



Тема лекции 9. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

Вопросы:

- 9.1. Понятие о съемках местности.
- 9.2. Сущность теодолитной съемки.
- 9.3. Способы съемки ситуации.
- 9.4. Построение плана теодолитной съемки.
 - 9.4.1. Расчет листа бумаги для построения плана.
 - 9.4.2. Построение координатной сетки.
 - 9.4.3. Нанесение точек по координатам и ситуации на план.
 - 9.4.4. Оформление плана.
- 9.5. Тахеометрическая съемка.
 - 9.5.1. Сущность тахеометрической съемки.
 - 9.5.2. Плановое и высотное обоснование тахеометрической съемки.
 - 9.5.3. Порядок работы на станции при съемке ситуации и рельефа.
 - 9.5.4. Обработка материалов тахеометрической съемки.
 - 9.5.5. Построение плана тахеометрической съемки.
- 9.6. Аэрофотосъемка.
 - 9.6.1. Аэрофотосъемка, её сущность и назначение. Виды аэрофотосъёмки.
 - 9.6.2. Аэрофотоаппараты, их основные характеристики
 - 9.6.3. Аэрофотоснимок и его метрические свойства. Продольное и поперечное перекрытие аэрофотоснимка.
 - 9.6.4. Центральная проекция, как геометрическая основа аэрофотоснимка.
 - 9.6.5. Главный масштаб аэрофотоснимка и его определение
 - 9.6.6. Определение масштаба аэрофотоснимка по базисам, измеренным на снимке и на карте. Требования к выбору базисов.
 - 9.6.7. Смещение точки на снимке, вызванное рельефом местности.
 - 9.6.8. Смещение контурных точек за угол наклона.
 - 9.6.9. Стереоскоп. Стереоскопическое наблюдение снимков
 - 9.6.10. Дешифрирование аэрофотоснимков

Литература

1. Юнусов, А.Г. Геодезия: учебное пособие для вузов. / А.Г. Юнусов, А.Б. Беликов, В.Н. Баранов, Ю.Ю. Каширкин. – М.: Академический проект, 2011. 409 с.
2. Куштин, И.Ф. Геодезия: учебно-практическое пособие. / И. Ф. Куштин, В.И. Куштин. – Ростов н/Д. Феникс, 2009. – 909 с.
3. Ямбаев, Х.К. Геодезическое инструментоведение: учебник для вузов./ Х.К. Ямбаев. – М.: Академический проект, 2011. – 583 с.
4. Неумывакин, Ю.К., Практикум по геодезии / Ю.К.Неумывакин, А.С.Смирнов. – М.: Недра, 1995.
5. Подшивалов, В. П. Инженерная геодезия : учебник / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – Минск : Выш. шк., 2011. – 463 с.
6. Янченко, Е.А. Геодезия [Текст]: курс лекций для студ. I курса очной и заочной форм обучения направления «Землеустройство и кадастры», профилей «Землеустройство», «Земельный кадастр», «Кадастр недвижимости» / Е.А. Янченко; Инж. мелиор. ин-т. ДГАУ, каф. геодезии. – Новочеркасск, 2014. - 174 с.

Вопрос 9.1. Понятие о съемках местности

Топографические карты и планы больших территорий создаются в основном методом аэрофотосъемки, т.е. фотографирования земной поверхности с летательных аппаратов, преимущественно самолетов (воздушные съемки). В настоящее время разрабатываются и внедряются в практику другие методы воздушных съемок – сканирование земной поверхности в оптическом диапазоне, лазерное сканирование с последующей компьютерной обработкой данных. На территориях застройки применяют наземные топографические съемки – теодолитную, тахеометрическую, нивелирование поверхности, фототеодолитную.

Наземной топографической съемкой называется комплекс работ, выполняемых на местности и в камеральных условиях с целью составления топографической карты или плана, а также получения данных для создания цифровой модели местности. Топографические съемки производятся относительно пунктов съемочного геодезического обоснования, созданного теодолитно-нивелирными ходами, микротриангуляцией, геодезическими засечками или же современными более точными и технологичными методами, которые обеспечиваются электронными тахеометрами и спутниковыми приборами.

На рис.7.1 приведен пример схемы планового съемочного обоснования, созданного теодолитными ходами.

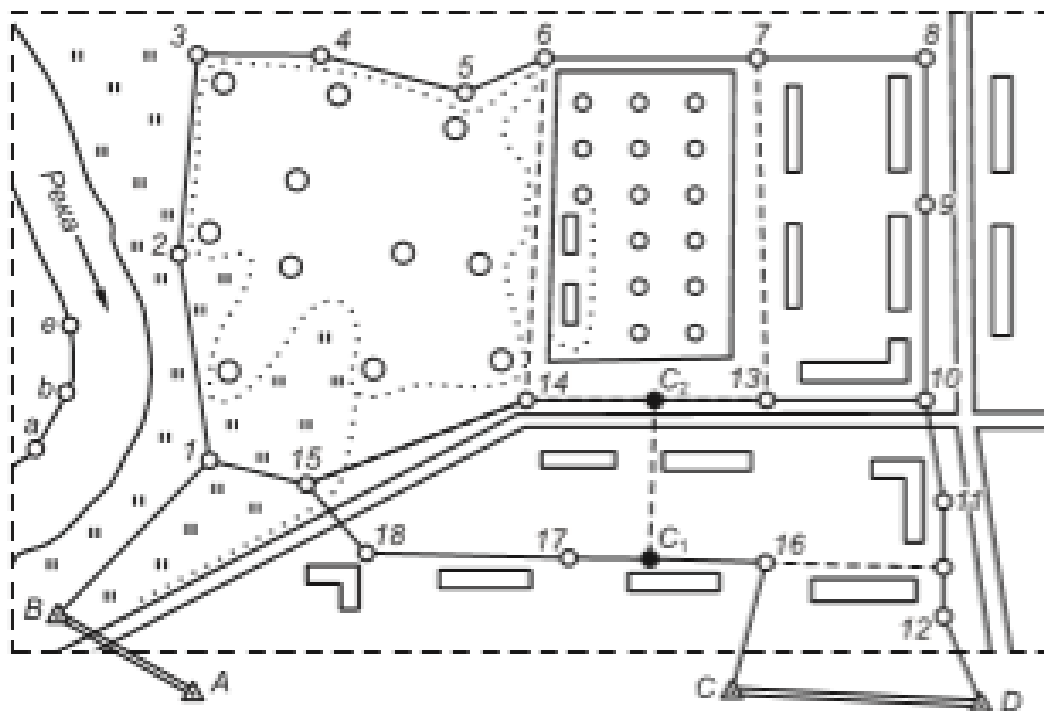


Рис. 9.1. Схема съемочного обоснования, созданного теодолитными ходами.

Вопрос 9.2. Сущность теодолитной съемки

Теодолитная съемка является полевой работой, при выполнении которой сначала создается съемочная геодезическая сеть, а затем производится съемка подробностей (ситуации). Теодолитной она называется потому, что основным прибором с помощью которого она выполняется, является *теодолит*.

Съемочной геодезической сетью при теодолитной съемке может быть *сеть треугольников*, *сеть теодолитных полигонов*, составляющих группу смежных многоугольников, или *сеть теодолитных ходов* (рис.7.2), представляющих систему ломаных линий.

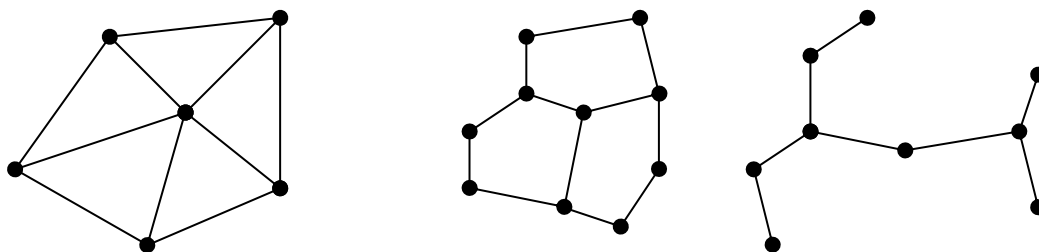


Рис. 9.2.

Ход, проложенный внутри полигона для съемки ситуации, называется *диагональным*.

Процесс теодолитной съемки складывается из:

- 1) закрепления точек на местности (все поворотные точки полигонов и ходов закрепляют на местности кольями, столбами и т.д.);
- 2) измерения линий и углов в полигонах и ходах;
- 3) съемка подробностей (ситуации).

Для измерения линий в полигонах и ходах применяют стальные ленты, рулетки, дальномеры и другие приборы, позволяющие измерять линии с относительной погрешностью не более $1/2000$.

Углы в теодолитных полигонах и ходах измеряют с помощью теодолитов с погрешностью не более $0,5$.

Вопрос 9.3. Способы съемки ситуации

Съемка ситуации (подробная съемка контуров местности) производится либо одновременно с прокладкой теодолитного хода, либо после создания съемочного обоснования. В процессе съемки составляются *абрисы* – разборчивые схематические чертежи, на которых показывают точки теодолитного хода, контуры объектов и записывают линейные и угловые данные съемочных измерений, выполняемых различными способами.

Способ перпендикуляров (способ прямоугольных координат) применяется для съемки объектов, расположенных вблизи сторон теодолитного хода. В комплект средств для измерений входят теодолит, мерная лента и рулетка, экер, вехи. Сторону 9–8 теодолитного хода (рис.7.3, а) обозначают вехами и принимают за ось абсцисс. Одну мерную ленту или рулетку, например длиной 20 м, кладут с помощью зрительной трубы теодолита (или ее оптического визира) в створ пунктов 9 и 8, совместив нуль ленты с точкой 9. Приложив нуль второй рулетки к углу дома № 4, на первую ленту опускают перпендикуляр и отсчитывают его длину (ординату y) по рулетке (5,33 м), по первой ленте – расстояние x от точки 9 до основания перпендикуляра (+12,83).

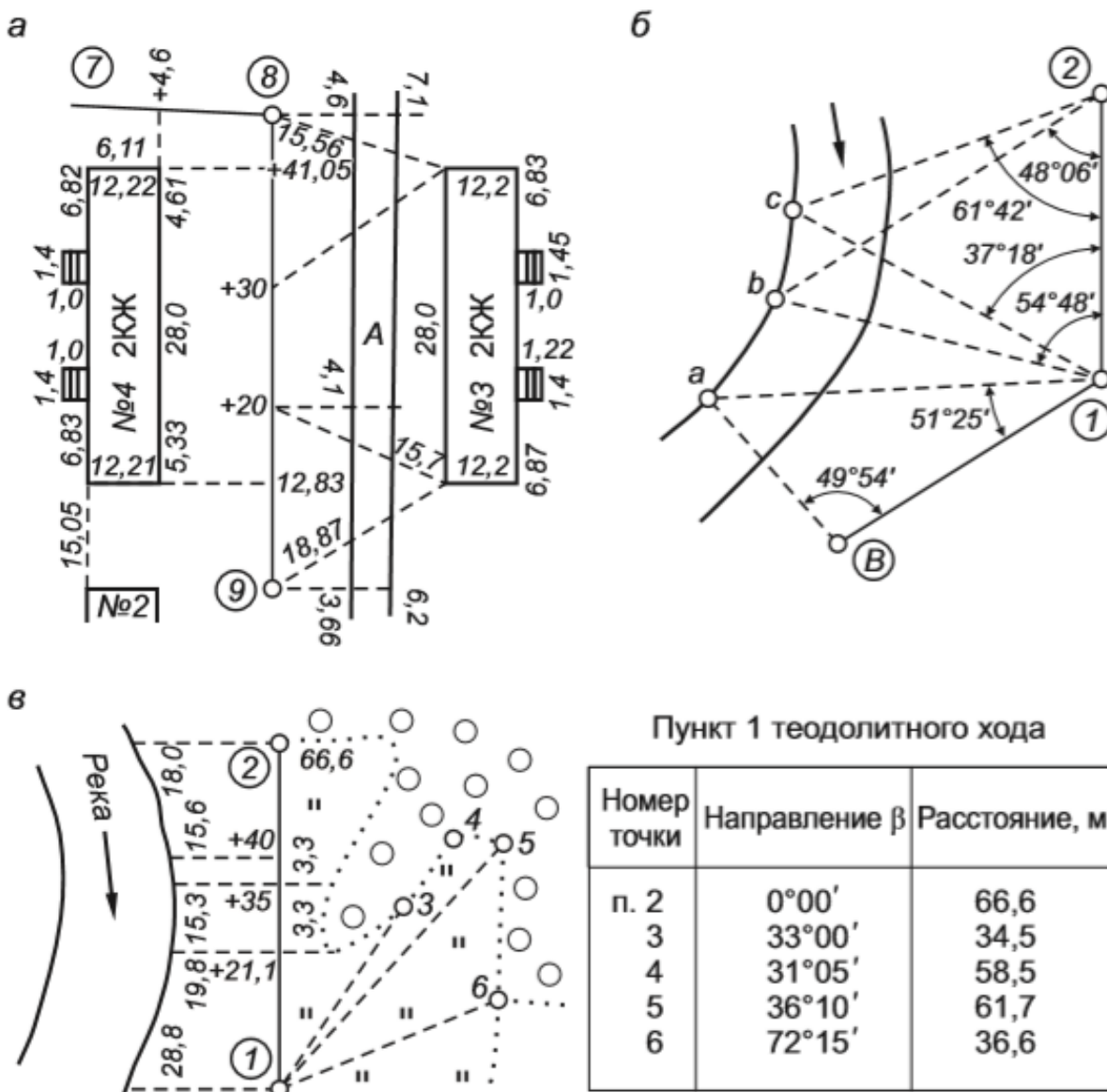


Рис. 9.3. Абрисы съемки ситуации:

а- перпендикулярами и линейными засечками; б- угловыми засечками; в- полярным способом.

Перпендикуляры длиной до 4–5 м восстанавливают на глаз, более длинные (20–30 м) – с помощью экера. Первую ленту перемещают в створе 9–

8 через интервалы, равные ее длине, и аналогичными перпендикулярами выполняют съемку других точек. На абрисе указывают данные обмера контура здания по цоколю и обмера его выступов, отмостки, расстояния между соседними постройками. По измеренной длине фасада контролируется съемка его краев перпендикулярами.

Применяя *способ линейных засечек*, как и в способе перпендикуляров, первую ленту помещают в створе стороны 9–8 теодолитного хода. Второй рулеткой измеряют расстояния от угла дома № 3 до пункта 9 и до створной точки +20 (Рис. 9.3, а). Аналогично привязывают к теодолитному ходу второй угол дома, обмеряют контур здания для проверки съемки его точек линейными засечками и нанесения выступов.

По *способу угловых засечек*, на противоположном берегу водной преграды или на стороне глубокого карьера ставят вехи в точках а, б, с (Рис. 9.3, б). Теодолитом относительно пунктов и сторон съемочного обоснования В–1–2 измеряют горизонтальные углы. По данным абриса точки находят на плане с помощью транспортира в пересечениях сторон углов.

При съемке границы луга *полярным способом* составляются абрис и таблица (Рис. 9.3, в). Теодолит устанавливается над пунктом 1 (полусом). При визировании зрительной трубой в положении КЛ на веху в пункте 2 отсчет по горизонтальному кругу устанавливается на $0^{\circ} 00'$ (задается полярное направление 1–2). Положение съемочных точек определяется горизонтальными углами β_i , отсчитанными по горизонтальному кругу теодолита относительно полярного направления, и расстояниями d_i , которые измеряются нитяным дальномером или рулеткой.

Способ обхода (Рис. 9.2) состоит в том, что теодолитный ход прокладывают по контуру пашни, леса или по границе территории, обозначенной граничными знаками. Точки хода наносятся на план по их координатам, а отрезки линий между точками представляют контуры местности или границы территории и изображаются соответствующими условными знаками.

Вопрос 9.4. Построение плана теодолитной съемки

Вопрос 9.4.1. Расчет листа бумаги для построения плана

Расчет листа бумаги для размещения плана полигона симметрично относительно краев листа, на котором будет составляться план состоит из:

- 1) расчета размеров плана полигона и определения размера листа бумаги, на котором будет составляться план;
- 2) расчета для размещения осей координат или линии сетки, параллельных осям координат.

О размерах плана полигона можно судить по координатам точек полигона.

Размер плана полигона с севера на юг (сверху вниз) определяется как разность наибольшей и наименьшей абсциссы, а размер плана с запада на

восток (слева направо) – как разность наибольшей и наименьшей ординат точек. Формулами вышесказанное можно выразить так:

$$\begin{aligned} X_{\text{плана}} &= \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{m} \\ Y_{\text{плана}} &= \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}}{m} \end{aligned} \quad (9.1)$$

где m – число метров на местности, соответствующее 1 см на плане согласно масштаба составляемого плана.

Например, масштаб составляемого плана 1:2000, $X_{\text{min}} = 1409.33$ м, $X_{\text{max}} = 1820.80$ м, $Y_{\text{min}} = 891.50$, $Y_{\text{max}} = 1222.56$ м.

Тогда $X_{\text{плана}} = (1820,8 - 1409,33) / 20 = 20,6$ см

$Y_{\text{плана}} = (1222.56 - 891.50) / 20 = 16.6$ см.

Слева и справа, сверху и снизу относительно плана полгона должен быть отставлен запас для таблиц, надписей и пр., примерно по 8-10 см, то размер листа бумаги для плана должен быть не менее $20,6 + 20 = 40,6$ см и слева направо $16,6 + 20 = 36,6$ см.

Так как положение каждой точки полигона будет определяться относительно осей координат, то размещение плана полигона симметрично относительно краев листа будет зависеть от того, как расположены на листе оси координат, т.е. правильное размещения плана на листе зависит от правильного размещения осей координат.

Для правильного размещения осей координат поступают следующим образом. Пусть лист на котором будут строить план, имеет размеры 40*36 см. Обозначим эти размеры $X_{\text{листа}} = 40$ см и $Y_{\text{листа}} = 36$ см. Тогда расстояния от краев листа до самых верхних и самых нижних точек плана будут:

$$(X_{\text{листа}} - X_{\text{плана}}) / 2 = (40 - 20,6) / 2 = 10 \text{ см.}$$

$$(Y_{\text{листа}} - Y_{\text{плана}}) / 2 = (36 - 16,6) / 2 = 9,7 \text{ см.}$$

Линии координатной сетки проводят на плане через 10 см. Для масштаба 1:2000, это означает, что оси абсцисс и ординат будут проходить на плане полигона кратно 200 м.

Положение оси абсцисс относительно самой восточной точки полигона можно определить по формуле:

$$X_{\text{сетки}} = \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{сетки}}}{m} = \frac{1222.56 - 1200}{20} = 1.128 \text{ см}$$

В нашем случае самой правой является точка с ординатой 1222.56 м, следовательно, на расстоянии 1,128 см к западу от этой точки пройдет ось абсцисс, т.е. $6,7 + 1,128 = 7,828$ см.

Самой южной будет точка с координатой $X_{\min}=1409.33$ м. Найдем положение близкой к этой точке оси координат, кратной 200 м. Например 1400.

$$Y_{\text{сетки}} = \frac{X_{\min} - X_{\text{сетки}}}{m} = \frac{1409,33 - 1400}{20} = 0,5 \text{ см}$$

От нижнего края листа линия координатной сетки будет проходить на расстоянии $10+0.5=10,5$ см.

Таким образом, находится положение осей координат.

Вопрос 9.4.2. Построение координатной сетки

Составление плана начинают с построения координатной сетки. Координатная сетка представляет собой ряд вертикальных и горизонтальных линий, параллельных осям координат X и Y.

Существует много способов построения координатной сетки, которые применяются в зависимости от размеров планов и возможностей, имеющихся у исполнителя.

Координатные сетки размером 50*50 см очень удобно строить при помощи линейки Дробышева, которая представляет собой металлическую линейку вдоль которой сделаны металлические вырезы. Один из краев каждого выреза скошен: у 1-ого, помеченного нулем - по прямой, а у всех остальных - по дугам с радиусами 10, 20, 30, 40, 50 см. Построение сетки квадратов основано на том, что диагональ прямоугольника со сторонами 30*40 см равна 50 см.

Построение сетки квадратов линейкой Дробышева состоит в следующем:

1) вдоль длинной стороны листа, отступив от края 5 см, проводят по скошенному краю линейки прямую линию. Поставив линейку на линию в положение АВ (рисунок 18.4) так, чтобы нулевой штрих попал на линию, ставят там точку А, а по следующим четырем скошенным вырезам прочерчивают штрихи.

2) затем линейку прикладывают в положение АС перпендикулярно линии АВ на глаз. Совместив нулевой штрих с т.А, проводят штрихи через три последующие выреза линейки. Линейку перекадывают в положение ВС - по диагонали, и совместив нулевой штрих линейки с т.В и по пятому скошенному вырезу прочерчивают штрих. Полученная в пересечении т.С является вершиной перпендикуляра к линии АВ с основанием в т.А.

3) после этого подобное построение повторяют в т.В. в результате получают точку D, которая является вершиной перпендикуляра с основанием в т.В.

4) приложив линейку к точкам С и D нужно проверить расстояние между ними. Оно должно быть равно 40 см. Контролем служит совпадение трех штрихов .А также при контроле правильности построения сетки квадратов проверяют все стороны квадратов сетки и их диагонали. если

расхождение против точных сторон квадратов превышает 0,2 мм сетку квадратов перечерчивают.

Если нет линейки Дробышева, сетку квадратов можно построить с помощью обычной деревянной линейки. Для этого:

1) через весь лист бумаги провести две диагонали и от точки их пересечения по направлению к вершинам отложить отрезки по 25 см. получают наколы, которые соединяют карандашом и получают прямоугольник.

2) по масштабной линейке берут отрезок в 10 см и откладывают его по сторонам прямоугольника.

3) полученные точки на параллельных сторонах соединяют линиями и получают сетку квадратов.

Координатные сетки строят также и при помощи координатографов.

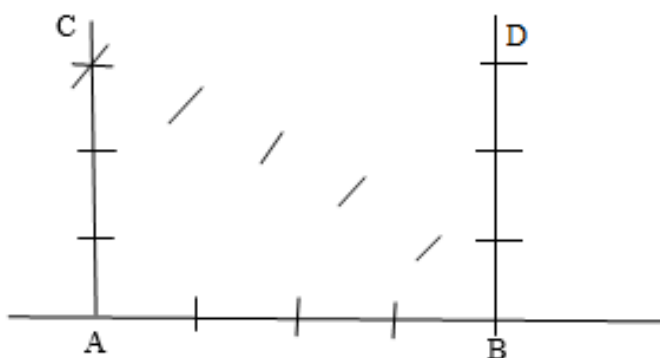


Рис. 9.4. Построение сетки квадратов линейкой Дробышева

Вопрос 9.4.3. Нанесение точек по координатам и ситуации на план

Для нанесения координат точек полигона на план пользуются координатной сеткой. Рассмотрим нанесение точек по координатам на план на примере точки полигона, которая имеет координаты $X=8160,21$ м и $Y=6106,81$ м.

Будем считать, что координатная сетка для этого полигона рассчитана и построена. Судя по координатам X точка лежит выше линии координатной сетки с координатой 8000 м по оси абсцисс на 160,21 м и правее линии координатной сетки с ординатой 6000 м. Для нанесения ее на план нужно от линии координатной сетки $X=8000$ по обе стороны квадрата, в котором находится точка, измерителем отложить вверх 160,21 м в масштабе плана и провести линию, на которой находится точка. А по оси абсцисс к востоку от линии сетки с координатой 6000 по стороне соответствующего квадрата отложить 106,81 м в масштабе составляемого плана. Аналогичным образом наносят остальные точки полигона на план.

Правильность нанесения точек на план контролируют горизонтальными проложениями линий, которые берут раствором циркуля-измерителя по

масштабной линейке, и сличают с горизонтальными проложениями линий в ведомости координат

После нанесения точек теодолитных полигонов и ходов, на план наносят ситуацию. В зависимости от способа съемки контуров ситуации применяют соответствующие способы их нанесения на план. Материалом для нанесения ситуации являются полевые журналы и абрисы.

Контур, снятый по способу обхода, наносят на план либо по координатам, либо по румбам.

Если съемка ситуации производилась по методу прямоугольных координат (методу перпендикуляров), то для нанесения ее на план пользуются линейкой, треугольником, измерителем и масштабной линейкой.

Точки контуров ситуации снятые полярным методом, наносят на план при помощи транспортира и измерителя. Транспортир нужен для построения углов.

Нанесение на план точек снятых по методу угловых засечек, производится при помощи транспортира, а по методу линейных засечек – построение треугольника по трем известным сторонам, из которых одна является базисом, а две другие берутся раствором циркуля, и в пересечении дуг, описанных из концов базиса, получается положение снятой точки.

Вопрос 9.4.4. Оформление плана

Построенный план оформляют тушью в соответствии с условными знаками снятых объектов местности.

Подписывают координатную сетку. Против линий полигона подписывают в виде дроби дирекционные углы (или румбы) в числителе и длины линий в знаменателе. Черта дроби должна быть параллельна оси ординат и находиться на расстоянии примерно 1 см от линии.

В верхней части листа крупным шрифтом подписывают название плана. Внизу под планом указывают масштаб, в нижнем правом углу помещают рамку, в которой указывают фамилию исполнителя.

Вопрос 9.5. Тахеометрическая съемка

Вопрос 9.5.1. Сущность тахеометрической съемки

Тахеометрическая съемка представляет собой топографическую съемку, в результате которой получают план местности с изображением ситуации и рельефа. Тахеометрическая съемка выполняется самостоятельно для создания планов или цифровых моделей небольших участков местности в крупных масштабах (1:500 - 1:5000) либо в сочетании с другими видами работ. Её результаты используют при ведении земельного или городского кадастра, для планировки населенных пунктов, проектирования отводов земель, мелиоративных мероприятий и т. д. Особенно выгодно её применение для съемки узких полос местности при изысканиях трасс каналов, железных и

автомобильных дорог, линий электропередач, трубопроводов и других протяженных объектов.

Слово «*тахеометрия*» в переводе с греческого означает «*быстрое измерение*». Быстрота измерений при тахеометрической съемке достигается тем, что положение снимаемой точки местности в плане и по высоте определяется одним наведением трубы прибора на рейку, установленную в этой точке.

Тахеометрическая съемка выполняется с помощью технических теодолитов или специальных приборов — *тахеометров*.

При использовании технических теодолитов сущность тахеометрической съемки сводится к определению пространственных полярных координат (β , ν , D) точек местности и последующему нанесению этих точек на план. При этом горизонтальный угол β между начальным направлением и направлением на снимаемую точку измеряется с помощью горизонтального круга, вертикальный угол ν - вертикального круга теодолита, а расстояние до точки D - дальномером. Таким образом, плановое положение снимаемых точек определяется полярным способом, а превышения точек — методом тригонометрического нивелирования.

Преимущества тахеометрической съемки по сравнению с другими видами топографических съемок заключается в том, что она может выполняться при неблагоприятных погодных условиях; кроме того камеральные работы могут выполняться другим исполнителем вслед за производством полевых измерений, что позволяет сократить сроки составления плана снимаемой местности. Кроме того, сам процесс съемки может быть автоматизирован путем использования электронных тахеометров, а составление плана или ЦММ - производить на базе ЭВМ и графопостроителей.

Вопрос 9.5.2. Плановое и высотное обоснование тахеометрической съемки.

До начала полевых работ на топографической карте составляют проект съёмочных ходов. Ходы бывают замкнутые и разомкнутые.

Тахеометрическая съёмка, как и другие съёмки, производится с исходных точек. Сеть таких точек создаётся теодолитно - нивелирными, теодолитно - высотными и тахеометрическими ходами.

Перед началом тахеометрической съёмки на основе существующей геодезической сети строят съёмочную сеть до густоты пунктов, обеспечивающей проложение на территории съёмки тахеометрических ходов с соблюдением технических требований инструкции [7].

Таблица 9.1 - Требования к параметрам тахеометрических ходов

<i>Масштаб съёмки</i>	<i>Максимальная длина хода, м</i>	<i>Максимальная длина сторон, м</i>	<i>Максимальное число сторон в ходе</i>
<i>1:5000</i>	<i>1200</i>	<i>300</i>	<i>6</i>
<i>1:2000</i>	<i>600</i>	<i>200</i>	<i>5</i>
<i>1:1000</i>	<i>300</i>	<i>150</i>	<i>3</i>
<i>1:500</i>	<i>200</i>	<i>100</i>	<i>2</i>

При рекогносцировке на местности выбирают направления, по которым должен быть проложен теодолитно - нивелирный ход, точки хода закрепляют кольями, металлическими костылями, трубами. Для обеспечения сохранности пунктов на несколько лет их закрепляют более надёжными знаками.

При выборе вершин хода необходимо обеспечить хорошую видимость оснований всех смежных вершин хода, удобство установки прибора и измерения длин линий.

В **теодолитно - нивелирных** ходах горизонтальные углы измеряют теодолитами, стороны - мерной лентой или дальномерами, а высоты - геометрическим нивелированием. Длины сторон измеряют с относительными ошибками от 1:1000 до 1:3000, допустимую невязку в превышениях на 1 км хода принимают от 20 до 50 мм.

Для более точного определения h тахеометр устанавливают во второй точке, рейку - в первой и определяют «обратное» превышение h_{2-1} . Разность абсолютных значений h и h_{2-1} не должна превышать 4 мм.

При **тахеометрическом** ходе превышения определяют тригонометрическим методом; горизонтальные углы измеряют теодолитом с точностью 1 - 2', длины сторон хода - дальномером с точностью порядка 1/300 - 1/400.

Вопрос 9.5.3. Порядок работы на станции при съёмке ситуации и рельефа

Съёмку ситуации и рельефа выполняют тахеометром полярным способом. При производстве работ обращают внимание на то, чтобы рейку устанавливали в характерных точках рельефа местности, позволяющих определить направление уклонов, скатов, водоразделов.

Порядок работы на станции:

1) Тахеометр устанавливают над точкой съёмочного обоснования, центрируют, приводят в рабочее положение.

2) Измеряют высоту инструмента с точностью до 1 см и отмечают её на рейке.

3) Измеряют горизонтальный угол съёмочного обоснования тахеометрического хода, а также углы наклона на заднюю и переднюю точки хода и определяют до них расстояние по дальномеру при **КП** и **КЛ**.

4) По наблюдениям на эти точки вычисляют **МО** вертикального круга.

5) Ориентируют лимб по задней стороне хода, то есть, совместив нулевой штрих лимба и алидады и закрепив алидаду, наводят зрительную трубу на заднюю точку хода, лимб закрепляют.

6) Открепив алидаду при неподвижном лимбе, визируют зрительную трубу на рейку, установленную на снимаемой точке, на то место рейки, где отмечена высота прибора **i** и берут отсчёт: по лимбам горизонтального и вертикального кругов и по дальномеру.

7) По окончании съёмки на станции проводят контроль. Снова берут отсчет по горизонтальному кругу на заднюю точку хода, расхождение с начальным значением должно быть $\leq 2'$. Все измерения записывают в журнал.

Вопрос 9.5.4. Обработка материалов тахеометрической съёмки

Вычислительная обработка журнала тахеометрической съёмки включает вычисление углов наклона по формуле

$$v = L - MO, \quad (9.2)$$

горизонтального проложения

$$d = D \cos 2v, \quad (9.3)$$

превышения

$$h = (1/2) D \sin 2v + i - v, \quad (9.4)$$

(при $i = v$ превышение $h = h' = (1/2) D \sin 2v$).

Значения d и h' вычисляют с помощью инженерного калькулятора, компьютера или тахеометрических таблиц. При углах наклона $v \leq 4^\circ$ и расстояниях $D \leq 150$ м превышения h' можно вычислять с незначительной погрешностью $\Delta h' \leq 0,025$ м, пользуясь приближенными формулами

$$h = D \sin v + i - v \quad (9.5)$$

а при $i = v$

$$h = D \sin v \quad (9.6)$$

Вопрос 9.5.5. Построение плана тахеометрической съёмки.

Составление топографического плана по материалам тахеометрической съёмки, выполненной с помощью теодолита. Как и при подготовке плана по материалам теодолитной съёмки на бумажную основу наносят координатную сетку, ее оцифровывают соответственно масштабу плана, наносят пункты съёмочного обоснования по их прямоугольным координатам. Затем с помощью геодезического транспортира и масштабной

линейки наносят на план съемочные пикеты по их полярным координатам – горизонтальным углу β_i и расстоянию d_i (рис.7.5). Для нанесения съемочных пикетов предназначен тахеометрический транспортир, который закрепляется на плане иглой через отверстие O в точке B плана и затем ориентируется относительно линии BA .

Ситуацию наносят на план согласно абрису. Рядом с высотными точками подписывают их отметки, с учетом которых проводят горизонтали.

Нанесение на план горизонталей. Горизонтали – линии равных высот служат для изображения рельефа. На крупномасштабных планах их проводят через 1,0; 0,5; иногда 0,25 м. Горизонтали можно наносить на план с помощью прозрачной палетки (рис.7.5, б) в виде сетки параллельных линий, прочерченных на листе восковки через равные промежутки величиной b ($b \approx 5-30$ мм), которые должны быть меньше минимального расстояния между горизонталями. Линии палетки подписывают отметками горизонталей для данного участка плана.

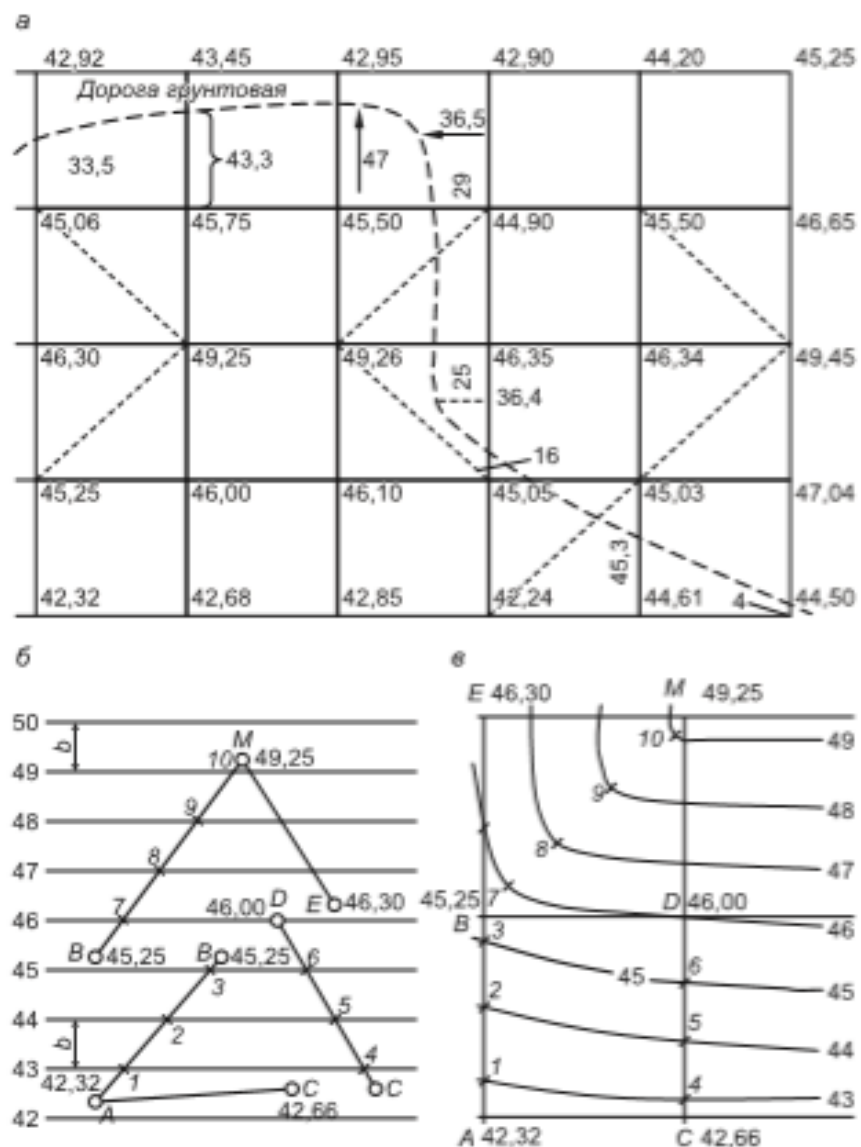


Рис. 9.5. Нанесение на план горизонталей:

а – план участка по материалам нивелирования по квадратам; б – палетка из параллельных линий и ее применение; в – нанесение горизонталей через их след

На рис.7.5, в горизонтали проведены относительно точек, расположенных в вершинах сетки квадратов. Подписи линий палетки соответствуют высоте сечения $h_c = 1$ м. Палетку кладут на план (Рис. 9.5, б) так, чтобы точка *A* расположилась между линиями палетки 42 и 43 пропорционально своей отметке $42,32 \approx 42,3$ м. Прижимают палетку в точке *A* заостренным предметом (шариковой ручкой без пасты) и поворачивают в положение, при котором точка *B* располагается между линиями 45 и 46 пропорционально своей отметке 45,25. Точки 1, 2, 3 пересечения отрезка *AB* линиями палетки переносят на план (рис.7.5, в) – через эти точки (следы) затем пройдут горизонтали. Линию 46 палетки на плане совмещают с точкой *D* (ее отметка 46 м) и поворачивают вокруг точки *D* в положение, при котором точка *C* располагается между линиями 42 и 43 пропорционально своей отметке 42,66. Затем на отрезке *CD* плана отмечают точки 4, 5, 6 – следы горизонталей. Аналогично находят следы горизонталей на линиях *BE*, *BM*, *ME* и остальных. Затем через равнозначные следы проводят горизонтали – плавные линии, которые местами дополняют подписями их высоты и бергштрихами.

Вычерчивание топографического плана. План, составленный карандашом, тщательно проверяют, после чего вычерчивают тушью, соблюдая образцы начертания и размеры топографических условных знаков, пояснительных надписей, оформления рамок и размещения зарамочных надписей. На практике находят применение готовые условные знаки, которые переносят на план с прозрачной основы.

Отметки высот характерных точек рельефа (вершин повышений, дна понижений) подписывают в количестве до 3–4 отметок на 1 дм² плана. На инженерно-топографических планах застроенной территории отметки покрытия дорог, тротуаров, бордюров, люков смотровых колодцев и других наземных инженерных объектов указывают в соответствии с действующими техническими документами.

Пояснительные надписи и цифровые данные располагают параллельно северной (южной) стороне рамки, горизонтали вычерчивают светло-коричневой тушью. На топографическом плане, составленном по материалам нивелирования поверхности, не показывают ни сетку квадратов, ни магистрали, ни поперечники за исключением тех случаев, когда эти данные нужны для составления проектов вертикальной планировки территории и подсчетов объемов земляных масс.

Вопрос 9.6. Аэрофотосъемка

Вопрос 9.6.1. Аэрофотосъемка, её сущность и назначение. Виды аэрофотосъёмки.

В настоящее время топографические карты и планы, а также картографические материалы специального назначения (планы и карты населенных пунктов, сельскохозяйственных и лесных земель, мониторинга

природных объектов и др.) создаются и возобновляются в основном фототопографическими методами - путем получения изображений земной поверхности аппаратурой, установленной на летательных аппаратах (аэрофотосъемки), на искусственных спутниках Земли (космические съемки) или же на земной поверхности (наземные фототопографические съемки).

Наука, изучающая методы и технологию определения по фотографическим изображениям формы, размеров и планово-высотного положения объектов, называется фотограмметрией (от греч. photos - свет, gramma - запись, изображение и metreo - измеряю). Раздел фотограмметрии, рассматривающий составление карт и планов, называется фототопографией. Раздел, изучающий по снимкам с космических аппаратов изображения космических тел, а также земные природные ресурсы, экологические процессы, проблемы охраны природной среды и многое другое, называется космической фотограмметрией.

Разрешение космических снимков в 1 м недостаточно для создания карт и планов масштаба 1 : 5000 и крупнее, крупномасштабное картографирование выполняют с помощью воздушной съемки - аэрофотосъемки.

Аэрофотосъемкой называют комплекс работ, который выполняется для получения топографических планов и цифровых моделей местности на основе материалов фотографирования местности с летательных аппаратов (самолетов, вертолетов, воздушных шаров). В полу специального самолета могут быть устроены люки для размещения:

- топографических цифровых или аналоговых аэрофотокамер;
- многоканальных сканирующих устройств, фиксирующих изображение в видимой части спектра и в инфракрасном диапазоне;
- тепловизоров, обеспечивающих съемку в инфракрасных диапазонах полосами 3-5 и 8-13 мкм;
- многоканальных спектрометров для выявления особенностей и состояния объектов по спектральным характеристикам их цветового отображения;
- лазерных сканирующих систем.

Наиболее распространена *плановая аэрофотосъемка*, при выполнении которой ось фотокамеры располагается вертикально (при отклонении от вертикали не более 3°), а плоскость фотоизображения (аэрофотоснимка) практически совпадает с горизонтальной плоскостью. На плановых снимках отображается наибольший объем информации о ситуации и рельефе и других особенностях местности.

Перспективная аэрофотосъемка производится при наклонном положении оси фотокамеры. Перспективные снимки используются для оценки ландшафтных особенностей природных и искусственных объектов, экологических последствий антропогенной деятельности, дешифрирования плановых снимков.

Аэрофотоснимки получают с помощью цифровых аэрофотоаппаратов (в прошлом пленочных, т.е. аналоговых фотокамер). Цифровые снимки характеризуются наиболее высокими фотограмметрическими и

технологическими показателями. На *цветных снимках* цветность изображения наиболее близка к естественной. На *спектрональных* цвет изобразившихся объектов заранее подбирают условным в зависимости от ряда факторов: породы лесонасаждений, периода вегетации и состояния сельскохозяйственных посевов, влажности земель и др. По отклонениям условного цвета объекта от цвета эталонного устанавливают состояние здоровья лесов, характеристики произрастания и прогноза урожайности посевов или же нарушения экологических условий среды обитания. На *инфракрасных снимках*, полученных в инфракрасном диапазоне электромагнитных колебаний, отображаются наземные и подземные объекты, температура которых на доли градуса отличается от температуры окружающей земной поверхности, например подземные теплотрассы, тоннели неглубокого заложения. *Сканерные методы* фототопографической съемки могут выполняться видимыми или лазерными лучами с помощью соответствующей сканерной аппаратуры.

Маршруты аэрофотосъемки. Одиночная аэрофотосъемка ограничивается одним или несколькими снимками местности. *Маршрутная съемка* (рис. 9.6, а) применяется для покадрового фотографирования местности с самолета вдоль заданного направления.

Площадная съемка (рис. 9.6, б) производится покадрово по параллельным маршрутам, которые прокладывают, как правило, вдоль географических параллелей. С целью осуществления геометрической связи между аэрофотоснимками и возможности их совместной фотограмметрической обработки установлено продольное последовательное перекрытие снимков вдоль маршрута на 60%, в результате обеспечивается тройное продольное перекрытие трех последовательных снимков. Для снимков соседних параллельных маршрутов установлено поперечное перекрытие на 20%.

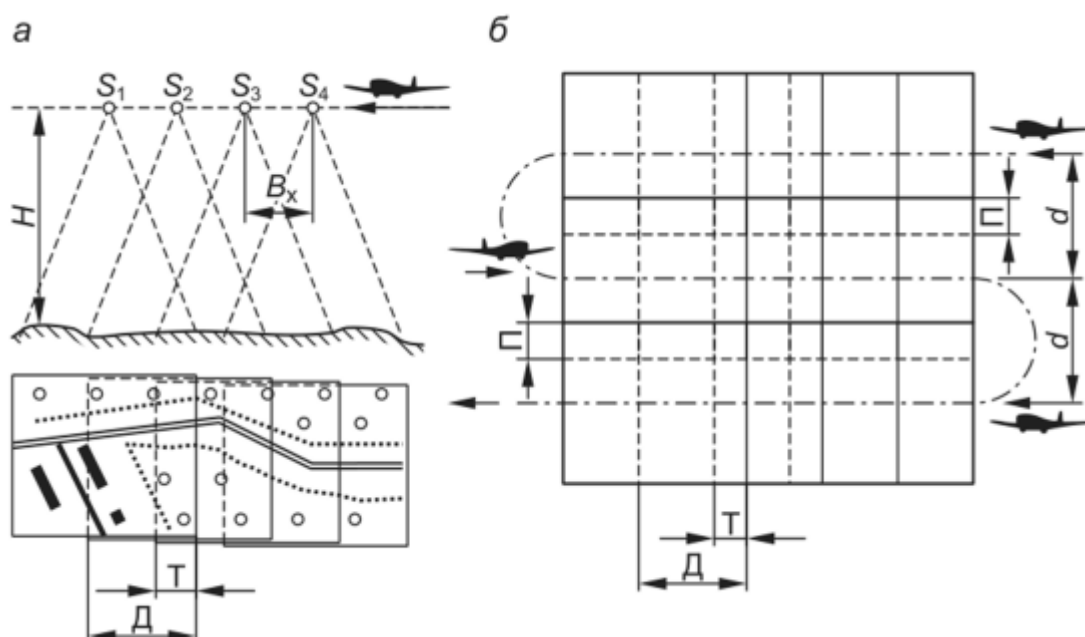


Рис. 9.6. Схемы аэрофотосъемки:

a - маршрутная; b - площадная; S_1, S_2 - центры фотографирования; B_x - базис фотографирования; H - высота фотографирования; D - двойное продольное перекрытие снимков; T - тройное продольное перекрытие снимков; Π - поперечное перекрытие снимков

Вопрос 9.6.2. Аэрофотоаппараты, их основные характеристики

Аэрофотоаппараты представляют собой сложные устройства. На рис. 9.7, а приведена схема пленочного аэрофотоаппарата (АФА) для получения аналоговых фотоизображений. С помощью современных цифровых АФА формируется цифровое фотоизображение, подобное аналоговому, но с более высоким разрешением. Геометрические характеристики пленочных и цифровых покадровых аэрофотоснимков описываются совпадающими математическими выражениями центральной проекции.

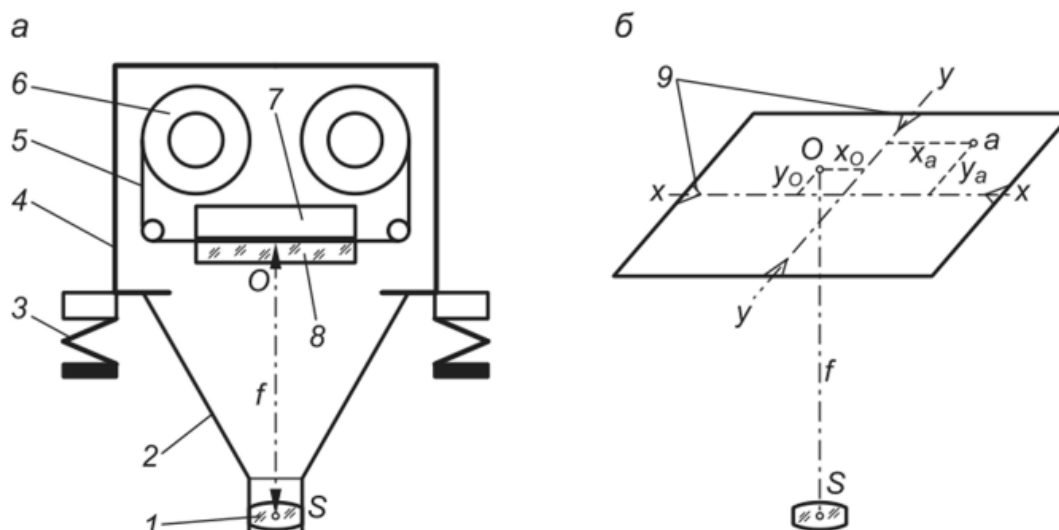


Рис. 9.7. Общая схема АФА (а) и плоскость снимка (б):

1 - объектив; 2 - конус фотокамеры; 3 - амортизатор; 4 - корпус; 5 - фотопленка; 6 - кассета; 7 - прижимная доска; 8 - стеклянная пластина с кадровой рамкой; 9 - координатные метки; f - фокусное расстояние АФА; S - центр проекции; x - x и y - y - оси абсцисс и ординат в плоскости снимка

Над люком самолета (вертолета) аэрофотоаппарат закрепляют на амортизаторах совместно со стабилизирующим гироскопическим устройством, которое гасит вибрации АФА и удерживает его оптическую ось в вертикальном положении с точностью до $0,2-0,3^\circ$ при покачиваниях самолета в полете. Автоматизация фотографирования осуществляется процессором, который задает моменты экспозиции в зависимости от скорости самолета, высоты полета и размера кадров фотоизображения. В пленочном АФА после экспозиции пленка автоматически перемещается на один кадр.

Объектив АФА должен отвечать высоким требованиям на геометрическую точность построения изображения в плоскости снимка. Четкое изображение в плоскости негатива (рис. 7.24, б) получается при *главном фокусном расстоянии* АФА $SO = f$ которое равно расстоянию между центром проекции объектива S и плоскостью негатива в его главной точке O . Главное фокусное расстояние / аэрофотокамеры постоянно, рассчитано на бесконечное удаление предмета фотографирования и определено с высокой точностью.

По величине главного фокусного расстояния аэрофотоаппараты подразделяют на короткофокусные ($if = 50—140$ мм), среднефокусные ($if = 200$ мм) и длиннофокусные ($if = 350$ мм и 500 мм). Пленочные АФА выпускались для получения кадров размером 18×18 см, 23×23 см и 30×30 см. Цифровые АФА обеспечивают развертку кадров до заданного формата (например, 40×40 см).

9.6.3. Аэрофотоснимок и его метрические свойства. Продольное и поперечное перекрытие аэрофотоснимка.

При топографической аэрофотосъемке должен быть выполнен ряд требований, соблюдение которых обеспечивает последующую фотограмметрическую обработку аэрофотоснимков. Контроль за соблюдением этих требований производится как в процессе аэрофотосъемки, так и по завершению, при оценке качества полученных материалов.

Высота фотографирования— это расстояние, измеряемое по отвесной линии от узловой точки объектива, установленного на самолете аэрофотоаппарата до некоторой поверхности. В зависимости от выбора этой поверхности различают:

- абсолютную высоту фотографирования H_0 над уровнем моря (плоскость А);
- относительную высоту фотографирования H_a над аэродромом (плоскость В);
- высоту фотографирования H над средней плоскостью съёмочного участка (С);
- истинную высоту фотографирования H_i над какой-либо точкой местности (Д).

Высота фотографирования над средней плоскостью съёмочного участка определяется в период предполетной подготовки в зависимости от параметров аэрофотосъемки (f , m) и масштаба плана (M):

$$H = fm, \quad (3.1)$$

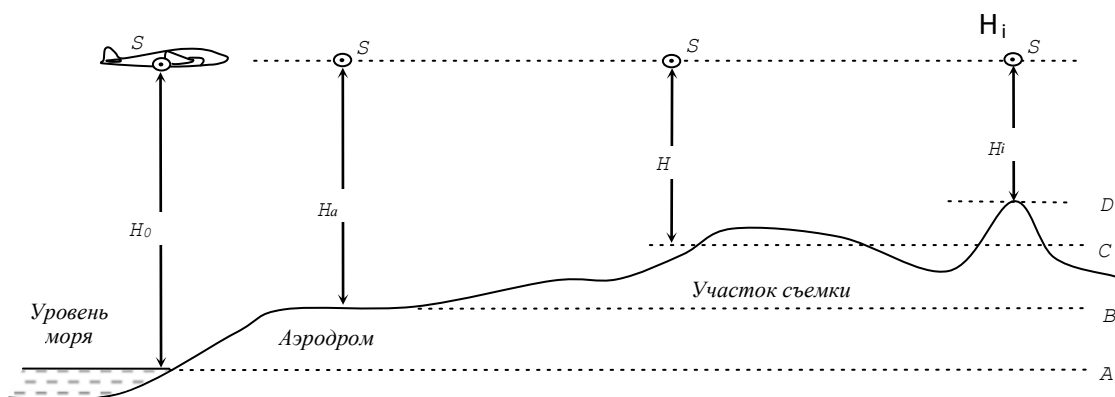


Рис.9.8 Высоты ф отографирования

При аэрофотосъёмке равнинных районов реальная высота фотографирования может отличаться от расчетной не более, чем на 3%. Фактическую высоту фотографирования определяют по показаниям радиовысотомера.

Перекрытие аэроснимков. При маршрутной и многомаршрутной аэрофотосъёмке фотографируется часть территории, заснятая на предыдущем, т.е. смежные снимки перекрываются между собой. Перекрытия аэроснимков, выражаемые в процентах от размера аэронегатива, обеспечивают возможность фотограмметрической обработки аэроснимков и требование их соответствия расчетным является одним из основных.

Продольным перекрытием P_x называется перекрытие смежных снимков в направлении полета летательного аппарата. Оно рассчитывается по формуле

$$P_x = \frac{l_x}{l} \cdot 100\%$$

Где l – размер снимка по направлению полета; l_x – размер перекрытой части снимка в том же направлении.

Продольное перекрытие снимков зависит от превышения h точек местности над средней плоскостью съёмочного участка и высоты фотографирования.

В среднем оно должно быть 60%, при минимальном 56%, что обеспечивает наличие 12-ти процентной зоны тройного продольного перекрытия.

Поперечное перекрытие. При выполнении аэрофотосъёмки расстояние между смежными маршрутами B_y устанавливают такое, которое обеспечивает задаваемое поперечное перекрытие.

Поперечным называется перекрытие снимков двух смежных маршрутов – P_y . Оно обычно задается равным 40% и используется для размещения в нем опорных точек и точек связи смежных маршрутов.

В общем случае поперечное перекрытие определяется по формуле:

$$P_Y = \frac{l_y}{l} \cdot 100\%$$

Где l_y – размер перекрывающейся части снимков в двух смежных маршрутах; l – размер снимка.

Наличие продольного и поперечного перекрытий обуславливает целесообразность практического использования не всей площади, а только его центральной части, в которой величины искажений положения точек под влиянием факторов физического и геометрического характера заметно меньше, чем по краям. Эта часть аэроснимка, ограниченная средними линиями продольного и поперечного перекрытий называется **рабочей площадью**.

Размеры сторон рабочей площади по оси абсцисс и ординат определяются по формулам:

$$B_x = l(100 - P_x)/100,$$

по оси ординат

$$B_y = l(100 - P_y)/100.$$

Такая рабочая площадь используется при теоретических расчетах и выводах.

Пользоваться ею при выполнении фотограмметрических работ неудобно, так как трудно обеспечить идентичность границ на смежных снимках.

Для этих целей на снимках намечается практическая рабочая площадь, под которой понимается площадь, ограниченная линиями, соединяющими четкие контурные точки, хорошо опознаваемые на всех перекрывающихся снимках и выбираемые вблизи углов теоретической рабочей площади снимка.

Вопрос 9.6.4. Центральная проекция, как геометрическая основа аэрофотоснимка.

Для решения многих задач, особенно в инженерном деле, широко используют изображения объектов, построенные тем или иным методом на плоскости или на поверхности. Построение изображения какого-либо предмета (объекта) на избранной поверхности по определенному закону называется проектированием, а его результат – *проекцией*. Естественными примерами проекции являются: картина, созданная по законам зрительного восприятия; фотографическое изображение, полученное в плоскости прикладной рамки съемочной камеры лучами, проходящими через объектив; изображение объекта на сетчатке глаза; топографическая карта и т. п.

При центральном проектировании проекция точки пространства находится как след сечения прямой, проходящей от нее через центр проекции, с поверхностью, на которую выполняется проектирование. *Центром проекции* называется точка, через которую проходят все проектирующие лучи. Плоскость, на которой строится изображение объектов, называется картинной. Совокупность лучей, с помощью которых получено изображение в фокальной

плоскости, называется *связкой* или *пучком*. На рис. 9.9 изображены точки местности A, B, C, O , центр проекции S и две плоскости: $P_{нег}$ и $P_{поз}$.

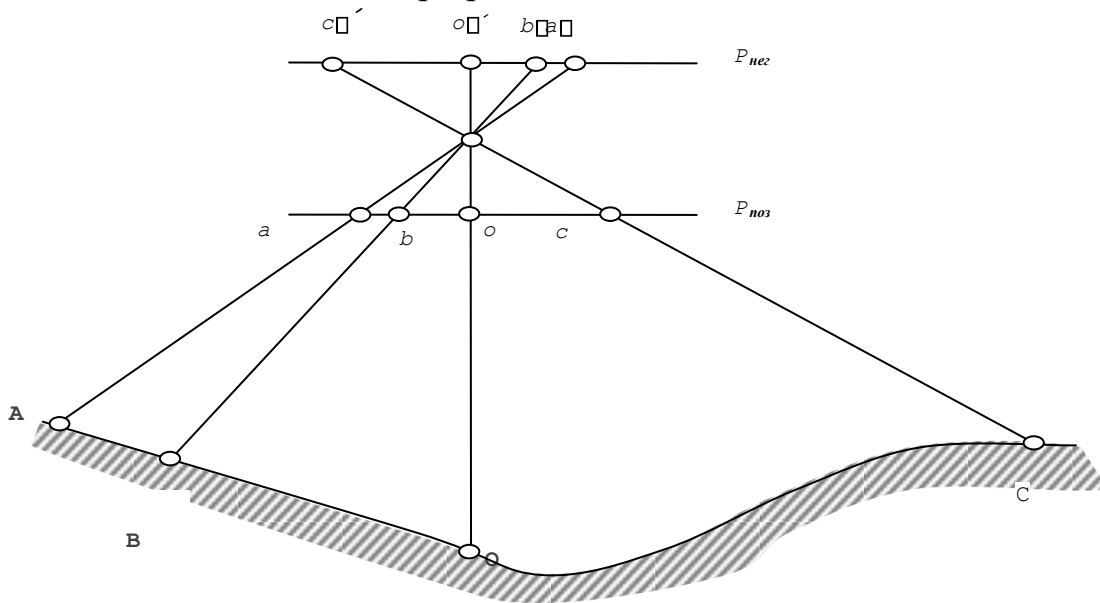


Рис. 9.9 . Аэроснимок – центральная проекция

Плоскость $P_{нег}$, расположенная по одну сторону от центра проекции и местности, называется *негативной*, а плоскость $P_{поз}$, расположенная между центром проекции и местностью – *позитивной*.

Изображения точек местности на плоскостях $P_{нег}$ и $P_{поз}$ получены путем центрального проектирования из центра проекции S , прямолинейными проектирующими лучами AS, BS, CS и OS . Точки a, b, c, o и соответствующие им точки a', b', c', o' получены как следы пересечения проектирующих лучей с плоскостями $P_{поз}$ и $P_{нег}$ и являются центральными проекциями соответствующих точек местности. Результатом центрального проектирования местности является изображение, построенное фотообъективом: прямолинейные проектирующие лучи, исходящие от точек местности, проходят через центр проекции и строят изображение в фокальной плоскости.

Если удаления So и $S'o'$ плоскостей $P_{нег}$ и $P_{поз}$ от центра проекции одинаковы и равны фокусному расстоянию съемочной камеры f , то построенные на них изображения различаются только порядком размещения точек, взаимное расположение которых на плоскостях зависит от их расстояния до местности, т. е. от высоты фотографирования.

В последующем будем использовать преимущественно позитивные изображения, соответствующие контактным отпечаткам с аэронегативов. Такие изображения более четко отражают взаимное расположение объектов, их частей и полностью соответствуют местности.

Спроектируем на плоскость P точки A, B, O, C отвесными проектирующими лучами (рис. 4.2) и получим их ортогональные проекции a_0, b_0, o и c_0 . Заметим, что масштаб изображения 1:1, и перемещение плоскости P в положение P' не изменит ни масштаба, ни подобия объектов местности, т.

е. изображения, представленные точками a_0, b_0, o, c_0 и a_0', b_0', o', c_0' тождественны.

Выберем центр проекции S и спроектируем те же точки на плоскости P и P' (рис. 9/10). Как легко видеть, полученные изображения, представленные точками a, b, c и a', b', c' соответственно, не являются тождественными, а их масштаб зависит от положения плоскости, на которую выполнено проектирование. Такие изображения не являются планом местности, и несут некоторые искажения геометрического характера, особенно если плоскости не горизонтальны.

Сопоставляя изображения, представленные точками на плоскостях P и P' , можно сделать вывод о том, что ортогональное проектирование есть частный случай центрального проектирования, когда центр проекции находится в бесконечности.

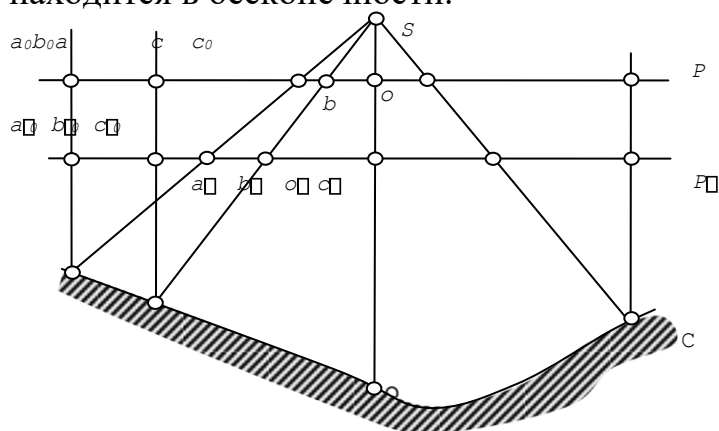


Рис. 9.10 Ортогональная и центральная проекции

Построенные по законам центрального проектирования перспективные изображения обладают следующими очевидными свойствами:

1. Всякая точка, расположенная в пространстве объектов, изображается в картинной плоскости также точкой.
2. Всякая прямая, если она не проходит через центр проекции, изображается в картинной плоскости также прямой.
3. Точки пространства, расположенные в одной проектирующей плоскости и не лежащие на одной прямой, изображаются в картинной плоскости расположенными на одной прямой.

9.6.5. Главный масштаб аэрофотоснимка и его определение

Главный масштаб аэрофотоснимка вычисляют по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}$$

где H – высота фотографирования над средней плоскостью.

9.6.6. Определение масштаба аэрофотоснимка по базисам, измеренным на снимке и на карте. Требования к выбору базисов.

Для определения *среднего масштаба планового аэрофотоснимка* с относительно ровным рельефом необходимо измерить длины первоначально выбранных отрезков (базисов) *AB* и *DF* на снимке и фотоплане.

Для каждого из отрезков вычисляют масштаб по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{L * M},$$

где *m* – знаменатель масштаба;

l – длина отрезка, измеренная по аэрофотоснимку;

L – длина отрезка, измеренная по фотоплану;

M – знаменатель масштаба фотоплана.

9.6.7. Смещение точки на снимке, вызванное рельефом местности.

Искажения аэрофотоснимка, вызванные рельефом местности. На горизонтальном снимке неровной местности (рис. 9.11) масштаб ее изображения получается переменным в зависимости от высоты неровностей. Для горизонтальных участков местности, расположенных вблизи точки *A* (на возвышении), точки надира *N* (в горизонтальной предметной плоскости *EE*), точки *B* (в понижении), высота фотографирования равна соответственно $H - h_A$, H , $H + h_B$, а масштаб соответствующих участков фотоизображения в плоскости *C* снимка принимает значения

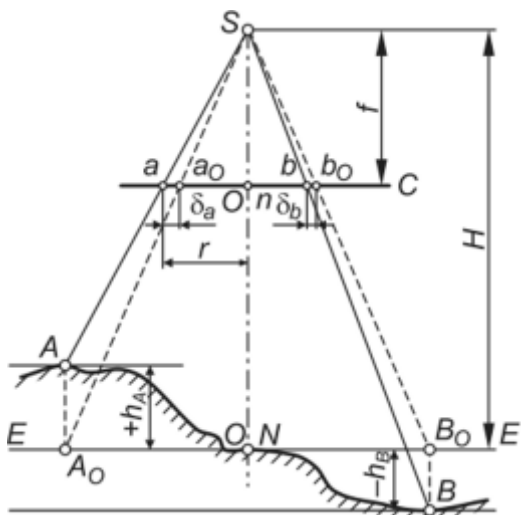


Рис. 9.11. Смещения точек аэрофотоснимка при неровном рельефе местности

$$1 : m_A = f : (H - h_A); 1 : m_N = f : H; 1 : m_B = f : (H + h_B).$$

На отвесном проецирующем луче *SN* аэрофотоаппарата расположены точки надира *n* (на снимке) и *N* (на предметной плоскости *EE*). Точки местности *A* и *B* в центральной проекции изображаются на снимке в точках *a* и *b*. Но для

получения их изображения ao и Bo в отвесной проекции точки местности A и B теоретически следует отвесно спроецировать на предметную горизонтальную плоскость EE в точки A_0 и B_0 . Проецирующие лучи SA_0 и SB_0 определяют, что для исправления искажений изображения, вызванных рельефом, точки снимка a и b необходимо сместить в положение ao и bo в радиальных направлениях относительно точки надира n . Величины радиального смещения δ элементов изображения в точки ao и bo рассчитывают по формуле

$$\delta_a = rh / H = rh / fm,$$

где r - радиальное расстояние участка изображения от точки надира n на снимке.

Фотоизображение, полученное в центральной проекции, преобразуют в ортогональную отвесную проекцию компьютерной обработкой числовой модели стереопары снимков, устраняя искажения изображения, вызванные рельефом.

9.6.8. Смещение контурных точек за угол наклона.

Наклон снимка на угол α вызывает смещения точек относительно соответствующих точек горизонтального снимка. Изменение расстояния от центра снимка до точки в направлении наклона равно

$$\delta_\alpha = r_\alpha - r_0,$$

где r_0 - расстояние на горизонтальном снимке, а r_α - на наклонном. Из рис. 9.12 видно, что

$$r_0 = r_\alpha \cos \alpha + r_\alpha \sin \alpha \cdot \frac{r_0}{f} \approx r_\alpha + r_\alpha \sin \alpha \cdot \frac{r_0}{f}.$$

Следовательно, изменение расстояния равно:

$$\delta_\alpha \approx -\frac{r^2 \sin \alpha}{f}.$$

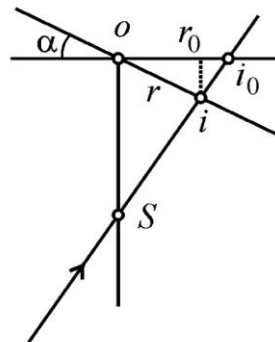


Рис. 9.12 Смещения точек на снимке, вызванные наклоном снимка;

9.6.9. Стереоскоп. Стереоскопическое наблюдение снимков

Стереопара аэрофотоснимков. Два соседних перекрывающихся аэрофотоснимка образуют стереопару. Рассматривая стереоснимки двумя глазами, наблюдатель воспринимает объемное изображение земной поверхности и ее предметов. Линейные зависимости, формирующие модель стереоизображения, заложены в конструкцию фотограмметрических стереоскопических приборов и в компьютерные программы обработки стереоизображения для получения топографических планов местности.

В полете самолета расстояние B между центрами проекции S_n и S_n (рис. 9.13) образует *базис фотографирования*. В центральной проекции изображения местности фиксируются на левом и правом снимках в масштабе $1 : m$. Снимки стереопары взаимно ориентируют на стереоприборе и тем создают стереоскопическую картину, подобную самой местности. Масштаб стереомодели $1 : m_M$ равен отношению базиса модели B_M к базису фотографирования B , т.е.

$$1 : m_M = B_M : B.$$

Для правильного взаимного ориентирования и создания неискаженной стереомодели в заданном масштабе снимки необходимо трансформировать в этот масштаб и ориентировать снимках относительно опорных геодезических пунктов, используя изображения опознаков.

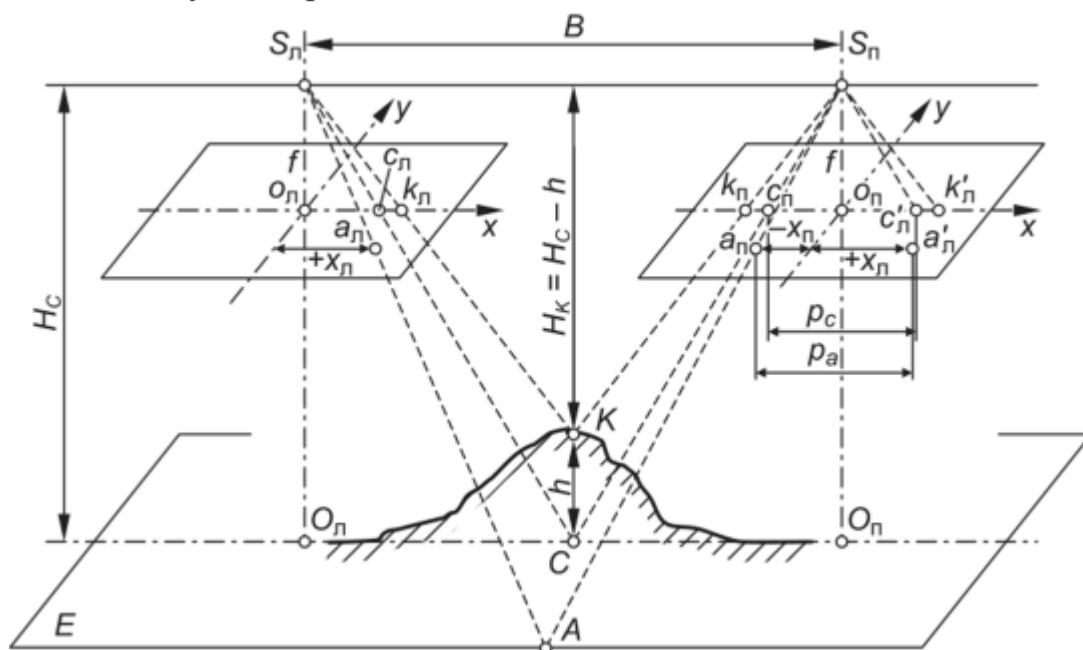


Рис. 9.13. Продольный параллакс одноименных точек на стереоскопических

Измерение на стереомодели превышений. В идеальном случае базис фотографирования B , а также плоскости левого и правого снимков стереопары будут горизонтальны (см. рис. 7.28). На снимках находят главные точки O_n и

O_{II} и опознают их на соседних снимках. Оси абсцисс совмещают с направлением, проходящим через собственную главную точку и опознанную точку соседнего снимка.

Точка A предметной плоскости E (местности) изображена на левом снимке в точке a_l , на правом - в точке a_n , их абсциссы соответственно равны $+x_l$ и $-x_n$ (в масштабе стереомодели). Разность абсцисс изображения одной и той же точки на левом и правом снимках стереопары называется *продольным параллаксом* p

$$p = +x_l - x_n.$$

Продольный параллакс точки A (см. рис. 9.13) равен

$$p_a = +x_{a_l} - x_{a_n} = x_{a_l} + |x_{a_n}|.$$

Аналогично определяются продольные параллаксы точек C и K , которые лежат в вертикальной плоскости

$$p_c = x_{c_l} - x_{c_n}; p_k = x_{k_l} - x_{k_n}.$$

Чтобы показать на правом снимке точки c'_l и k'_l , соответствующие точкам c_l и k_l на левом снимке, проведем лучи $S_n c_l$ и $S_n k_l$ и $S_n c'_l$ и $S_n k'_l$. Для подобных треугольников $S_n S_n C$ и $S_n c'_l S_n$ справедливо соотношение $B / H_c = p_c /$ / из которого находим зависимость между параметрами фотографирования и продольным параллаксом p_c

$$H_c = Bf / p_c.$$

Из формулы (7.60) получаем также величину базиса b фотографирования в масштабе снимков $1 : m$

$$p_c = Bf / H_c = B / m = b.$$

Для точки K местности высота фотографирования

$$H_K = H_c - h = Bf / p_k.$$

Превышение h между точками K и C (см. рис. 7.24) равно разности высот фотографирования

$$h = H_K - H_c = Bf / p_k - Bf / p_c = (Bf / p_c)(p_k - p_c) = H_c \Delta p / p_c,$$

где $\Delta p = p_k - p_c$ - разность продольных параллаксов точек c и k , которую измеряют по снимкам стереопары.

Согласно формуле (7.61) $p_c = b$, поэтому

$$p_k = p_c + \Delta p = b + \Delta p$$

и тогда формула вычисления превышений примет вид

$$h = H_c \Delta p / (b + \Delta p).$$

Если превышения невелики и разность продольных параллаксов $\Delta p < 1-2$ мм, то значения h можно вычислять по приближенной формуле

$$h = H \Delta p / p.$$

Чтобы оценить, с какой точностью необходимо измерять разности продольных параллаксов, воспользуемся формулой (7.65) и напишем $\Delta p = hp/H - hb/H$, а согласно формуле теории погрешностей (3.24) искомая погрешность $m_{\Delta p} = m\phi / H$. При $m/j = 0,1$ м, $b = 150$ мм и $H = 1000$ м находим $m_{\Delta p} \ll \ll 0,015$ мм. С такой точностью разности продольных параллаксов измеряют по стереоснимкам с помощью специальных фотограмметрических приборов или вычисляют компьютерными методами.

9.6.10. Дешифрирование аэрофотоснимков

Дешифрированием (интерпретацией) называется анализ видеоинформации с целью извлечения сведений о поверхности и недрах Земли (других планет, их спутников), расположенных на поверхности объектов, происходящих на поверхности и в близповерхностном пространстве процессах.

В состав сведений входят, например, определение пространственного положения объектов, их качественных и количественных характеристик, выяснение границ простирающихся процессов и данные о их динамике и многое другое. В задачи дешифрирования входит также получение из иных источников информации, которая не может быть считана непосредственно со снимков, например сведений о наличии, положении и свойствах неотобразившихся объектов, названий населенных пунктов, рек, урочищ. Такими источниками могут служить материалы ранее выполненного дешифрирования, планы, карты, вспомогательные снимки, справочная литература, непосредственно местность. Результаты визуального дешифрирования фиксируются условными знаками на дешифрируемом изображении, машинно-тоновыми, цветовыми, знаковыми или иными условными обозначениями.

В зависимости от содержания дешифрирование делят на:

общегеографическое специальное (тематическое, отраслевое).

Общегеографическое дешифрирование включает две разновидности:

Топографическое дешифрирование – производится для обнаружения, распознавания и получения характеристик объектов, которые должны быть изображены на топографических картах. Оно является одним из основных процессов технологической схемы обновления и создания карт.

Ландшафтное дешифрирование – выполняется для регионального и типологического районирования местности и решения специальных задач.

Специальное (тематическое, отраслевое) дешифрирование производится для решения ведомственных задач по определению характеристик отдельных совокупностей объектов. Разновидностей тематического дешифрирования очень много: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, геологическое, почвенное, геоботаническое и др. и другого ведомственного назначения. Если конечной задачей специального дешифрирования является составление тематических карт, например

сельскохозяйственных, почвенных или геоботанических, то, при отсутствии подходящей топографической основы, специальное дешифрирование сопровождается топографическим.

Основой методической классификации дешифрирования на его современном уровне развития являются средства считывания и анализа видеоинформации. Исходя из этого, можно выделить следующие основные методы дешифрирования: визуальный, в котором информация со снимков считывается и

анализируется человеком:

машинно-визуальный, в котором видеоинформация предварительно преобразуется специализированными или универсальными интерпретационными машинами с целью облегчения последующего визуального анализа полученную изображения:

автоматизированный (диалоговый), в котором считывание со снимков и анализ. или непосредственный анализ построчно записанной видеоинформации, выполняются специализированными или универсальными интерпретационными машинами при активном участии оператора:

автоматический (машинный), в котором дешифрирование полностью выполняется интерпретационными машинами. Человек определяет задачи и задает программу обработки и видеоинформации.

Дешифрирование представляет собой многоэтапный процесс со сложной структурой. Поэтому, анализируя дешифрирование как познавательный процесс, в нем можно выделить три ступени:

обнаружение объектов;

распознавание объектов(идентификация) и формирование понятий и суждений;

интерпретация (определение характеристик).

Логическая структура процесса дешифрирования не зависит от назначения и объема дешифровочных работ так же, как и от места их производства. Она в равной степени сохраняется и при полевом и при камеральном дешифрировании.

Обнаружение. В процессе обнаружения выделяются и локализуются самые различные объекты, хорошо отделяющиеся от окружения по признакам изображения без их идентификации. Рассматривая снимки, дешифровщик обнаруживает и дифференцирует объекты, которые отличаются тоном (цветом), размером, формой и рисунком. Обнаружительная способность зависит от остроты зрения, контраста и резкости изображения, освещенности изображения.

С производственной точки зрения этап обнаружения имеет огромное значение, так как от него в значительной степени зависит скорость дешифрирования. Чем проще и быстрее обнаруживаются объекты дешифрирования на снимках, тем надежнее результаты дешифрирования.

Опознавание (идентификация) также производится по признакам изображения и только видимых на снимках объектов. Этот этап в свою очередь подразделяется на три стадии: угадывание, выделение признаков

(систематизация) и синтез (группирование) признаков, определяющих объект. У опытных дешифровщиков эти стадии сливаются в трудноразличимый процесс, однако у начинающих они очень заметны. Процесс опознавания может сопровождаться различными замерами.

Интерпретация (определение характеристик). Используя имеющиеся знания и опыт или же установленные в процессе дешифрирования природные закономерности и взаимосвязи, в результате порой довольно сложных умозаключений дешифровщик определяет наличие и свойства объектов и явлений, не изобразившихся непосредственно на аэрофотоснимках, а также получает представление о скрытых сторонах характера объектов и явлений, которые, может быть, и легко опознаются. Если при опознавании объектов основная роль принадлежит прямым демаскирующим признакам: размеру, форме, цвету и тону фотоизображения, то на последнем этапе дешифрирования наибольшую роль играют косвенные признаки

Все рассмотренные этапы дешифрирования переплетаются между собой, образуя единый сложный процесс дешифрирования.

Способы визуального дешифрирования. В визуальном методе дешифрирования можно выделить три основных способа: полевой, камеральный и комбинированный.

Полевой способ дешифрирования выполняется путем сличения снимка с местностью. Специалист при этом может находиться на земле (наземный вариант) или на борту летательного аппарата (аэровизуальный вариант). Полевое дешифрирование характеризуется наивысшей полнотой и достоверностью результатов. Однако ввиду сезонности, трудоемкости и повышенной себестоимости применяется оно только в случаях, когда камеральное дешифрирование не обеспечивает нужного качества результатов. Это бывает в районах со сложными условиями камерального распознавания и со значительным объемом доъемочных работ, например, в районах с большой плотностью населения и интенсивным земледелием, со значительным антропогенным воздействием на природные взаимосвязи элементов ландшафта.

Камеральный способ дешифрирования заключается в логическом анализе изображений с использованием всего комплекса дешифровочных признаков (визуально-логический вариант). К дешифрированию могут быть привлечены вспомогательные источники информации: результаты ранее выполненного дешифрирования, картографические материалы, данные о юридических границах объектов, справочники, специальная литература и др.

Комбинированный способ дешифрирования сочетает в себе процессы и технологические приемы предыдущих способов.

Природные объекты, изображающиеся на снимках, могут опознаваться и интерпретироваться дешифровщиком по их свойствам, которые находят отражение в дешифровочных признаках этих объектов. Все дешифровочные признаки можно разделить на две группы: прямые дешифровочные признаки и косвенные.

К прямым признакам относят те свойства и характеристики объектов, которые непосредственно отображаются на снимках и могут восприниматься визуально или с использованием технических средств.

К прямым дешифровочным признакам относят форму и размеры изображения объектов в плане и по высоте, общий (интегральный) тон черно-белого или цвета цветного (спектрального) изображений, текстуру изображения.

Форма в большинстве случаев является достаточным признаком для разделения объектов природного и антропогенного происхождения. Объекты, созданные человеком, как правило, отличаются правильностью конфигурации. Так, например, любые здания и сооружения имеют правильные геометрические формы. То же можно сказать о каналах, шоссе и железных дорогах, парках и скверах, пахотных и культурных кормовых угодьях и других объектах. Форма объектов используется иногда как косвенный признак для определения характеристик других объектов.

Размеры дешифрируемых объектов в большинстве случаев оцениваются относительно. Об относительной высоте объектов судят непосредственно по их изображению на краях снимков, полученных с помощью широкоугольных съемочных систем. О размерах, а также и о форме по высоте можно судить по падающим от объектов теням. Разумеется, что площадка, на которую падает тень, должна быть горизонтальной.

Размеры изображения объектов, так же, как и форма, искажаются вследствие влияния рельефа местности и специфики используемой в съемочной системе проекции.

Тон изображения является функцией яркости объекта в пределах спектральной чувствительности приемника излучений съемочной системы. В фотометрии аналог тона – оптическая плотность изображения. Непостоянство данного признака связано со следующими факторами: условиями освещения, структуры поверхности, типа фотографического материала и условий его обработки, зоны электромагнитного спектра и других причин. Тон оценивается визуально путем отнесения изображения к определенной ступени нестандартизированной ахроматической шкалы, например, тон светлый, светло-серый, серый и т. д. Число ступеней определяется порогом световой чувствительности зрительного аппарата человека.

Тон может быть достаточно информативным признаком при правильно выбранных элементах съемочной системы и условиях съемки.

Тон изображения пашни может значительно изменяться во времени и пространстве, так как существенно зависит от состояния поверхности незанятых полей (перепаханная, боронованная, сухая, влажная и др.), от вида и фазы культур на занятых полях.

Цвет изображения является спектральной характеристикой и определяет энергию светового потока. Цветовая гамма изображений является существенным признаком дешифрирования. Этот признак следует рассматривать в двух аспектах. В первом случае, когда изображение на воздушных и космических снимках формируется в цветах, близких к

естественным цветам (цветные снимки), распознавание и классификация объектов местности не вызывает особых затруднений. В данном случае учитываются такие характеристики цвета, как его светлота и насыщенность, а также различные оттенки одного и того же цвета. В другом случае цветное изображение формируется в произвольных цветах (псевдоцветах), как это имеет место при спектральной съёмке. Смысл этого сознательного искажения цветовой гаммы природы на изображении состоит в том, что на снимках наблюдатель легче воспринимает цветовые контрасты деталей изображения, поэтому цветные воздушные и космические снимки обладают более высокой дешифрируемостью, чем черно-белые. Наилучшие результаты получают при дешифрировании спектральных аэроснимков с более высоким цветовым контрастом

Тень как дешифровочный признак играет важную роль при дешифрировании объектов и их свойств. Падающая тень, отбрасываемая объектом на земную поверхность, расположенную со стороны, противоположной Солнцу, подчёркивает объёмность объекта и его форму. Её очертание и размер зависят от высоты Солнца, рельефа местности (участка), на которую падает тень, и направления освещения.

По форме падающей тени можно распознавать как искусственные объекты (постройки, столбы, пункты триангуляции), так и естественные объекты. Падающие тени в качестве признаков дешифрирования широко используются при изучении растительности. 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.). При этом следует иметь в виду, что на размер тени оказывает влияние рельеф местности. Для каждой породы характерна своя специфическая форма кроны, что находит отражение в её тени и позволяет определить её видовой состав. Например, форма падающей тени ели напоминает остроугольный треугольник, тогда как у сосны она овальная. Однако следует помнить, что тень – весьма динамичный дешифровочный признак (изменяется в течение суток). Она может превышать размер объекта при низком положении Солнца над горизонтом

Текстура (структура изображения) - характер распределения оптической плотности по полю изображения объекта. Структура изображения – наиболее устойчивый прямой дешифровочный признак, практически не зависящий от условий съёмки. Структура представляет собой сложный признак, объединяющий некоторые другие прямые дешифровочные признаки (форму, тон, размер, тень) компактной группы однородных и разнородных деталей изображения местности на снимке. Повторяемость, размещение и количество этих деталей приводят к выявлению новых свойств и способствуют повышению достоверности дешифрирования. Важность этого признака повышается с уменьшением масштаба снимка. Например, текстура массива леса образуется изображением на снимках крон отдельных деревьев, а при высоком разрешении съёмочной системы – изображением также элементов

крон – ветвей или даже листьев; текстура чистой пашни формируется отображением пахотных борозд или отдельных комьев.

Имеется достаточно большое число структур, образованных сочетаниями точек, площадей, узких полос различной формы, ширины и длины. Некоторые из них рассмотрены ниже.

Зернистая структура характерна для изображения лесов. Рисунок создается серыми пятнами округлой формы (кронами деревьев) на более темном фоне, создаваемом затененными промежутками между деревьями. Аналогичную структуру имеет изображение культурной растительности (садов).

Однородная структура образуется однотипной формой микрорельефа и характерна для низинных травянистых болот, степной равнины, глинистой пустыни, водоемов при спокойном состоянии воды.

Полосчатая структура характерна для изображений огородов и распаханых пашен и является следствием параллельного расположения борозд.

Мелкозернистая структура характерна для изображения кустарников различных пород.

Мозаичная структура образуется растительностью или почвенным покровом неодинаковой влажности и характерна для беспорядочно расположенных участков различного тона, размеров и форм. Аналогичная структура, создаваемая чередованием прямоугольников различного размера и плотности, характерна для изображения приусадебных участков,

Пятнистая структура характерна для изображений садов и болот.

Квадратная структура характерна для некоторых типов лесных болот и населенных пунктов городского типа. Она образуется сочетанием участков леса, разделенных светлыми полосами болота, и читается как сочетания площадей однородного тона. Такую же структуру создают изображения многоэтажных зданий (относительно крупные прямоугольники) и элементов внутриквартальной застройки в населенных пунктах.

По мере уменьшения масштаба текстура создается более крупными элементами местности, например, отдельными полями пашни. Текстура относится к наиболее информативным признакам. Именно по текстуре человек безошибочно опознает леса, сады, населенные пункты и многие другие объекты. Для перечисленных объектов текстура сравнительно устойчива во времени.

Косвенные признаки можно разделить на три основные группы. Природные, антропогенные и природно-антропогенные. Косвенные дешифровочные признаки достаточно устойчивы, и зависят от масштаба в меньшей степени.

К природным относятся взаимосвязи и взаимообусловленности объектов и явлений в природе. Их называют также ландшафтными. Такими признаками могут быть, например, зависимость вида растительного покрова от типа почвы, ее засоленности и увлажненности или связь рельефа с

геологическим строением местности и их совместная роль в почвообразовательном процессе.

С помощью антропогенных косвенных признаков опознают объекты, созданные человеком. При этом используются функциональные связи между объектами, их положение в общем комплексе сооружений, зональная специфика организации территории, коммуникационное обеспечение объектов. Например, животноводческая ферма сельскохозяйственного предприятия может быть опознана по совокупности основных и вспомогательных построек, внутренней планировке территории, интенсивно выбитым прогонам, положению дешифрируемого комплекса сооружений относительно жилой зоны, характеру дорожной сети. Аналогично ремонтные мастерские опознаются по изображению расположенных на территории машин, конный завод надежно опознается по примыкающему к его территории манежу. При этом, каждое из сооружений комплекса отдельно, вне связи с прочими, не дешифрируется.

К природно-антропогенным косвенным признакам относятся, зависимость хозяйственной деятельности человека от определенных природных условий, проявление свойств природных объектов в деятельности человека и другое. Например, по размещению некоторых видов культур можно составить определенное суждение о свойствах почв, их увлажненности, по изменению влажности поверхности в местах расположения дрен дешифрируют элементы закрытой осушительной системы. Объекты, используемые при опознавании и определении характеристик недешифрирующихся непосредственно объектов, называются индикаторами, а дешифрирование – индикационным. Такое дешифрирование может быть многоэтапным, когда непосредственные индикаторы дешифрируемых объектов опознаются с помощью вспомогательных индикаторов. Приемами индикационного дешифрирования решаются задачи по обнаружению и определению характеристик неотобразившихся на снимках объектов. Важнейшими индикаторами различных явлений при косвенном дешифрировании служат растительность, рельеф и гидрография.

Растительность является хорошим индикатором почв, четвертичных отложений, увлажненности почвогрунтов и т.д. При дешифрировании могут использоваться следующие индикационные признаки растительности:

Морфологические признаки позволяют различать на аэрокосмических снимках древесную, кустарниковую и луговую растительность.

Флористические (видовые) признаки позволяют дешифрировать видовой состав, например, сосновые насаждения приурочены к песчаным автоморфным почвам, черноольховые – к дерново-глеевым почвам.

Физиологические признаки основаны на связи гидрогеологических и геохимических условий места произрастания с химическими свойствами пород. Например, на известняках лишайники имеют оранжевый цвет, а на гранитах – желтый.

Фенологические признаки базируются на различиях в ритмах развития растительности. Особенно это хорошо проявляется осенью у лиственных

пород растительности в изменении окраски листьев. На цветных аэрокосмических снимках хорошо различается видовой состав растительности, который подчёркивает условия произрастания.

Фитоценотические признаки позволяют дешифровать типы лесной растительности и ассоциации луговой растительности, которые приурочены к определённым условиям произрастания. Например, сосняки-лишайники произрастают на повышенных элементах рельефа с автоморфными рыхлопесчаными почвами, сосняки долгомошники приурочены к пониженным элементам рельефа и дерново-подзолисто-заболоченным почвам.

Рельеф является одним из важнейших индикаторов. Связь рельефа с другими компонентами природных комплексов, его большая роль в формировании внешнего облика ландшафтов и возможность непосредственного дешифрирования позволяют использовать рельеф как индикатор самых разнообразных природных объектов и их свойств. Такими индикаторами могут быть следующие морфометрические и морфологические особенности рельефа: а) абсолютные высоты и амплитуды колебаний высот на данном участке; б) общая расчленённость рельефа и углы наклона склонов; в) ориентировка отдельных форм рельефа и экспозиция склонов (солярная, ветровая), которые вместе с абсолютными высотами определяют климатические условия и водный режим на данной территории; г) связь рельефа с геологией; д) генезис рельефа, его возраст и современная динамика и др.

Гидрография является важным индикатором физико-географических и геологических условий. Тесная связь структуры и густоты гидрографической сети (озёр, рек и болот) с геологией и рельефом позволяет использовать аэрофоторисунок, особенно речной сети, как прямой ландшафтный признак при анализе местности в геоморфологическом, геологическом и палеографическом отношениях.

Дешифровочные признаки обычно используются совокупно, без подразделения их на какие-либо группы. Изображение на дешифрируемом участке обычно воспринимается человеком как единое целое - модель местности. На основе анализа модели создается предварительная гипотеза о сути объекта (явления) и его свойствах. Правильность гипотезы подтверждается или отвергается (иногда многократно) с помощью дополнительных признаков.