках, где изобразились опознаки, и с помощью проектора проецируют его на экран. Затем взаимным перемещением основы и проектора добиваются, чтобы изображения спроектированных на экран отверстий совпали с соответствующими трансформационными точками на основе, после чего ее убирают. В результате изображение на экране будет соответствовать трансформированному снимку. Его нужно только зафиксировать, например, сфотографировать.

Трансформированием снимков может выполняться и цифровыми методами. При создании и обновлении карт различного назначения по аэрокосмическим снимкам создаются трансформированные изображения

местности в проекции карты. Эти изображения могут быть созданы по одиночным снимкам или по нескольким перекрывающимся снимкам. Цифровое трансформирование выполняется с точностью карт соответствующего масштаба, а также с точностью, соответствующей точности предъявляемой действующими нормативными документами

Цифровые трансформированные изображения используют для создания контурной части карт, путем векторизации цифровых изображений в среде САД или ГИС, а также как самостоятельные картографические документы. Процесс цифрового трансформирования состоит из двух этапов. На первом этапе процедура геометрического трансформирования создает «бланк» подходящего размера и устанавливает масштаб (размер пиксела). На втором - определяются пиксельные значения (плотности) каждого пиксела трансформированного изображения. С этой целью, изменяются параметры геометрического трансформирования каждого выводимого пиксела, для того чтобы определить его положение в системе координат строк и столбцов исходного растрового изображения.

Принципиальная схема цифрового трансформирования снимков представлена на рис.4.2. Исходными материалами при цифровом трансформировании снимков служат: цифровое изображение исходного фотоснимка; цифровая модель рельефа (в большинстве случаев используется регулярная сетка ЦМР в виде сетки квадратов на местности); элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимка; параметры внутреннего ориентирования снимка в системе координат цифрового изображения.

В зависимости от целевого назначения различают фотопланы топографические и специальные. Топографические составляют в общегосударственной разграфке с соблюдением инструкций и наставлений по топографическим съемкам. Специальные фотопланы составляют, как правило, в произвольной разграфке, и они должны удовлетворять требованиям ведомственных инструкций.

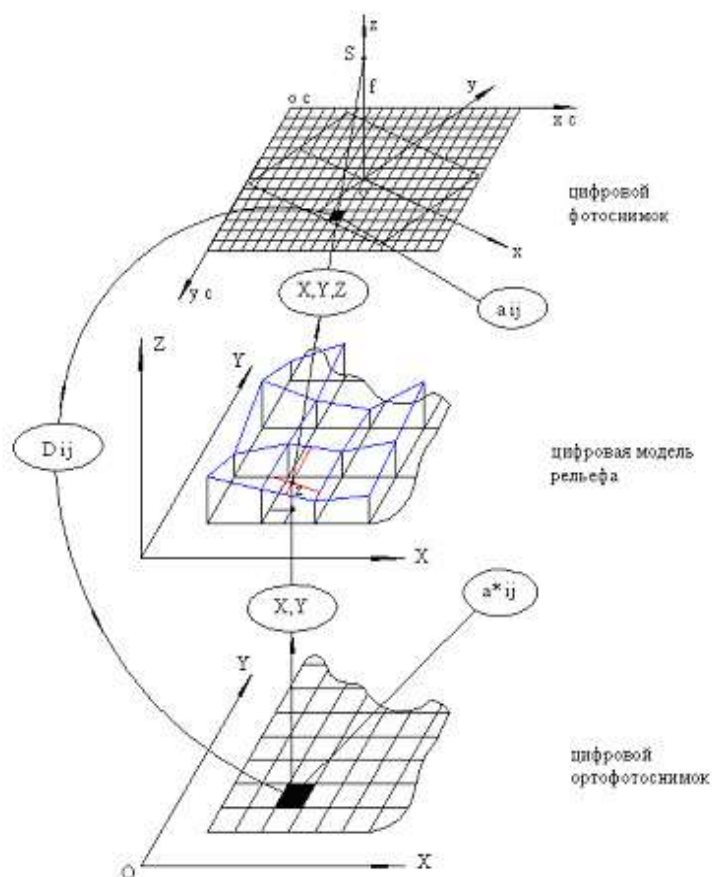


Рис. 4.2. Схема цифрового трансформирования снимков

4.2.Создание фотоплана и фотосхемы

В зависимости от целевого назначения различают фотопланы топографические и специальные. Первые составляют в общегосударственной разграфке с соблюдением инструкций и наставлений по топографическим съемкам. Специальные фотопланы составляют, как правило, в произвольной разграфке, и они должны удовлетворять требованиям ведомственных инструкций.

В отличие от графического плана, фотопланы обладают большей наглядностью, поэтому многими специалистами и используются. На них могут быть нанесены горизонталы. В результате получается фотокарта.

Фотопланы составляют из трансформированных снимков путем монтажа их на основе по опорным точкам. Иногда их составляют из плановых снимков, если при фотографировании местности применялись АФА с гиросtabilизирующей установкой.

Фотоплан составляют на жесткой основе (бумаге, наклеенной на алюминий, авиационной фанере или пластике), на которой по координатам в заданном масштабе нанесены опознаки, пункты геодезической сети и трансформационные точки. Выполняют это либо путем монтажа

отдельных фотоснимков либо путем оптического монтажа с одновременным трансформированием по зонам. Основными процессами составления первым из названных способов являются: подготовительный, монтаж снимков, контроль качества фотоплана и его оформление.

Подготовительные работы включают: подбор фотоснимков по трапециям и по маршрутам в пределах трапеции; контроль их качества и точности трансформирования; пробивку пуансоном отверстий диаметром около 1 мм на всех опорных, трансформационных точках, и пунктах геодезической сети. Контроль точности трансформирования выполняют путем совмещения отверстий на снимке с соответствующими точками на основе так, чтобы отклонение центров отверстий от точек были одинаковыми. Снимки, для которых эти отклонения превышают 0.4 мм, а также снимки с резкими изменениями фототона трансформируют заново.

Монтаж начинают с левого снимка северного маршрута. Его укладывают на основу, усредняют погрешности совмещения центров отверстий с точками на основе и закрепляют грузиками. Затем на основу укладывают второй снимок, так же совмещают отверстия с опорными точками и, закрепив его, проверяют сходимость контуров в зоне перекрытия. Для этого накалывают четкий контур на верхнем снимке и проверяют, где он оказался на нижнем снимке. Отклонение накала от контура не должно превышать 0.7 мм. После этого разрезают оба снимка одновременно примерно посередине продольного перекрытия. Линия пореза не должна проходить через ответственные контуры и вдоль линейных объектов. Обрезки от каждого снимка сохраняют для последующего контроля, а соответствующие части первого и второго снимков наклеивают на основу. Аналогичные операции выполняют при соединении второго и последующих снимков маршрута, а также при монтаже снимков смежных маршрутов. Но в последнем случае контроль сходимости контуров, а также порез, осуществляют и по поперечным перекрытиям.

Цифровые фотопланы могут быть созданы по перекрывающимся цифровым трансформированным снимкам. На рис.3.3. представлен принцип формирования цифрового фотоплана. Для его создания используются трансформированные снимки с одинаковым размером пикселей и имеющие координаты начал систем координат цифровых изображений O_1 и O_2 кратные размеру пиксела.

При создании цифрового фотоплана в зоне перекрытия трансформированных снимков проводят линию пореза в виде полилинии с узлами K_i .

Затем, с ее помощью в каждой строке определяют граничные пиксели, совмещенные с линией пореза, и приступают к формированию матрицы

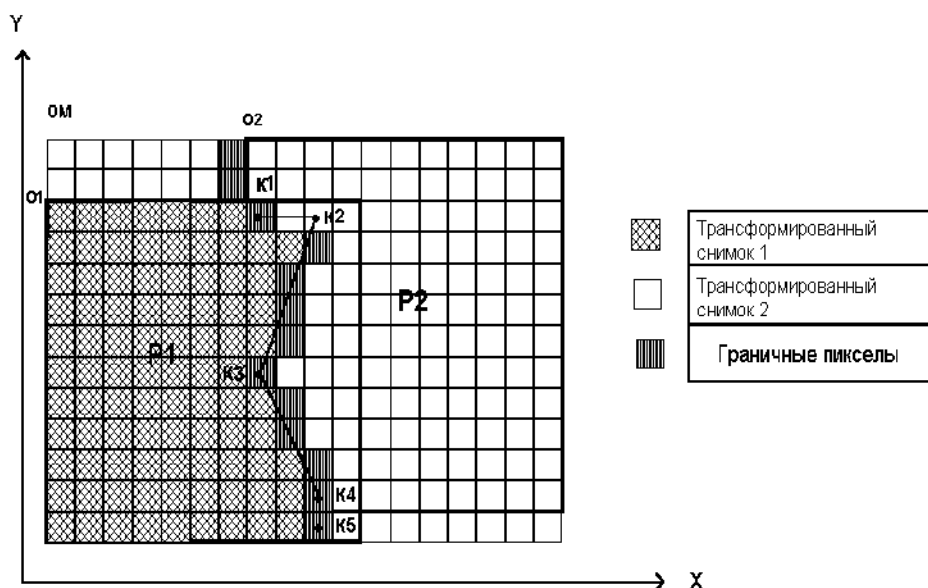


рис.4.3. Принцип формирования цифрового фотоплана.

Координаты начала системы координат цифрового фотоплана X_{OM} принимаются равными наименьшему значению координат X_{O1} и X_{O2} начал систем координат цифровых трансформированных снимков, а Y_{OM} – наибольшему значению координат Y_{O1} и Y_{O2} .

Каждая строка матрицы фотоплана формируется из строки трансформированного снимка P_1 , включая граничный пиксел и строки снимка P_2 , начиная с пиксела, следующего за граничным. Таким методом можно присоединить к созданному фотоплану другие перекрывающиеся снимки.

Глава 5. АНАЛИЗ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ ПАРЫ

5.1. Виды зрения и их характеристика

Различают два вида зрения: монокулярное и бинокулярное.

Монокулярное зрение - это зрение одним глазом.

Бинокулярное зрение - это зрение двумя глазами.

При монокулярном зрении глубина пространства воспринимается крайне слабо. При наблюдении двумя глазами ощущение объемной формы объектов и их пространственного положения значительно лучше. Это явление называют *естественным стереоэффектом*, а бинокулярное

зрение, при котором ощущается стереоэффект, называют *стереоскопическим* (рис. 5.1).

На рис. 5.1 представлено положение глаз наблюдателя (S_1 и S_2), которые удалены между собой на величину глазного базиса B , наблюдаемые объекты в точках 1 и 2, расстояния до наблюдаемых точек D_1 и D_2 , а также их разность ΔD , зрительные оси глаз наблюдателя, пересекающиеся под углами Ψ_1 и Ψ_2 , которые называют *углами конвергенции*.

Наименьшее значение $\Delta\Psi$, при котором еще ощущается разность расстояний ΔD , называют *остротой* или *разрешающей способностью* стереоскопического зрения. В среднем остроту стереоскопического зрения принимают равной 20-30".

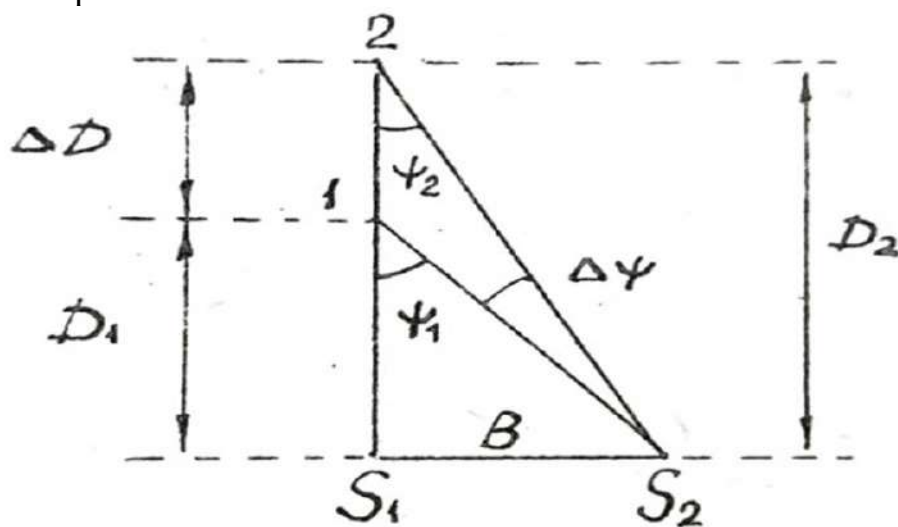


Рис. 5.1. Стереоскопическое зрение

В соответствии с рис. 5.1 в общем случае

$$D = B / \Psi, \quad (5.1)$$

где B - глазной базис;
 Ψ - угол конвергенции.

Предельное расстояние $D_{\max} = R$, при котором еще ощущается объемность, называется *радиусом стереоскопического зрения* невооруженными глазами.

Радиус стереоскопического зрения можно увеличить искусственным путем, заменой зрительного базиса b базисом оптической системы B в соответствии с *коэффициентом полной и общей пластики*

$$k = B\Psi / b, \quad (5.2)$$

где B - базис оптической системы;
 Ψ - увеличение наблюдательной системы прибора;

k - пластичность оптического прибора - свойство оптической системы, позволяющее наблюдателю ощущать глубину и рельефность рассматриваемого в прибор пространства.

5.2. Получение искусственного стереоэффекта по снимкам

Стереоскопический эффект может возникнуть не только при непосредственном рассматривании объекта, но и при рассматривании двух изображений объекта, полученных с двух точек. При съемке местности с двух различных точек S_L и S_P , отстоящих друг от друга на расстояние B , называемое базисом фотографирования, точки местности A, C, D изобразятся на левом и правом снимках соответственно в точках a_L, c_L, d_L и a_P, c_P, d_P (рис. 5.2, а).

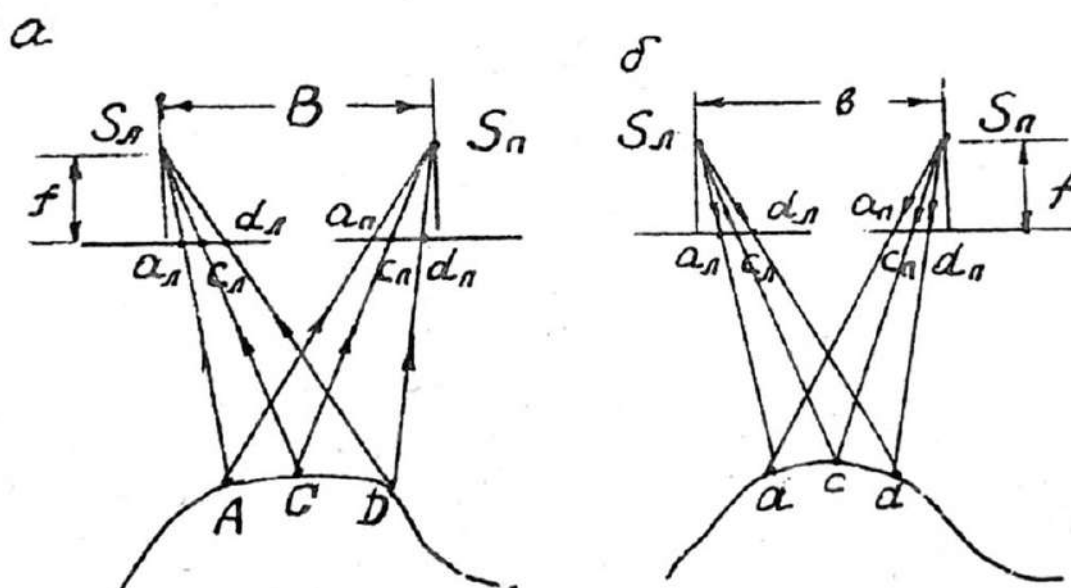


Рис. 5.2. Получение искусственного стереоэффекта по снимкам:
а - момент аэрофотосъемки, б - рассматривание аэроснимков наблюдателем

Если расположить снимки на расстоянии глазного базиса так, чтобы глаза наблюдателя располагались по отношению к снимкам в точках S_L и S_P (рис. 5.2, б), то направление зрительных лучей для соответствующих точек снимка не изменится и наблюдатель увидит уменьшенное объемное изображение местности, то есть будет ощущать искусственный стереоэффект.

Два снимка, полученных с двух точек фотографирования и содержащих изображение одной и той же местности, называются *стереоскопической парой снимков*. Видимое пространственное изображение местности называют *стереоскопической моделью*.

Во время фотографирования точки местности и их изображения на паре снимков связаны между собой световыми лучами. Эти лучи называются *соответственными*, или *одноименными проектирующими* лучами. Изображение одной и той же точки местности на паре снимков

называется *соответственными*, или *одноименными*, точками. Очевидно, что каждая пара соответственных лучей пересекается в точке местности, образуя совместно с базисом фотографирования треугольник засечки. В силу этого определение положений точек местности по паре снимков можно представить в виде засечек, выполняемых с точек фотографирования соответственными лучами.

Если эту задачу распространить на всю совокупность точек пары снимков, то можно получить модель сфотографированной местности. Для ее получения вначале с помощью элементов ориентирования снимков восстанавливается положение центров проекций и снимков, которое они занимали в момент фотографирования, и тогда соответственные проектирующие лучи, заняв прежнее положение, пересекутся в точках местности.

Совокупность точек пересечения соответственных лучей образует поверхность, которую называют геометрической моделью местности.

Речь идет о геометрическом представлении процесса определения точек местности по паре снимков. Этот геометрический принцип реально воплощается на практике или посредством математического выражения координат точек местности в виде функций элементов ориентирования и координат соответственных точек пары снимков, или с помощью так называемых универсальных фотограмметрических приборов.

Для получения искусственного стереоэффекта должны быть соблюдены следующие условия:

- снимки объекта необходимо получить с двух различных точек пространства;

- каждым глазом надо наблюдать только один снимок;

- снимки должны быть взаимно ориентированы, то есть установлены относительно друг друга в такое положение, какое они занимали в момент фотографирования, и их базисы расположены параллельно главному базису;

- расстояние между снимками должно соответствовать нормальному углу конвергенции глаз наблюдателя (угол конвергенции не более 16°);

- разность масштабов снимков не должна быть более 16% от их значений.

Искусственный стереоэффект можно получить следующими способами:

- оптическим;

- анаглифическим;

- поляроидным.

Оптический способ заключается в разделении зрения с помощью оптических систем.

Анаглифический способ заключается в получении искусственного стереоэффекта по двум изображениям, окрашенным в дополнительные

цвета (обычно красный, зеленый и голубой), при рассматривании их через цветные очки- светофильтры, имеющие такую же окраску.

Способ поляроидов аналогичен анаглифическому, но в нем вместо светофильтров применяют поляроиды.

В зависимости от взаимного расположения аэрофотоснимков стереопары стереоскопический эффект может быть прямым, обратным и нулевым.

Когда снимки расположены перекрытиями внутрь (рис. 5.3,а), ощущается *прямой* стереоэффект и форма стереоскопической модели соответствует форме объекта в натуре.

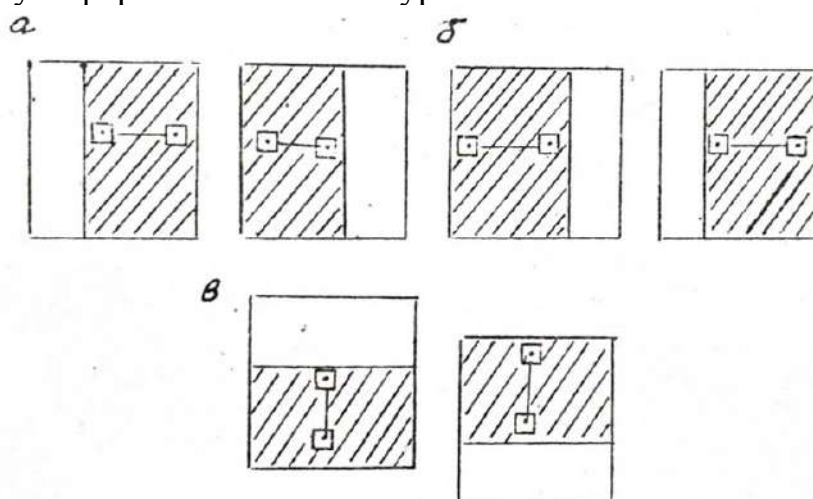


Рис. 5.3. расположение снимков при получении стереоэффекта:

а - прямого; б- обратного; в - нулевого

Если снимки расположить перекрытием в разные стороны, то есть поменять местами (рис. 5.3,б), то будет наблюдаться *обратный* стереоэффект, когда форма стереоскопической модели обратна форме объекта в натуре.

Снимки, повернутые на 90° в разные стороны (рис. 5.3, в) дают нулевой стереоэффект, при котором слитное изображение двух снимков будет восприниматься плоским.

5.3. Способы измерений на стереопаре аэрофотоснимков

Стереофотограмметрические измерения снимков или полученной по стереопаре снимков стереоскопической модели выполняют на специальных стереоприборах: измерительных стереоскопах, стереокомпараторах, универсальных стереофотограмметрических приборах.

При стереоскопических измерениях снимки предварительно ориентируют для получения стереоэффекта или ориентированной стереомодели в заданном масштабе. В процессе измерений совмещают

измерительную марку (знак) прибора с точками снимков или модели и отсчитывают измеряемые величины по соответствующим шкалам прибора.

В зависимости от способа стереоскопических наблюдений конструкции прибора измерения выполняют с помощью двух или одной марки. Наиболее широко применяют в стереофотограмметрических приборах способ измерений с помощью двух измерительных марок.

Способ измерения двумя действительными марками или одной мнимой заключается в совмещении одной видимой (мнимой) пространственной марки с поверхностью стереоскопической модели, чему фактически соответствует совмещение левой и правой марок с соответствующими точками снимков (рис. 5.4). Если марки совмещены с точками a_l и a_n , а при стереоскопическом наблюдении эти точки воспринимаются одной пространственной мнимой точкой a , то и действительные измерительные марки воспринимаются одной пространственной мнимой маркой, совмещенной по высоте с точкой a стереоскопической модели. Воспринимаемое точное совмещение пространственной мнимой марки с точкой стереомодели будет соответствовать точному совмещению левой и правой марок с соответствующими точками 1 и 2 левого и правого снимков (это положение марок на рис. 5.4 показано цифрами 1 и 2). При совмещении пространственной марки с поверхностью стереомодели в определяемой точке берут отсчеты по соответствующим шкалам прибора.

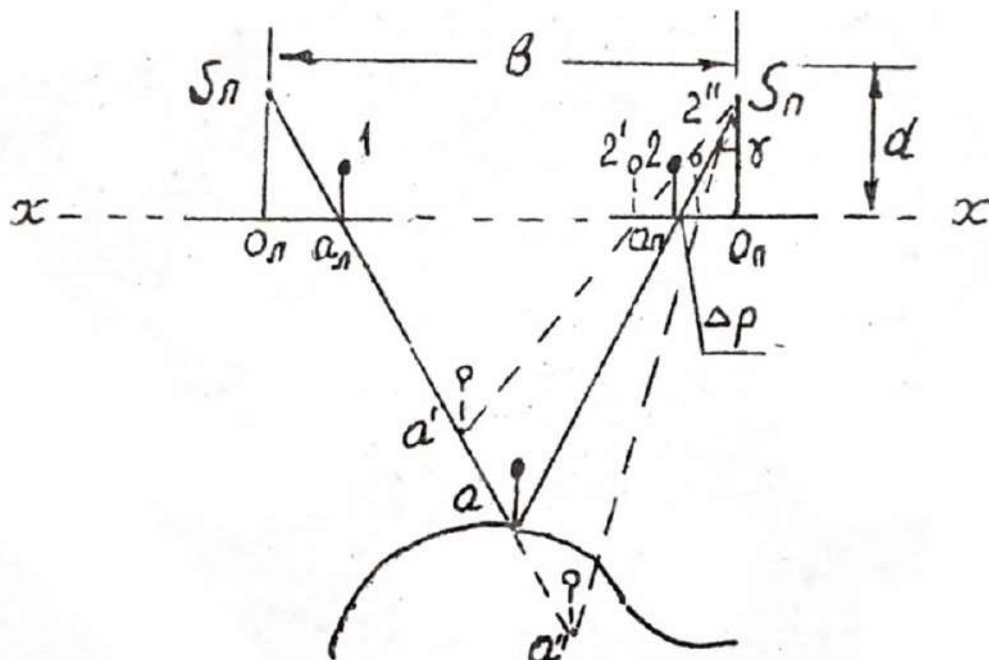


Рис.5.4. Схема стереоскопических измерений с помощью двух действительных или одной мнимой марки

Если измерительная марка на одном из снимков не совмещена с соответствующей точкой и занимает положение 2', то стереоскопически

это будет наблюдаться как перемещение марки по высоте (положение пространственной марки a'). Если измерительная марка переместится в точку $2''$, то этому перемещению должно соответствовать положение пространственной марки a'' (марка под землей). Фактически будет наблюдаться двоение марок по оси xx .

5.4. Связь координат точек стереопары аэрофотоснимков и объекта

Рассмотрим взаимосвязь координат точек стереопары аэроснимков и местности для идеального случая съемки, когда аэроснимки и базис горизонтальны (рис. 5.5). Примем за начало координат на местности центр проекции S , левого снимка, за ось абсцисс- линию базиса, ось Z направим вертикально вверх, ось Y - в соответствии с правой системой координат. За начало координат на снимке примем главную точку o снимка.

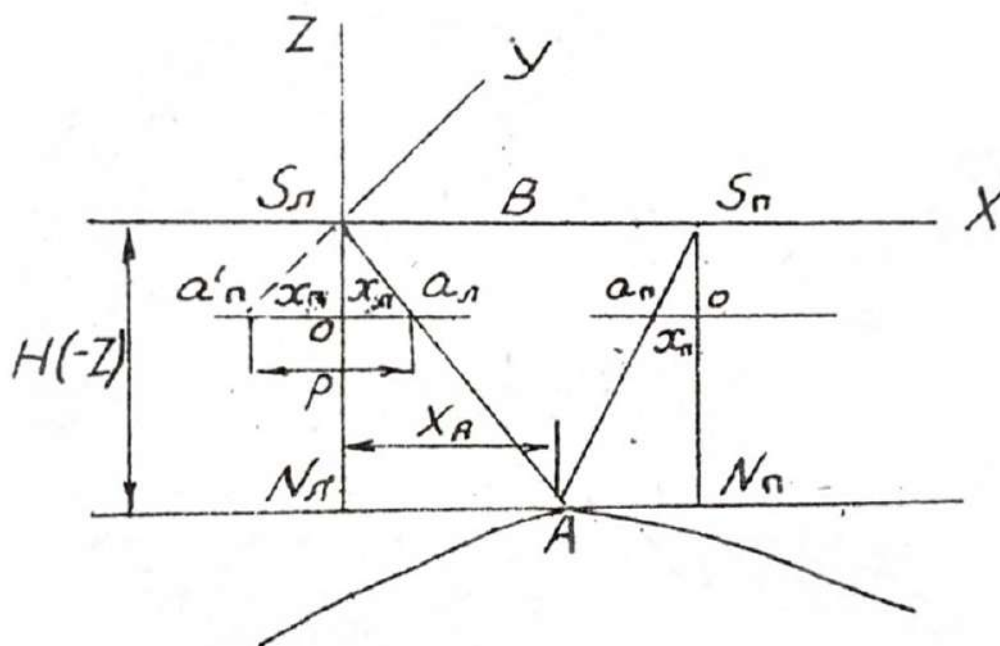


Рис. 5.5. Зависимость между координатами точек стереопары снимков и объекта

Точка A местности изобразилась на снимках в точках a_l , a_p , с координатами x_l , x_p соответственно. Проведем вспомогательную прямую через S_l , параллельную проектирующему лучу $S_p A$ правого снимка. Построим на левом снимке вспомогательную точку a_p с координатой x_p равной координате точки a_p , на правом снимке.

В результате этих построений получим подобные треугольники $S_l S_p A$ и $S_l a_l a_p$, из подобия которых можно записать зависимость

$$H = B f / (x_l - x_n) = B f / p, \quad (5.1)$$

где $p = x_l - x_n$ - разность абсцисс идентичных точек стереопары, или продольный параллакс.

Из подобия треугольников $S_l N_l A$ и $S_l o a_l$, получим

$$X = H x_l / f. \quad (5.2)$$

Определим из формулы (5.1)

$$H / f = B / (x_l - x_n) = B / p$$

и, подставив его в выражение (5.2), получим

$$X = B x_l / (x_l - x_n) = B x_l / p. \quad (5.3)$$

Аналогично можно записать:

$$Y = B y_l / f; \quad (5.4)$$

$$Y = B y_l / (x_l - x_n) = B y_l / p. \quad (5.5)$$

На основании полученных формул можно сделать вывод о том, что стереоскопической паре снимков в сравнении с одиночным снимком присущи принципиально новые качества и возможности практического применения: *по паре снимков можно определять не только плановое положение, но и высоты точек местности.*

Для определения пространственных координат точки местности по идеальной паре снимков необходимо знать величину базиса фотографирования, фокусное расстояние фотокамеры, координаты и продольный параллакс соответствующих точек.

В общем случае съемки, когда аэроснимки и базис наклонны, в измеренные значения p, x, y следует вводить поправки для приведения их к идеальному случаю съемки или использовать соотношение координат точек наклонного и горизонтального снимков, а при наличии наклона базиса исправлять его введением поправки или разворотом модели. для этого необходимо знать элементы ориентирования пары аэроснимков.

Взаимное положение снимков в пространстве относительно друг друга при съемке можно характеризовать разностью их элементов внешнего ориентирования:

$$\begin{aligned} \Delta X_s &= X_{s_l} - X_{s_n}; \Delta Y = Y_{s_l} - Y_{s_n}; \Delta Z = Z_{s_l} - Z_{s_n}; \\ \Delta \alpha &= \alpha_l - \alpha_n; \Delta \omega = \omega_l - \omega_n; \Delta \chi = \chi_l - \chi_n. \end{aligned} \quad (5.6)$$

Элементы внешнего ориентирования пары снимков можно представить в виде двух групп элементов взаимного ориентирования $\Delta\alpha, \Delta\omega, \Delta\chi$; элементов геодезического ориентирования $x_s, y_s, z, \alpha_l, \omega_l, \chi_l$.

Элементы взаимного ориентирования определяют по измерениям координат (x_l, x_p, y_l, y_p) не менее чем на пяти стандартно расположенных точках.

Они позволяют вычислить исправленные (расформированные) координаты точек снимка и координаты точек модели. Элементы внешнего ориентирования модели определяют по опорным геодезическим точкам. Если они известны, то пространственные фотограмметрические координаты можно перевычислить в геодезические по формулам:

$$\begin{aligned} X_r &= X_{r0} + \Delta X_r = X_{r0} + (a_1 X + a_2 Y + a_3 Z) t; \\ Y_r &= Y_{r0} + \Delta Y_r = Y_{r0} + (b_1 X + b_2 Y + b_3 Z) t; \\ Z_r &= Z_{r0} + \Delta Z_r = Z_{r0} + (c_1 X + c_2 Y + c_3 Z) t, \end{aligned} \quad (5.7)$$

где X_{r0}, Y_{r0}, Z_{r0} - геодезические координаты начальной точки модели;
 $\Delta X_r, \Delta Y_r, \Delta Z_r$ - приращение геодезических координат точек модели относительно начальной точки;

X, Y, Z - фотограмметрические координаты тех же точек модели относительно выбранной начальной точки;

$a_{1-3}, b_{1-3}, c_{1-3}$ - направляющие косинусы;
 t - знаменатель масштаба модели.

5.5. Определение превышений на аэроснимках

Превышение h между точками A и C (рис. 5.6) можно представить как разность высот фотографирования над этими точками:

$$h = H_A - H_C. \quad (5.8)$$

Подставляя значения высот фотографирования, получим

$$h = B(f/p_a) - B(f/p_c) = [B f (p_c - p_a)] / p_a p_c = H_A \Delta p / p_c, \quad (5.9)$$

где $\Delta p = p_c - p_a$ - разность продольных параллаксов.

Отсюда имеем

$$p_c = p_a + \Delta p. \quad (5.10)$$

Определим из равенства (4.1) величину продольного параллакса:

$$p = B f / H = B / m = b, \quad (5.11)$$

где b - базис фотографирования B в масштабе изображения на снимке точки a , для которой определяется продольный параллакс p .

После этого можно определить продольный параллакс для точки c :

$$p_c = p_a + \Delta p = b_c = b_a + \Delta p. \quad (5.12)$$

Подставив это значение в равенство (4.8) получим

$$h = H_A \Delta p / (b_a + \Delta p). \quad (5.13)$$

Опуская индексы, поскольку они относятся к одной и той же точке, имеем

$$h = H \Delta p / (b + \Delta p), \quad (5.14)$$

где: H - высота фотографирования над начальной точкой;

Δp - разность продольных параллаксов, измеренная на снимках относительно начальной точки;

b - базис фотографирования в масштабе изображения начальной точки.

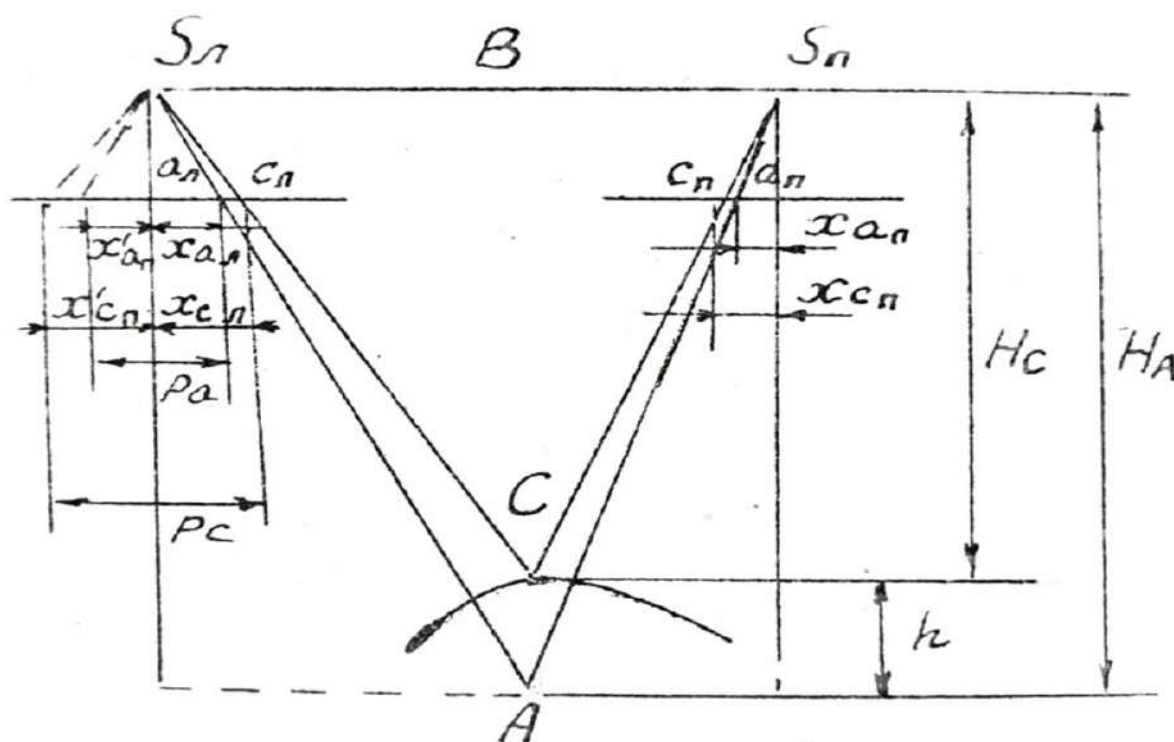


Рис. 5.6. Определение превышений по аэроснимкам

Формула (5.14) является одной из основных в стереофотограмметрии, дает возможность по измерениям стереопары снимков идеального случая съемки определять превышения на местности, а следовательно и отметки точек.

Глава 6. ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ

6.1. Общие положения

Дешифрирование аэроснимков - опознавание и определение качественной и количественной характеристик объектов местности по их фотографическим изображениям на аэроснимках.

При дешифрировании аэроснимков в ходе проектно-изыскательских работ нужно не только опознать элементы местности, но и получить количественные и качественные характеристики проходимости местности, рельефа, водных препятствий, свойства грунта, растительного покрова. В зависимости от условий выполнения дешифрирования оно подразделяется на полевое и камеральное.

Камеральным дешифрированием называется определение действительного значения объектов по аэроснимкам без сличения фотографических изображений с объектами в натуре.

Полевым дешифрированием называется определение действительных объектов путем сличения их фотографических изображений с объектами в натуре.

Высокое качество аэроснимков и накопленный опыт работы по дешифрированию позволяют в настоящее время считать основным видом дешифрирования камеральное.

Степень достоверности и полнота дешифрирования зависят от характера местности, масштаба аэроснимков и их качества, а также от опыта и подготовки дешифровщиков.

6.2. Дешифровочные признаки объектов

Каждый объект имеет свои характерные, особенности, или признаки, позволяющие отличить его от других объектов. Признаки, с помощью которых опознаются объекты на аэроснимках, принято называть *дешифровочными признаками*.

Дешифровочные признаки объектов бывают *прямые* и *косвенные*.

К прямым дешифровочным признакам относятся те, которые присущи самому объекту и являются его неотъемлемым свойством. Прямыми дешифровочными признаками всех объектов, изображенных на аэроснимке, являются *форма и размеры объекта, тон или цвет изображения, а также структура фотоизображения*.

Под косвенными дешифровочными признаками подразумеваются признаки, которые не принадлежат самому объекту, но косвенным путем указывают на наличие объекта и его характерные особенности. Косвенными дешифровочными признаками объектов, изображенных на аэроснимке, являются *местоположение объекта, взаимная связь его с другими объектами и падающая от него тень*.

Перечисленные признаки используются при дешифрировании почти всех объектов.

Такие дешифровочные признаки, как форма, размеры, тон или цвет изображения объекта, его структура, местоположение и взаимная связь между объектами называют постоянными признаками.

Падающая тень от объекта существует не всегда, поэтому этот признак называют временным, непостоянным.

При дешифрирование аэроснимков учитываются не только дешифровочные признаки объектов, но и различные справочные материалы. Справочным материалом для топографических объектов служат снимки - эталоны. Снимком - эталоном называется аэроснимок, на котором все объекты дешифрованы в поле. К этому снимку иногда прилагаются перспективные фотографии или зарисовки характерных объектов, изображенных на данном снимке, описание элементов местности и объектов, которые по фотографическому изображению не обнаруживаются.

Форма объектов

Форма объектов (вид сверху в плане) является важным демаскирующим признаком. Форма объекта в большинстве случаев позволяет надежно разделить объекты естественного и искусственного происхождения. Объекты, созданные человеком, имеют, в основном, правильную геометрическую форму. Так, например, большинство зданий, сооружений, изображается прямоугольниками, профилированные дороги - прямолинейными отрезками, сопряженными с плавными кривыми, и так далее. Объекты местности естественного происхождения (реки, ручьи, озера, овраги, границы естественных угодий и др.) имеют криволинейные неправильные очертания. При использовании этого признака в процессе дешифрирования аэроснимков необходимо учитывать искажение формы объектов, которое может произойти в результате отклонения оптической оси камеры аэрофотоаппарата от ее отвесного положения и вследствие влияния рельефа местности. Формы объектов могут быть наиболее искажены на краях аэроснимков.

Однако использование только формы изображения объектов недостаточно для их распознавания, так как одну и ту же форму могут иметь различные объекты. Поэтому одновременно с формой в качестве дешифровочного признака используют и размер изображения.

Размеры объектов

Размеры объектов при дешифрирование аэроснимков учитываются в большинстве случаев визуально, при этом на глаз оценивается сравнительная величина объекта. Однако иногда возникает необходимость в определении действительных размеров объектов, которые можно найти, пользуясь масштабом аэроснимка, либо путем сравнения размера изображения распознаваемого объекта с размером изображения другого объекта, величина которого в натуре известна.

Определить величину объекта по размерам его изображения на аэроснимке, пользуясь его масштабом, можно по формуле

$$L = lm, \quad (6.1)$$

где L - длина (ширина) объекта в натуре (на местности);
 l - соответствующая длина (ширина) изображения объекта на аэроснимке;
 m - знаменатель численного масштаба аэроснимка.

При определении размера объекта методом сравнения можно воспользоваться формулой

$$L = lL' / l', \quad (6.2)$$

где L - длина (ширина) определяемого объекта в натуре;
 L' - длина (ширина) известного объекта в натуре;
 l - длина (ширина) изображения определяемого объекта на аэроснимке;
 l' - длина (ширина) изображения известного объекта на аэроснимке.

Тон изображения объектов

Степень почернения, или яркость, изображения объектов на аэроснимке называют *тоном изображения*. Темный тон соответствует большему почернению или малой яркости, светлый - малому почернению или большей яркости. Форма объекта вырисовывается на аэроснимке только в том случае, если тон изображения его отличается от тона окружающей местности.

Тон изображения объектов обуславливается, в основном, следующими факторами: отражательной способностью предмета, его освещенностью, характером поверхности предмета, цветочувствительностью фотографической эмульсии, временем года. Светлыми точками изображаются на снимках сухие дороги, песчаные отмели, освещенные скаты, крыши зданий, серыми - пашни, более темными - лесные массивы, озера, реки.

Светло-серыми, почти белыми, изображаются освещенные скаты крыш строений, сухая земля, мосты и пр. Водные пространства, поглощающие свет, изображаются темными тонами, и чем больше глубина, тем чернее. В то же время мутная, вспененная или покрытая рябью вода изображается серым тоном, и тем светлее, чем меньше ее прозрачность. Почва изображается тем темнее, чем больше ее влажность; растительность изображается тем чернее, чем темнее ее окраска в натуре.

Полезно иметь в виду, что если тон изображения разложить на 256 градаций, то глаз человека различает только 25, а для дешифрирования вполне достаточно семи (белый, почти белый, светло-серый, серый, темно-серый, почти черный и черный).

Учитывая нестабильность показателя, при дешифрировании фототон оценивают только в сочетании с другими дешифровочными признаками (например, структурой). Тем не менее, именно фототон выступает как основной дешифровочный признак, формирующий очертания границ, размеры и структуру изображения объекта.

Дешифровочные признаки основных топографических объектов

№ n/n	Объекты топографического дешифрирования	Главные дешифровочные признаки
1	Пашня	В зависимости от увлажненности и типа растительности изменяется тон от светло-серого до серого. Искусственные прямолинейные границы контуров.
2	Луг	Серый тон, криволинейные очертания контуров, сухой луг светлее заливного.
3	Еловый лес	Пестрый рисунок из-за разновысотности деревьев. Кроны светлее и меньше, чем промежутки между ними. Стереофотограмметрические приборы выявляют конусообразность деревьев.
4	Сосновый лес	Однообразный светло-серый рисунок, характерный для деревьев примерно одинаковой высоты. Кроны закругленные.
5	Лиственный лес	Значительно светлее хвойного, небольшие промежутки между кронами.
6	Кустарник	Более слабый тон по сравнению с лесом, короткие тени. Нет сплошного густого массива, нет просек.
7	Сады	Четкие ряды деревьев, которые изображаются на снимках в виде черных точек.
8	Тропинки	Тонкие светло-серые линии.
9	Проселочные дороги	Извилины, неровные края земляного полотна, переменная всю ширина
10	Автомобильные дороги	Очень светлые широкие полосы одинаковой ширины, обрамленные светлыми полосками (обочинами, кюветами). Геометрически правильные закругления.
II	Железные дороги	Светлые полосы с плавными, геометрически правильными закруглениями, с прилегающими широкими полосами (полосами отвода).
12	Мосты на дорогах	Изменение ширины полотна. Тени от опор и пролетных строений.
13	Скаты	Различная освещенность. Скаты, обращенные к солнцу, светлее ровных мест и скатов, наклоненных от солнца.
14	Линии электропередачи и связи	На залесенных участках легко опознаются по просекам, на открытых местах — по незапаханным полосам, на пашне — по теням.
15	Водная поверхность	Водная поверхность глубоких и спокойных водоемов отображается черным тоном, который заметно светлее в мелких местах с песчаным дном, в водоемах с мутной водой, с поверхностью, покрытой рябью от ветра.
16	Колодцы	Темные пятнышки (мокрые места) и ведущие к ним тропинки.

17	Броды	Большое количество дорожек и тропинок, выходящих к берегу реки. В русле видны отмели светлого тона.
18	Геодезические знаки (сигналы и пирамиды)	Сигналы и пирамиды на аэрофотоснимках М1:50000 совершенно не опознаются; в масштабе 1:35000 они могут быть опознаны на пашне по наличию незапаханных под знаками площадей. На аэрофотоснимках М1:18000 можно различить тени от знаков, а в М 1:8000 непосредственно опознаваемы сами знаки.

В настоящее время находят все большее использование цветные и спектрзональные аэроснимки. На этих аэроснимках тон изображения объектов отличается не только степенью почернения, но и цветом. Цветной и спектрзональный аэроснимки дешифрируются легче.

Структура фотоизображения

Структура (текстура) фотоизображения является совокупностью нескольких признаков (формы, размеров, тона и др.) и служит важным демаскирующим признаком многих естественных объектов местности, не имеющих характерной формы. Этот признак достаточно устойчив и относится к наиболее информативным. По зернистой структуре изображения легко распознаются леса, сады, кустарники. Для огородов, распаханых пашен и лесопосадок характерен линейный рисунок фотоизображения.

Местоположение объектов и их взаимосвязь

Некоторые объекты по форме, размерам и тону изображения дешифрируются недостаточно точно. При дешифрировании таких объектов приходится пользоваться и такими демаскирующими признаками, как местоположение объекта и взаимная связь его с другими объектами.

Известна взаимная связь некоторых объектов земной поверхности. Так, например, между древесной растительностью и влагой почвы существует определенная зависимость. Хвойные породы леса произрастают главным образом на песчаных и подзолистых почвах, лиственные леса встречаются больше всего на мягких, жирных почвах. Отдешифровав правильно древесную растительность, можно получить некоторые сведения о свойстве грунта.

Песчаные образования в горной местности обычно бывают там, где грунтовые воды выходят на поверхность. По песчаным отложениям можно определить наличие грунтовых вод на том или ином участке местности.

Взаимосвязь между объектами проявляется также в приуроченности одних объектов к другим, а также в изменении свойств одних объектов в

результате влияния на них других. Например, если дорога обрывается на одном берегу реки и продолжается на другом, то это свидетельствует о наличии брода. Жилые постройки от нежилых в сельских населенных пунктах различаются по более близкому расположению к улице. Леса на болотах имеют меньшую высоту деревьев, мелкие и редкие кроны и т.п.

Тени, падающие от объектов

Тень объекта является одним из существенных дешифровочных признаков. Различают тени собственные, образуемые в результате различной освещенности поверхности объекта в сочетании с ее неровностями, и тени падающие. Так, различные части кроны дерева, скаты крыши, овраги, насыпи, и др. получают различное количество солнечных лучей на единицу поверхности, что определяет их плотность и структуру. Форма отбрасываемой предметом тени, и ее размер позволяет судить о высоте дерева, башни или глубине ямы, канавы, и, следовательно, и о содержании объекта. При этом следует иметь в виду, что на размер тени оказывает влияние рельеф местности (рис. 6.1).

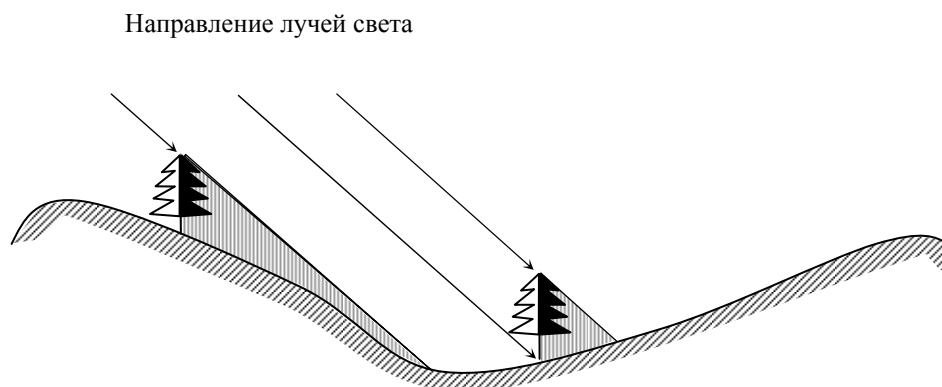


Рис. 6.1. Длина тени объекта и рельеф местности

Падающие тени отображают вытянутую форму силуэта объекта. Это свойство используют при дешифрировании изгородей, телеграфных столбов, водонапорных и силосных башен, наружных знаков пунктов геодезической сети, отдельных деревьев, а также резко выраженных форм рельефа (обрывов, промоин и пр.).

Цвет и его насыщенность является наиболее достоверным признаком, так как при съемке с натуральной цветопередачей цвета объектов местности соответствует цветам фотоизображения. Наилучшие результаты получают при дешифрировании спектрально-насыщенных аэроснимков с более высоким цветовым контрастом.

На аэроснимках, полученных в солнечную погоду, изображаются собственные тени объектов, то есть неосвещенные их части, и падающие тени. Обе эти тени находятся со стороны, противоположной солнцу.

Собственная тень объекта изображается на аэроснимке более темным тоном, чем падающая. Величина падающей тени зависит от времени суток и года. Наиболее длинные тени бывают утром или вечером в зимнее и осеннее время.

Тени от объектов значительно облегчают дешифрирование аэроснимков. Тень дает возможность судить о форме и высоте объекта, что имеет весьма важное значение для дешифрирования. Многие объекты дешифрируются, главным образом, по тени.

6.3. Способы рассматривания аэроснимков

Дешифрирование аэроснимков может быть выполнено невооруженным глазом, с применением простейших увеличительных приборов (луп) и с помощью стереоскопов. Применение того или иного способа зависит от масштаба и разрешающей способности аэроснимка, подготовленности дешифровщика, требуемой степени достоверности и полноты дешифрирования, наличия времени на отработку аэроснимков.

Дешифрирование аэроснимков невооруженным глазом

Дешифрирование аэроснимков невооруженным глазом может быть выполнено только в том случае, когда аэроснимки имеют довольно крупный масштаб и высокую разрешающую способность.

Дешифрирование аэроснимков невооруженным глазом зависит от физиологических возможностей зрения. Физиологические возможности монокулярного зрения могут быть охарактеризованы величиной его разрешающей способности. Представим ее в угловой и линейной мере. В угловой мере она равна примерно 60" при рассматривании на аэроснимке точечных или квадратной формы объектов и 40" при рассматривании линейных объектов. Имея числовые значения разрешающей способности монокулярного зрения в угловой мере, можно определить ее линейные размеры по следующей формуле:

$$l = 25 Y / \rho'', \quad (6.3)$$

- . где l - линейная величина разрешающей способности монокулярного зрения;
- 25 - расстояние наилучшего зрения при рассмотрении аэроснимка, см;
- Y - угловая величина разрешающей способности монокулярного зрения;
- $\rho = 206265$ секунд в одном радиане.

Пользуясь формулой (6.3) находим, что линейная величина разрешающей способности монокулярного зрения для точек или фигур квадратной формы равна 0,07 мм, для вертикальных линий или полос - 0,05 мм.

Зная числовые значения разрешающей способности монокулярного зрения и масштаб аэроснимка, можно заранее вычислить размеры объектов, которые будут наблюдаться на аэроснимке отдельно при рассматривании его невооруженным глазом.

Разрешающая способность фотографического изображения в линейной мере определяется по формуле

$$L_R = l / 2R, \quad (6.4)$$

где L_R - разрешающая способность аэроснимка в линейной мере;
 R - разрешающая способность фотографического изображения.

Например, при $R = 12$ (линия/мм), получим $L_R = 0,04$ (мм).

Сравнивая полученные значения разрешающей способности аэроснимка с разрешающей способностью монокулярного зрения, видим, что первая несколько выше. Следовательно, аэроснимки содержат такие мелкие объекты, которые невооруженным глазом рассмотреть невозможно. Восприятие мелких объектов, изображенных на аэроснимке, может быть значительно увеличено, если рассматривать его с помощью лупы.

Дешифрирование аэроснимков с помощью лупы

Основными характеристиками лупы являются радиус поля зрения и увеличение, которое определяется по формуле

$$\psi = 25 / f, \quad (6.5)$$

где 25 - расстояние наилучшей резкости, см;
 f - фокусное расстояние лупы, см.

Радиус поля зрения может быть вычислен по формуле

$$r = f \operatorname{tg} \beta, \quad (6.6)$$

где β - угол наклона луча.

Определим f из формулы (6.5) и подставим значение в формулу (6.6). Тогда радиус поля зрения, см,

$$r = (25 / \psi) \operatorname{tg} \beta. \quad (6.7)$$

При выборе луп нужно учитывать не только их увеличение и поле зрения, но и разрешающую способность аэроснимка. При рассматривании аэроснимков, имеющих невысокую разрешающую способность, с лупой, обладающей довольно большим увеличением, видны зерна эмульсии, что снижает возможность распознавания объекта.

Для дешифрирования аэроснимков имеется набор луп. В этот набор включены лупы с двухкратным, четырехкратным и десятикратным увеличением. Лупа с двухкратным увеличением имеет большое поле

зрения и используется для общего обзора аэроснимка. Лупа с четырехкратным увеличением имеет незначительное поле зрения, она неудобна для общего обзора, но с успехом используется для изучения деталей объектов. Лупа с десятикратным увеличением имеет измерительную шкалу и используется для определения размеров объектов.

Дешифрирование аэроснимков с помощью стереоскопов

Восприятие рельефа местности и глубины или высоты объектов возможно только при стереоскопическом наблюдении пары снимков, которое обеспечивает бинокулярное зрение.

Линейную величину его разрешающей способности при наблюдении стереоскопа можно определить по формуле

$$H = (HH / B)(\Delta\Psi / \rho) 25 / (f_k \Psi) , \quad (6.8)$$

где H - высота фотографирования;

B - базис фотографирования

$\Delta\Psi$ - острота стереоскопического зрения в угловой мере ($\Delta\Psi = 20 - 30''$);

ρ - радианная мера ($\rho = 206265''$)

f_k - фокусное расстояние аэрофотокамеры;

Ψ - увеличение стереоскопа;

25 - расстояние наилучшей резкости, см.

Анализ формулы (6.8) показывает, что разрешающая способность стереоскопического зрения при наблюдении аэроснимков с помощью стереоскопов возрастает при повышении увеличительной системы стереоскопа и при уменьшении высоты фотографирования.

Целесообразно иметь для дешифрирования стереоскопы двух видов: один с большим увеличением, но с незначительным полем зрения, другой с большим полем зрения, но с незначительным увеличением. Можно обойтись и одним стереоскопом, если снабдить его набором линз с различным увеличением.

Изучение рельефа местности по аэроснимкам

Проходимость местности в значительной степени зависит от характера рельефа. Для его полной характеристики необходимо знать высоту или глубину отдельных его элементов (вершин, гор, лощин, оврагов) и крутизну скатов. Основными демаскирующими признаками форм рельефа являются их форма, размеры, тон изображения, а также тени от объектов.

Изучение рельефа местности по аэроснимкам может быть произведено при помощи стереоскопа, но он не приспособлен к измерению высот точек. В силу этого для детального изучения местности нужно применять фотограмметрический прибор, позволяющий не только строить модель местности, но и определять высоты точек.

Ширину (длину) оврагов, промоин, хребтов, лощин можно определить по размерам их изображений на аэроснимке, пользуясь его масштабом, по формуле (6.1). Глубину оврагов, промоин, высоты вершин можно вычислить по формуле

$$h = H / b\Delta p, \quad (6.9)$$

где H - высота фотографирования;

b - базис снимка;

Δp - разность продольных параллаксов ($\Delta p = p_b - p_o$, где p_o - продольный параллакс верхнего края оврага, вершин; p_b - продольный параллакс их основания).

Продольные параллаксы могут быть измерены с помощью циркуля или с помощью фотограмметрических приборов.

При определении проходимости местности приходится учитывать не только формы рельефа, наличие оврагов и промоин, их ширину и глубину, но и свойства грунта, развитость дорожной сети, характер лесных и болотных массивов, наличие водных преград и т.п.

Свойства грунта по аэроснимкам определяются с помощью косвенных признаков по произрастающей породе леса.

Состояние грунтовых дорог также может являться косвенным признаком определения свойств грунта. Так, например, на влажных местах более четко вырисовываются дорожные колеи, часто встречаются разъезженные участки и объезды. На твердом грунте колеи дорог неглубокие, объездов, как правило, не бывает. На песчаных участках местности ее поверхность вблизи дорог бывает открытой или же поросшей редкой растительностью.

Косвенным признаком, используемым при определении свойств грунта, является форма оврага. На песчаных почвах овраги сравнительно короткие и широкие. На участках меловых отложений овраги узкие, а стенки их крутые. На глинистых породах овраги, как правило, длинные и быстро зарастающие растительностью по склонам.

Для изучения свойств грунта целесообразно использовать помимо черно-белых аэроснимков спектрзональные цветные. На спектрзональных аэроснимках сравнительно четко отличаются лиственные породы леса от хвойных. Влажные заболоченные места на них лучше отличаются от сухих участков местности, чем на черно-белых.

Дешифрирование элементов гидрографии

К элементам гидрографии относят реки, ручьи, каналы, пруды, озера. Вследствие того, что вода обладает незначительной отражательной способностью, на аэроснимках она изображается темным тоном, выделяющимся отчетливо из общего тона объектов изображения. Однако тон изображения воды может изменяться в зависимости от глубины водоема и освещенности солнцем.

При дешифрировании объектов гидрографии нужно определить ширину, характер берегов, отметку уреза воды, направление и скорость течения, а также глубину.

Ширина объекта определяется путем измерения его фотографического изображения на снимке и умножения полученного размера на знаменатель численного масштаба аэроснимка

Урез воды может быть найден не только по тону берега и воды, но и по высоте берега. Высота берега определяется по стереомодели на фотограмметрическом приборе.

Характер берега устанавливается по растительному покрову и тону поверхности земли. Влажные берега изображаются более темным тоном, чем сухие.

Глубина реки определяется по аэроснимкам со значительными затруднениями. Для решения этой задачи необходимо иметь фотограмметрический прибор, называемый микрофотометром, с помощью которого измеряются оптические плотности изображения реки.

Мелкие участки изображаются на аэроснимке светло-серым тоном, а глубокие - темно-серым.

Наиболее характерные признаки, по которым определяется направление течения реки, следующие: острова заостренными концами направлены вниз по течению, притоки впадают в реку, как правило, под острым углом к направлению течения.

Скорость течения реки может быть определена по некоторым косвенным признакам. Наличие порогов и водопадов свидетельствует о значительной скорости течения реки. Наличие водорослей на поверхности реки указывает на то, что река течет медленно.

Крутизну берега реки определяют по измеренным продольным параллаксам и по длине склона.

Дешифрирование лесных массивов

При определении проходимости местности необходимо иметь данные о лесных массивах.

Для определения проходимости лесных массивов необходимо знать не только густоту и высоту леса, но и породу деревьев. Порода леса на аэроснимках определяется по тону изображения деревьев и по форме их крон.

Хвойные леса на аэроснимках получаются более темными, лиственные леса изображаются на снимках более светлым тоном, так как они имеют большую отражательную способность. Аэроснимок лиственного леса получается более крупнозернистым, чем снимок хвойного леса.

Размеры лесных массивов определяются по аэроснимкам с помощью планиметра.

Высота деревьев может быть определена по измерениям разности продольных параллаксов верхушки деревьев и основания по формуле

$$h_{\text{дер}} = H / b \Delta p, \quad (6.10)$$

где H - высота фотографирования;

b - базис снимка;

Δp - разность продольных параллаксов верхушки деревьев и основания.

Толщина деревьев на высоте 1,5 м может быть определена по зависимости между диаметром кроны и диаметром дерева. По данным исследований получены следующие зависимости:

$$d = D_{\text{кр}} / 12 \text{ (для сосны),}$$

$$d = D_{\text{кр}} / 14 \text{ (для ели)}$$

$$d = D_{\text{кр}} / 17 \text{ (для березы),}$$

где d - диаметр дерева на высоте 1,5 м;

$D_{\text{кр}}$ - диаметр кроны.

Густоту леса определяют по аэроснимкам путем подсчета количества деревьев на единицу площади или среднему расстоянию между деревьями. Для определения среднего расстояния между ними выбирают типичный для данного леса участок размером 10×10 м и подсчитывают количество деревьев в нем.

Среднее расстояние определяется по формуле

$$l = 10 / \sqrt{n}, \quad (6.11)$$

где l - среднее расстояние, м;

n - количество деревьев на площади 10 м^2 .

6.4. Организация работы при дешифрировании

Успех работы дешифровщика зависит не только от его подготовленности и качества снимков, но и от состояния рабочего места, правильной последовательности в работе и, кроме того, от умелого использования приборов и вспомогательных материалов.

Рабочее место дешифровщика аэроснимков должно быть подготовлено соответствующим образом. Столы следует установить так, чтобы было достаточно места для рассматривания аэроснимков. На столах необходимо иметь только принадлежности для дешифрирования: лупы различного увеличения, стереоскоп, готовальню, хордоугломер, пропорциональный циркуль, масштабную линейку, микрокалькулятор, транспортир, тушь различных цветов, набор карандашей. Кроме того, у дешифровщика под руками должны быть все справочные материалы (таблицы, справочники, альбомы, чертежи, рисунки), результаты предыдущего дешифрирования и крупномасштабные карты.

Топографическое дешифрирование снимков

Топографическое дешифрирование выполняют с целью выявления, распознавания и определения характеристик объектов местности, которые должны наноситься на план в соответствии с требованиями действующих условных знаков. Дешифрирование снимков в процессе обследования местности в натуре называется полевым. Распознавание на фотоизображениях объектов и контуров без обследования их в натуре называется камеральным дешифрированием. В зависимости от топографической изученности картографируемого района и принятой технологии работ полевое дешифрирование проводится до камерального или после него.

Полевое дешифрирование ведут, как правило, по маршрутам, которые намечают там, где расположены объекты, подлежащие обязательному обследованию в натуре (поселки, мосты, ЛЭП, трубопроводы и проч.).

Камеральное дешифрирование значительно дешевле полевого, но для успешного его выполнения необходимо изучать дешифровочные, или, как их еще называют, демаскирующие признаки объектов.

Камеральное дешифрирование аэрокосмических снимков позволяет опознать и получить количественные характеристики подавляющего большинства объектов местности, изображаемых на создаваемых картах и планах. Достоверность и полнота дешифрирования снимков зависят в значительной степени от организации работ.

Камеральное дешифрирование аэрофотоснимков требует следующего порядка работ:

- подготовка к камеральному дешифрированию аэрофотоснимков;
- дешифрирование снимков и получение количественных характеристик объектов;
- сводка и корректура дешифрованных аэрофотоснимков;
- проверка результатов камерального дешифрирования в поле.

При камеральном дешифрировании обычно используются основные и дополнительные исходные материалы.

К основным исходным материалам относят аэрофотоснимки, эталоны и маршруты полевого дешифрирования, цветные тиражные оттиски карт.

К дополнительным исходным материалам относят ранее изданные топографические карты, ведомственные картографические, литературно-справочные материалы и т.д.

Основой методики камерального дешифрирования аэрофотоснимков является использование дешифровочных признаков объектов. Дешифровочные признаки при обнаружении и опознавании объектов следует применять комплексно. При этом вначале рекомендуется

использовать прямые, а затем косвенные признаки объекта.

Дешифрирование по элементам содержания карты производится в следующем порядке:

- гидрография и сооружения при ней;
- населенные пункты, промышленные и сельскохозяйственные предприятия и сооружения;
- ориентиры и отдельные постройки вне населенных пунктов;
- дорожная сеть и сооружения при ней;
- линии электропередач и связи;
- элементы рельефа не выражающиеся горизонталями;
- растительный покров и грунты.

Дешифрирование снимков со специфическими природными условиями может производиться и в другой последовательности. Например, дешифрирование снимков пустынных районов следует начинать с выявления дорог, колодцев и т.д.

В процессе дешифрирования производится контроль, как самим исполнителем, так и руководителем работ. Самоконтроль исполнителя камерального дешифрирования заключается в повторном опознавании изображений наиболее трудных объектов.

По окончании камерального дешифрирования тщательная корректура каждого снимка производится корректорами, выделенными из наиболее подготовленных топографов.

При корректуре дешифрированных снимков проверяется:

- полнота камерального дешифрирования и правильность применения условных знаков;
- полнота и правильность цифровых характеристик дешифрированных объектов;
- правильность отбора и генерализации дешифрованных объектов;
- соответствие результатов камерального дешифрирования полевым эталонам;
- правильность подписей собственных названий объектов;
- качество сводок дешифрированных снимков.

Понятие о дешифрировании космических снимков

Космические снимки обладают новыми по сравнению с аэрофотоснимками качествами, обуславливающими особенности их дешифрирования.

Потенциальные возможности фотографического метода съемки очень велики и соотношение масштаба оригинальных космических снимков и масштабов карт, для создания которых они используются, может быть достаточно большим. Космические снимки применяются для обновления элементов топографических карт и для создания карт различных масштабов.

Кроме дешифрирования можно назвать и другие области применения космических снимков при создании и обновлении топографических карт:

- проектирование топографических работ;
- проведение рекогносцировочных полевых обследований;
- учет информации об изменениях местности;
- редактирование топографических карт, разработка редакционных документов, особенно ландшафтных схем, согласование карт, увязка содержания смежных листов карт и т. д.

В силу большой обзорности и охвата значительных по площади территорий при дешифрировании космических снимков приходится исходить не из непосредственного знания местности, а из сведений, полученных о ней из различных материалов, главным образом картографических.

При дешифрировании космических снимков так же, как и при работе с аэроснимками, оперируют прямыми дешифровочными признаками и их сочетаниями и косвенными признаками.

Дешифрирование космических снимков в настоящее время производится в основном на ЦФС, которые предназначены для обработки цифровых снимков. Цифровые фотограмметрические станции, разработанные в России, как правило, содержат только программное обеспечение и могут устанавливаться на любом современном компьютере.

Цифровая стереофотограмметрическая станция ЦСС–2. Разработана ЦНИИГАиК и Госцентром «Природа» в 1996 году. ЦСС-2 производит высокоточную стереофотограмметрическую обработку цифровых аэрокосмических снимков с целью создания и обновления топографических карт и планов и выполняет все виды фотограмметрических процессов по обработке одиночных и стереоскопических снимков.

Цифровая фотограмметрическая система «Талка». Разработана в Институте проблем управления РАН. Система предназначена для создания цифровых ортофотопланов и фотосхем, измерительных стереомоделей для векторизации в стерео режиме, цифровых моделей рельефа местности, производства кадастровых планов и топографических электронных карт с использованием космических и аэрофотосъемочных материалов.

Цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС). Разработана ЦНИИГАиК и предназначена для обновления по одиночным аэрокосмическим снимкам цифровых, электронных карт и планов городов по результатам дешифрирования.

Цифровая фотограмметрическая станция «Дельта». Разработана в 1998 году научно-производственной лабораторией «Геосистема» производственного объединения «Аэрогеоприбор». ЦФС «Дельта» предназначена для обработки аэрокосмических снимков с целью

получения картографических материалов, цифровых карт и планов и ортофотопланов.

Система многофункциональной фотограмметрической обработки стереопарных изображений PHOTOMOD. Разработана фирмой «Ракурс» в 1994 г. PHOTOMOD позволяет осуществлять полный фотограмметрический цикл обработки стереопарных изображений.

Программно–технический комплекс «Садко» (Система Автоматизированного Дешифрирования Космических Снимков) разработан в 29 НИИ, 38 ЦАФТО, г. Москва в 1998 г. Предназначен для автоматизированного дешифрирования результатов дистанционного зондирования Земли.

Глава 7. СОЗДАНИЕ И ОБНОВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ ПО АЭРОСНИМКАМ

7.1 Стереотопографическая съемка. Технологическая схема

Сущность метода заключается в том, что в камеральных условиях по фотоснимкам получают и контурную часть плана, и изображение рельефа. Полевые работы могут быть необходимы только для определения плановых координат (высот) опознаков и дешифрирования снимков.

Теоретической основой метода является решение двойной обратной пространственной фотограмметрической засечки. Но характер и последовательность выполнения основных процессов зависит в основном от двух факторов: применяемого для обработки снимков оборудования, и необходимости составления фотоплана (ортофотоплана).

Фотопланы (ортофотопланы) как основу топографического плана есть смысл составлять, если снимаемая территория (незастроенная, с рассредоточенной и малоэтажной застройкой) характеризуется большим количеством контуров.

Последовательность выполнения технологических процессов в стереотопографическом методе съемки можно представить так, как это сделано на рис. 7.1.

К цифровым методам обработки снимков привело бурное развитие вычислительной техники. На первый взгляд цифровые и аналитические методы это одно и то же. Но это не так. В аналитических методах основным источником информации является фотоснимок, который и измеряется оператором для определения координат и параллаксов. Значит аналитический прибор, как обрабатывающая система обязательно имеет той или иной конструкции стереокомпаратор.

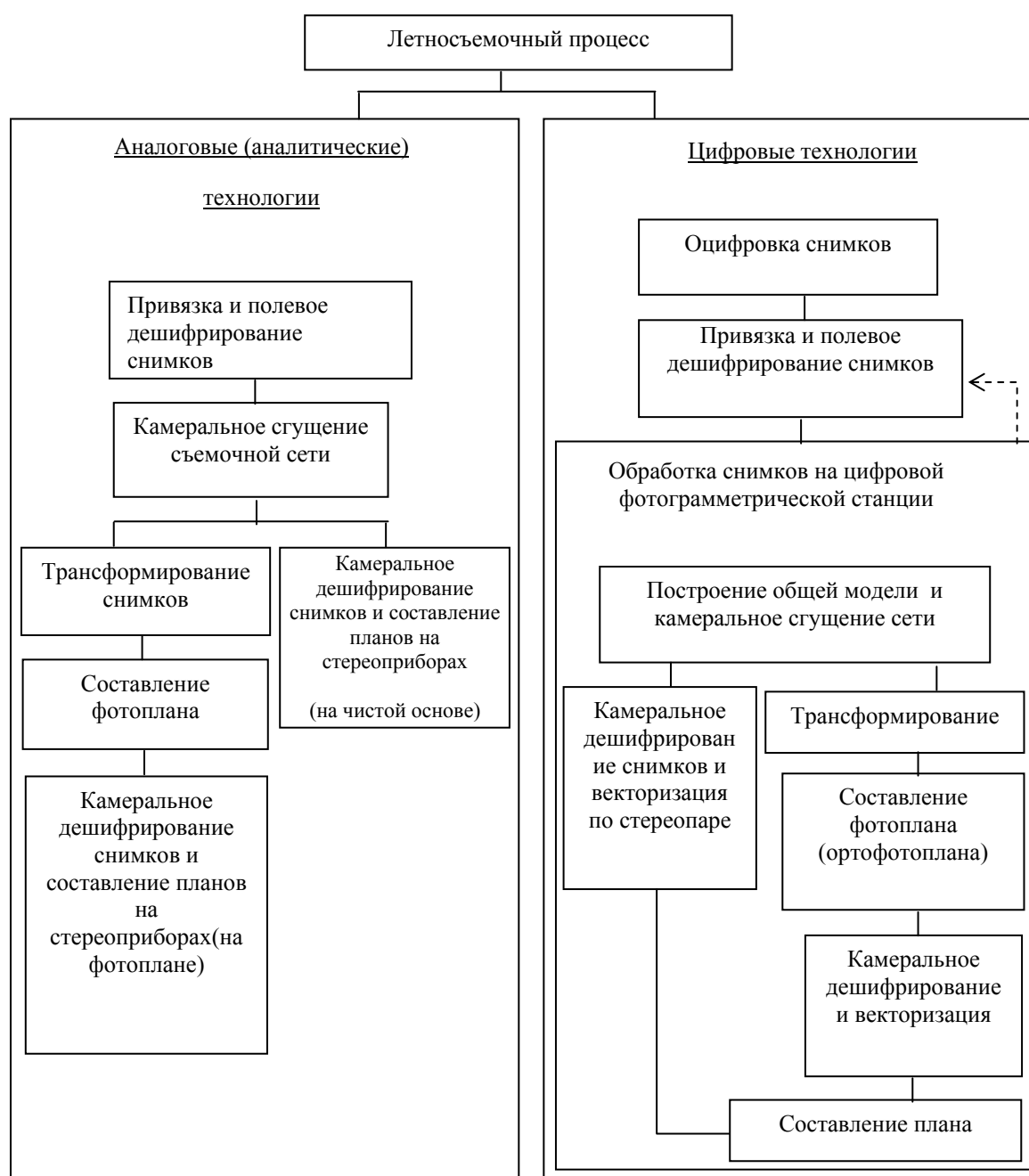


Рис.7.1. Основные процессы стереотопографической съёмки

Цифровые методы имеют дело с цифровым снимком на каком то носителе, который получают как результат сканирования фотоизображений или путем фотографирования цифровыми камерами.

Часть информации может быть получена в процессе дигитализации существующих картографических материалов. Все это обрабатывается на компьютере. Результат обработки контролируется на экране дисплея, в том числе и в трехмерном виде.

7.2. Назначение и классификация универсальных приборов

Эти приборы предназначены для составления планов и карт по паре фотоснимков, а также для сгущения сети съемочного обоснования. Они реализуют решение двойной обратной пространственной фотограмметрической засечки.

Считается, что в процессе развития средств измерения стереопар создано два поколения универсальных аналоговых стереофотограмметрических приборов. При конструировании приборов первого поколения опирались в основном на достижения оптики и механики. Основными их частями являлись моделирующая, измерительная, наблюдательная системы и координатограф.

Появление приборов второго поколения это результат развития вычислительной техники. На направляющие устанавливались регистраторы перемещений, что позволяло автоматизировать процесс передачи результатов измерений в ЭВМ, а значит организовать процесс обработки пары в режиме реального времени (в том числе и процесс построения цифровой модели объекта).

По способу построения пространственной засечки, рассматриваемые приборы можно разделить на оптические, оптико-механические и механические.

По точности аналоговые приборы подразделяются на 3 класса (1,2,3 класса).

Засечка в приборах осуществляется по принципу треугольника, параллелограмма или треугольник плюс параллелограмм. Приборы отличаются по способу наблюдения и измерения модели. Основным является оптический способ наблюдения с помощью бинокулярной системы. Для измерения используется мнимая марка. Реже применяются способы анаглифов и поляроидов, а для измерения – действительная марка.

7.3 Аналоговые, аналитические и цифровые приборы

Оптические универсальные аналоговые стереоприборы. В таких приборах, различного класса точности и разной конструкции, связка лучей восстанавливается, и пространственная модель строится оптическим способом (рис. 7.2).

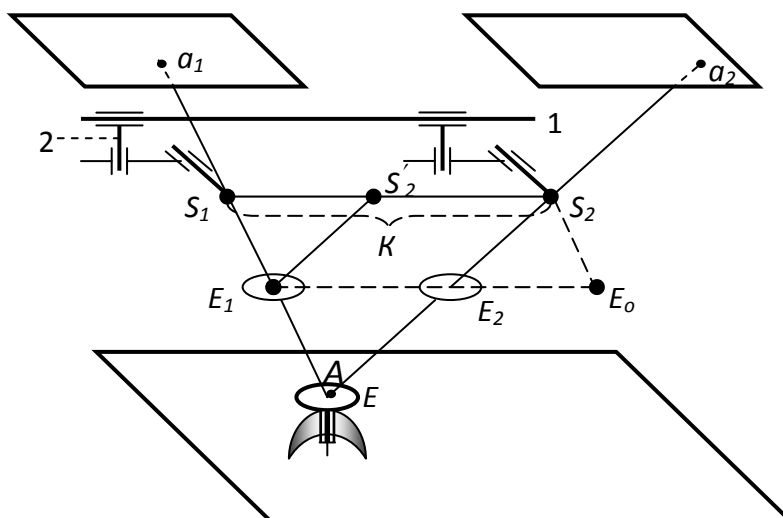


Рис. 7.2 Схема аналогового стереоприбора

В нашей стране широкое распространение на производстве получили двойной проектор и мультимплекс. Основными частями проектора (рис.7.2) являются штанга 1, кронштейны 2, на которых крепятся проектирующие камеры, и планшет, где устанавливается действительная марка с экраном E . Точки S_1 и S_2 (задние узловые точки объективов камер) являются центрами проекций. Через них проходят проектирующие лучи Aa_1 и Aa_2 . Камеры можно перемещать вдоль трех взаимно перпендикулярных направляющих, наклонять на углы α , и ω и поворачивать в своей плоскости на угол κ . Указанные движения обеспечивают построение модели.

Универсальные приборы механического типа. Приборам механического типа конструкторы отдавали предпочтение. В них засечка осуществляется с помощью одной, а иногда двух пар рычагов или линейек. В нашей стране выпускались и были широко распространены на производстве стереопроектор Романовского (СПР), стереограф Дробышева (СД) и его модификация стереограф цниигаик (сц).

Понятие об универсальных стереоприборах аналитического типа.

Создание аналитических универсальных стереоприборов связано, прежде всего, с успехами в развитии электронно-вычислительной техники. Это фактически фотограмметрический комплекс, основными частями которого являются: высокоточный прибор для измерения снимков (то есть той или иной конструкции стереокомпаратор), управляющая ПЭВМ, графопостроитель, программное обеспечение и различные сервисные устройства.

Основные процессы при обработке снимков:

- загрузка исходных данных в ПЭВМ и установка снимков на каретках снимкодержателей;
- внутреннее ориентирование, которое сводится к выполнению измерений на координатных метках или на крестах, если впечатана сетка. Результат – параметры, позволяющие пересчитывать фиксируемые в процессе измерений отсчеты в фотокоординаты;
- взаимное ориентирование снимков. Оно заключается в измерении координат не менее чем на 5 соответственных точках. На самом деле точек берут больше, и их расположение не обязательно должно быть стандартным. Результат – элементы взаимного ориентирования, используемые для вычисления смещений снимков, осуществляемых приводными двигателями. Если ориентирование выполнено корректно, то поперечный параллакс будет отсутствовать при наведении на любую пару соответственных точек (то есть будет построена модель);
- внешнее ориентирование модели состоит в измерении координат опознаков и вычислении матрицы преобразования. Важной характеристикой качества построенной модели и результатов внешнего ориентирования являются остаточный поперечный параллакс и невязки на опознаках.
- измерение модели и составление плана начинают после согласования систем координат модели и основы расположенной на столе графопостроителя.

Особенности основных отечественных фотограмметрических станций.

PHOTMOD это программное обеспечение для персональных компьютеров по цифровой обработке снимков, которое было разработано, постоянно совершенствуется и внедряется компанией Ракурс (Москва). Компания была основана в 1993 году, и в настоящее время ее продукция успешно эксплуатируется на многих предприятиях России, странах СНГ и дальнего зарубежья.

Последняя версия PHOTMOD 5.0 обеспечивает:

- Обработку снимков центральной проекции и сканерных изображений.
- Выполнение блочной фототриангуляции.
- Создание цифровых моделей рельефа.
- Создание ортофотоплана.
- Векторизацию в стереорежиме и по ортофотоплану.
- Создание и печать электронных карт.
- Калибровку планшетных полиграфических сканеров.

Программный комплекс «Талка» разработан в лаборатории РАН и в настоящее время существует несколько его версий. Он предназначен для создания цифровых фотопланов, ортофотопланов и фотосхем, а также ЦМР и векторных контуров объектов с использованием космических и аэрофотосъемочных материалов. Комплекс обеспечивает:

- работу в местной системе координат или в проекции Гаусса-Крюгера в соглашениях 1942 года;

- ввод маршрутной схемы с указанием направления залета, взаимного расположения аэроснимков, приближенного значения продольного и поперечного перекрытия в процентах, координат центров фотографирования;

- ввод стандартной таблицы дисторсии объектива АФА, таблицы крестов или положения координатных меток и других параметров внутреннего ориентирования фотоснимков. Расчет ошибок снимка с учетом всех этих данных и с использованием результатов расчета внутреннего ориентирования во всех дальнейших вычислениях;

- просмотр фотоснимков с одновременным выводом на экран любого их количества, создание технического проекта, создание репродукции накидного монтажа и увеличение фрагментов фотоснимков;

- расстановку опорных и контрольных точек с выводом координат планово-высотной подготовки;

- ручную и автоматическую расстановку определяемых точек по зонам, контрольный пробег по точкам с выводом на экран абрисов точек в заданном увеличении, автоматическую идентификацию точек разных фотоснимков;

- возможность объявления любых фотоснимков стереопарой;

- построение стереоконтуров по стереомодели с экспортом в DXF формат в заданной системе координат после проведения блочной фототриангуляции;

- автоматическое построение ЦМР по стереопаре с учетом введенных оператором стереоточек, проверку и исправление построенной ЦМР;

- развитие аналитической блочной фототриангуляции с учетом данных взаимного ориентирования каждой стереопары, уравниванием всей модели и с внешним ее ориентированием;

- создание единой ЦМР в указанной оператором области с взаимной сводкой ЦМР, полученных по стереопарам;

- построение горизонталей с рисовкой утолщенных горизонталей, разрядкой горизонталей на крутых склонах, построением бергштрихов и надписей в автоматическом режиме;

- расчет смещения точек фотоснимка из-за влияния рельефа с использованием построенной единой ЦМР, аналитическое трансформирование снимков в цифровом виде с учетом смещения точек

из-за влияния рельефа, наклона оптической оси, ошибок снимков, усадки на опорные точки;

- создание мозаичных ортофотопланов по серии снимков с идеальным совмещением всех трансформационных точек снимков, фотометрическим выравниванием фона изображений, созданием зарамочного оформления по существующим стандартам, рисовкой горизонталей;

- средства стереонаблюдений – стереоочки типа «3DMAX» или «3DBIS» на станции – в случае обработки снимков с построением ЦМР по стереомодели.

7.4 Создание топографических карт на стереоприборах.

Основные процессы

На разных ЦФС и стереоприборах (АФП) программы обработки снимков варьируются и, соответственно, имеются свои особенности построения и ориентирования модели, съёмки рельефа и контуров. Однако, в целом, работа выполняется одинаково, поэтому можно дать обобщённое описание порядка работы. На рис. 7.3 приведена технологическая схема из укрупнённых процессов фотограмметрической обработки стереопары.

Процессы: подготовительные работы, внутреннее и взаимное ориентирование снимков, внешнее ориентирование модели, оператор-фотограмметрист должен выполнять как можно быстрее, т.к. чем быстрее эти процессы будут выполнены, тем быстрее можно будет приступить к съёмке рельефа и контуров, и тем выше будет производительность труда.

Подготовительные работы включают получение и изучение исходных материалов, а также подготовку прибора к работе. Исходными материалами являются:

- материалы наземной, аэро- или космической съёмки;
- паспортные данные фотокамеры: фокусное расстояние, расстояния между координатными метками или координаты этих меток, данные о дисторсии объектива и другие данные при использовании не кадровых фотокамер;
- значение высоты фотографирования над средней плоскостью участка местности или значение среднего масштаба снимков;
- элементы внешнего ориентирования снимков, если они были определены во время съёмки (данные ГЛОНАСС или GPS) или при построении сети фототриангуляции;
- материалы планово-высотной подготовки снимков;
- материалы полевого и камерального дешифрирования;
- редакционные указания и ведомственные материалы картографического назначения;

- уточнённые фотосхемы или снимки, увеличенные до масштаба составляемой карты с подписанными географическими названиями и характеристиками топографических объектов.

Съёмку рельефа выполняют только в стереоскопическом режиме. Съёмку контуров выполняют в стереоскопическом режиме или монокулярном по фотоплану. Стереосъёмка контуров выполняется при создании топографических карт на всхолмленные, горные и высокогорные районы, а также на территории с многоэтажной застройкой. Монокулярная съёмка контуров по ортофотоплану используется при создании топографических карт на равнинные и всхолмленные районы, незастроенные территории или с малоэтажной застройкой. Стереосъёмку рельефа и контуров производят в пределах рабочих площадей стереопар. На их границах производят сводку контуров и горизонталей. Нестыковка контуров не должна быть больше 0,6 мм в масштабе карты, а одноимённых горизонталей - не больше одной трети высоты сечения рельефа.

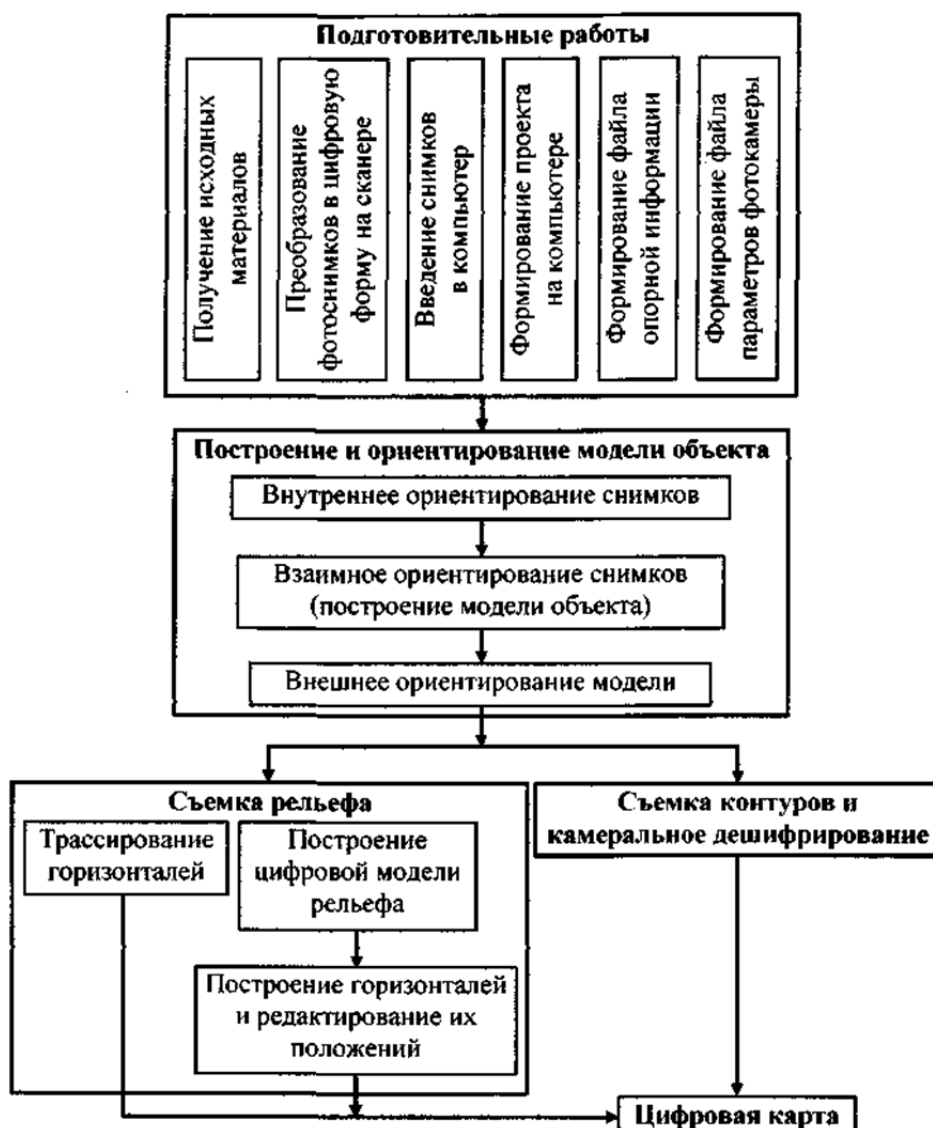


Рис. 7.3. Технологическая схема фотограмметрической обработки стереопары

При величине заложения горизонталей менее 2 мм, нестыковка одноимённых горизонталей не должна быть больше 0,7 мм в масштабе карты.

7.5 Обновление топографических карт по аэрофотоснимкам

С течением времени природные факторы и деятельность человека изменяют внешний вид участков земной поверхности и они перестают соответствовать содержанию топографических карт, созданных ранее на эти участки. В результате возникает необходимость либо создавать карту заново, либо обновлять существующую. Карту создают заново, если земная поверхность изменила свой внешний вид существенно и на значительной площади, что требует создания новой планово-высотной основы карты, либо изменились требования к точности карты, и ранее выполненная съёмка им не соответствует.

Однако такие изменения происходят редко. Кроме того, из двух составляющих внешнего вида земной поверхности: ситуации и рельефа, последний на больших площадях не изменяется длительное время, а возникающие из-за природных факторов и деятельности человека изменения носят локальный характер. Что касается ситуации, то её изменения носят динамичный характер. Старение карт на районы интенсивного развития государственного хозяйства происходит значительно быстрее, чем на малообжитые районы. В связи с этим обновление карт на обжитые и промышленно развитые районы выполняется через 6-8 лет, а на остальные районы - через 10-15 лет.

Обновление карт через определённые промежутки времени называется периодическим и является основным. В то же время на районы с интенсивным развитием хозяйства, где изменение ситуации происходит очень быстро, применяется непрерывное обновление карт, для чего ведут дежурную карту масштаба 1:25000 или 1:10000, на которую наносят возникающие изменения и на основе этой карты издаются обновлённые карты.

Обновление топографических карт производят, в основном, по снимкам с использованием компьютерной техники. При обновлении используют три способа:

- по одиночным снимкам;
- по новому фотоплану;
- по модели местности.

1. Обновление карты по снимкам выполняют, если объём исправлений меньше 30-40% контурной нагрузки карты, и применяют для плоскоравнинных и равнинных районов.

2. Обновление карты на основе нового фотоплана производят, если объём исправлений превышает 30-40%, и применяют для плоскоравнинных, равнинных и всхолмленных районов.

3. Обновление карты по модели местности выполняют для рельефных, горных районов.

В подготовительные работы входят: сбор материалов картографического значения, анализ объёма и характера изменений местности, составление рабочего проекта камеральных работ, преобразования топографической карты и снимков в цифровую форму и ввода их в компьютер, построение цифровой модели рельефа по оцифрованным горизонталям.

В фотограмметрическую обработку снимков входят: фотограмметрическое сгущение опорной сети путём построения сетей фототриангуляции, орто-фототрансформирование снимков с использованием ЦМР и монтирование фотоплана, съёмка контуров по фотоплану (равнинно-всхолмленные районы) или по стереомодели (горных районов).

После камерального исправления карты производят полевое обследование, в ходе которого уточняют объекты, дешифрованные неуверенно, и производят съёмку объектов, не изобразившихся на снимках или появившихся после проведения аэросъёмки. Кроме того, производят сбор сведений для топографического описания и уточняют названия объектов.

По завершении указанных работ изготавливают издательский оригинал и приступают к обновлению карт всего масштабного ряда вплоть до 1:100000, включительно, что должно быть сделано за период, не превышающий 2-3 года.

Глава 8. ПОНЯТИЕ О КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Если грамотное выполнение аэро- и наземной съёмки обеспечивают успешное выполнение фотограмметрической обработки снимков, то объём картографической информации о поверхности планеты, получаемой по космическим снимкам, и методика фотограмметрической обработки этих снимков определяются условиями проведения съёмочного сеанса. Среди этих условий основными являются:

- вид траектории, по которой перемещался носитель съёмочной системы;
- ориентация оптической оси съёмочной системы в пространстве;
- принцип построения изображения, положенный в основу работы съёмочной системы.

Космическая съёмка производится с гораздо больших высот, чем аэросъёмка. Высоты фотографирования равны сотням и тысячам

километров, поэтому по сравнению с аэроснимками космические снимки имеют более мелкий масштаб. Для того чтобы укрупнить масштаб снимков, приходится увеличивать фокусное расстояние фотокамеры, т.е. брать более длиннофокусные фотокамеры, чем используются при топографической аэросъёмке. Кроме того, высоты фотографирования во время съёмочного сеанса изменяются в больших пределах как за счёт взаимного расположения траектории и небесного тела, так и за счёт кривизны траектории и сферичности поверхности небесного тела, а это приводит к значительной разномасштабности снимков.

В связи с изменением высот фотографирования в больших пределах возрастают требования к выдерживанию продольного перекрытия снимков. При съёмке с постоянным интервалом фотографирования процент продольного перекрытия на больших высотах фотографирования будет близок к максимальному значению и начнет уменьшаться по мере приближения носителя фотокамеры к планете, достигнув наименьшего значения на минимальной высоте, а затем с удалением носителя от планеты снова будет увеличиваться.

Еще одна особенность космической съёмки состоит в том, что нужно учитывать изменение освещённости по трассе полёта из-за изменения высоты Солнца над горизонтом. В связи с этим съёмочная система должна иметь автомат регулирования экспозиции.

Так как фотокамера установлена в герметичном отсеке носителя, где поддерживаются заданные температура и давление, на геометрию построения изображения оказывают влияние иллюминатор, через который производится фотографирование, и внутренняя фотограмметрическая рефракция, возникающая из-за прохождения оптическими лучами резко различных сред по обе стороны иллюминатора. В то же время при фотографировании планет, не имеющих атмосферы, отсутствует влияние атмосферной рефракции.

При планировании каждого космического полёта выбирают оптимальную траекторию, которая позволила бы при пролёте небесного тела, его облёте или выходе на орбиту его спутника получить максимальную информацию при решении разнообразных научно-технических задач. Движение космического аппарата при условии, что на него действует притяжение только одного небесного тела, происходит по так называемым кеплеровским орбитам, соответствующим математическим линиям: прямой, окружности, эллипсу, параболе, гиперболе.

В течение сеанса космической съёмки применяют два варианта расположения оптической оси съёмочной системы в пространстве. Эти варианты соответствуют двум известным случаям съёмки: параллельному и конвергентному, но при космической съёмке частным случаем

последнего является отслеживание оптической осью съёмочной системы местной вертикали на поверхности планеты.

После выбора оптимальной траектории полёта космического носителя съёмочной системы на ней намечают в зависимости от задач, которые должны решаться по космическим снимкам, отдельные участки, где предполагается проведение съёмочных сеансов. Возможны следующие варианты выбора таких участков на траектории полёта при съёмке планеты: 1) при подлёте к ней или отлёте от неё; 2) в районе прохождения станцией перицентра траектории; 3) на различных участках орбиты искусственного спутника планеты. Если программой полёта предусмотрена посадка космического аппарата на поверхность планеты, то съёмка производится по аналогии с наземной фотосъёмкой, и полученные снимки используют для создания крупномасштабных карт и планов на небольшие участки.

Использование космических снимков для создания карт в масштабах мельче 1:100000 даёт возможность отказаться от технологии составления от крупного масштаба к мелкому. Т.к. на космических снимках имеет место естественная генерализация контуров, сокращается влияние субъективных факторов при генерализации изображения на создаваемой карте. В результате общегеографические и тематические карты создаются быстрее, и их качество повышается, т.к. картограф-составитель, меньше занимаясь вопросами, касающимися генерализации, больше уделяет внимания вопросам содержания карты.

Космические снимки охватывают большие площади планеты, в пределах которых сферическую поверхность планеты нельзя аппроксимировать плоскостью. Её разворот на плоскость осуществляется по формулам математической картографии.

Например, для топографических карт в нашей стране используется проекция Гаусса-Крюгера, в которой при фотограмметрической обработке аэроснимков задают координаты опорных точек, и на этапе внешнего ориентирования проблем не возникает. Но система координат проекции Гаусса-Крюгера привязана к узкой полосе шириной в 6° . Следовательно, таких систем координат на поверхности Земли будет 60, и в пределах стереопары космических снимков или одного снимка будет не одна такая система координат. При фотограмметрической обработке на этапе внешнего ориентирования снимков система координат планеты должна быть одна. В качестве такой системы координат нужно взять планетоцентрическую систему координат, которая является единой для всей поверхности планеты и исходной при расчёте картографической проекции.

Таким образом, обработка космических снимков должна быть произведена с учётом фотограмметрических преобразований и формул выбранной картографической проекции. В этом случае влияние

сферичности планеты будет находиться в пределах, устанавливаемых для данной проекции и масштаба карты.

При космической съёмке используются панорамные фотокамеры, которые позволяют за один орбитальный пролёт сфотографировать с учётом возможностей съёмочной системы практически всю освещённую поверхность планеты от горизонта до горизонта поперёк маршрута и от утреннего до вечернего терминатора вдоль маршрута. Панорамные фотокамеры относятся к сканерным съёмочным системам, выполняющим регистрацию изображения построчно.

Особенностью радиолокационной съёмки является то, что её можно проводить независимо от времени суток, погодных условий, наличия облачного покрова. Сдерживающими факторами широкого применения этой съёмки для целей картографирования поверхностей планет была низкая разрешающая способность по сравнению с фотосъёмкой и сложность обработки полученных радиолокационных изображений. Однако эти недостатки устраняются совершенствованием радиолокационной техники, записью изображений в цифровой форме, электронно-оптическими методами преобразования изображений, компьютерными методами обработки получаемой информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобанов А.Н., Буров М.И., Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. - М.: Недра, 1987.
2. Фельдман М.И., Фостиков А.А. Фотограмметрия. - М., Недра, 1993
3. Обиралов А.И. и др. Практикум по фотограмметрии и дешифрированию снимков. - М.: Недра, 1990.
4. Михайлов А.П. «Курс лекций по фотограмметрии». – М., МИИГАИК.
5. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании топографических карт и планов. - М.: Недра, 1974.
6. Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания топографических карт и планов. - М.: Недра, 1982
7. Федоров В.И. Инженерная аэрогеодезия. - М.: Недра, 1988
8. Корнилов Ю.Н. Фотограмметрия. Курс лекций. – СПб., 2006
9. Инструкция по дешифрированию аэрофотоснимков и фотопланов в масштабах 1:10 000 и 1:25 000 для целей землеустройства, государственного учета и земельного кадастра. - М.: ВИСХАГИ, 1978.
10. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5 000 - 1:500. - М.: Недра, 1985.
11. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:10000 - 1:25000.— М.: Недра, 1982.
12. Руководство по обновлению топографических карт. - М.: Недра, 1978.

Учебное издание

Соловьёв Александр Николаевич,
Орехов Михаил Михайлович,
Матэр Оксана Михайловна,
Божбов Владимир Евгеньевич

ФОТОГРАММЕТРИЯ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

Учебное пособие

Редактор
Корректор
Компьютерная верстка