

Лабораторная работа №9 «РАБОТА С АЭРОФОТОСНИМКОМ»

ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с центральной проекцией как геометрической основой аэрофотоснимка.
2. Определить масштаб аэрофотоснимка (АФС) по элементам ориентирования.
3. Определить масштаб АФС по базисам, измеренным на снимке и на топографической карте. Вычислить поправки за рельеф местности и ввести их согласно знакам превышений в измеренные базисы.
4. Перенести контрольную точку с аэрофотоснимка на карту.
5. Выполнить стереоскопическое наблюдение снимков.

Для выполнения лабораторной работы используются топографическая карта масштаба 1:10000 У-35-38-А-б-3 и гиостабилизированный аэрофотоснимок той же местности, измеритель, транспортёр, масштабная линейка, карандаш, микрокалькулятор, стереоскоп.

Основные теоретические положения по данной лабораторной работе изложены в разделе «Общие сведения о фотогеодезии» учебного пособия [1], а также в параграфах 11, 49, 56, 58,91 и 94 пособия [2].

1. ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ КАК ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОСНОВА АЭРОФОТОСНИМКА

Под проекцией следует понимать изображение пространственных фигур на плоскости или какой-либо другой поверхности.

В ортогональной проекции все точки фигуры проектируются на горизонтальную плоскость по прямым линиям, перпендикулярным этой плоскости. Эти прямые линии являются в данном случае отвесными линиями.

Центральная проекция получается в результате проектирования всех точек фигуры на какую-либо плоскость или поверхность по прямым линиям, выходящим из определенной точки S , называемой центром проекции (рис. 1, (рис.2)).

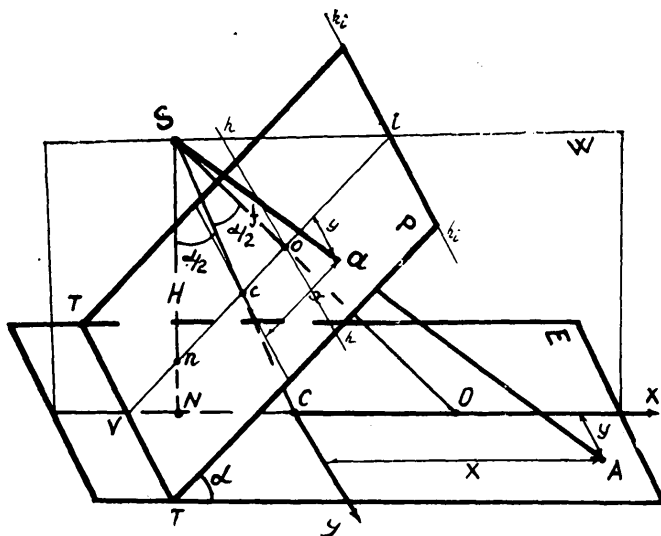


Рис. 1. Центральная проекция (наклонный аэрофотоснимок)

При центральном проектировании используются следующие основные плоскости, линии и точки:

E – горизонтальная плоскость, проходящая через какую-либо точку местности и называемая плоскостью основания. Её еще называют предметной плоскостью;

P – картинная плоскость (аэрофотоснимок). На этой плоскости размещается центральная проекция объектов предметной плоскости;

W – плоскость главного вертикала (направления съёмки);

SoO – главный луч;

So-f – фокусное расстояние объектива фотокамеры;

H – высота съёмки – расстояние центра проекции относительно основания;

o – главная точка аэрофотоснимка;

O – проекция главной точки на предметную плоскость;

c – точка нулевых искажений. В этой точке горизонтальные углы не искажаются;

C – проекция точки нулевых искажений на предметную плоскость;

n – точка надира (пересечения отвесной линии, проходящей через центр проекции, с плоскостью снимка);

TT – ось перспективы (линия основания);
 hh – главная горизонталь;

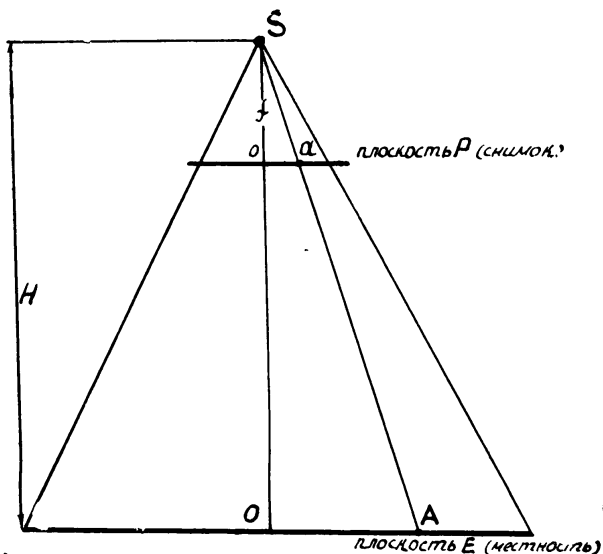


Рис. 2. Центральная проекция (горизонтальный аэрофотоснимок)

V_i – главная вертикаль;
 $h_i h_i$ – линия действительного горизонта;
 i – точка схода картинной плоскости;
 V – главная точка оси перспективы (пересечения линии основания с главной вертикалью).

Различают элементы внутреннего ориентирования аэрофотоснимка и элементы внешнего ориентирования. К элементам внутреннего ориентирования относятся фокусное расстояние f и координаты x_o, y_o главной точки в системе координат снимка oxy . а к элементам внешнего (рис. 3) – координаты X_s, Y_s, Z_s точки фотографирования S в системе координат $OXYZ$ местности, а также углы Эйлера: \aleph – угол поворота снимка в плоскости XY , α – угол продольного наклона снимка в плоскости ZX , ω – угол поперечного наклона в плоскости ZY .

В частном случае, рассматриваемом в настоящей работе (см. рис. 1), $\aleph=0$ и $\omega=0$, $Z_a = H$, а зависимость между координатами точки на снимке и на местности определяется формулами

$$X = \frac{H}{f - x \sin \alpha} x, \quad Y = \frac{H}{f - x \sin \alpha} y. \quad (1)$$

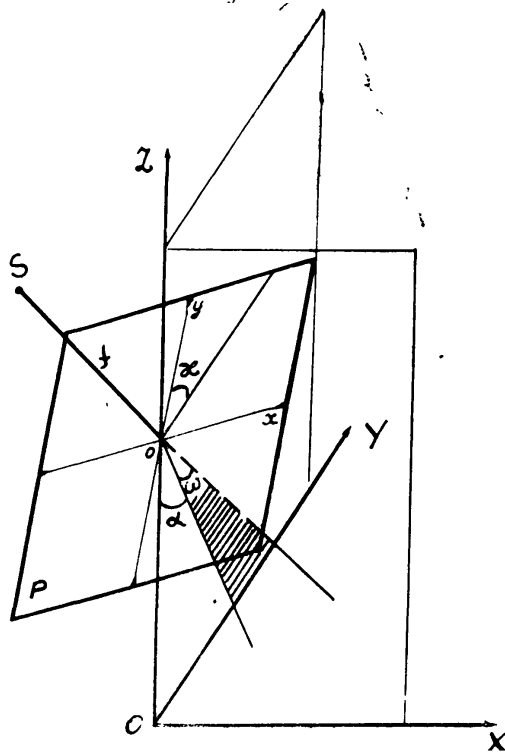


Рис. 3. Ориентирование аэрофотоснимка

За начало координат здесь принимаются точки с и С соответственно.

Различают перспективную ($\alpha > 3^0$) и плановую ($0 \leq \alpha \leq 3^0$) аэрофото-съемки.

Когда $\alpha = 0^0$, съемка горизонтальная и центральная проекция имеет вид, приведенный на рис. 2.

При этом точки n , c и o совпадают и находятся в геометрическом центре снимка.

Как следует из (1), координаты точек объектов можно определять по измерениям их фотографических изображений. Это является предметом науки, которая называется фотограмметрией. Её название происходит от греческих слов *photos* – свет, *gramma* – запись и *metreo* – меряю).

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБА АЭРОСНИМКА ПО ЭЛЕМЕНТАМ ОРИЕНТИРОВАНИЯ

Будем полагать наш аэроснимок горизонтальным. Тогда, если местность представляет собой горизонтальную плоскость, масштаб аэрофотоснимка определится соотношением

$$\frac{1}{m} = \frac{oa}{OA}, \quad (2)$$

где m – знаменатель масштаба АФС.
Но поскольку

$$\frac{oa}{oa} = \frac{f}{H}. \quad (3)$$

то

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}. \quad (4)$$

Из формулы (3) можно вычислить высоту фотографирования:

$$H = f \cdot m, \quad (5)$$

если известен ее масштаб и фокусное расстояние фотокамеры.

Задача 1. Вычислить высоту фотографирования, если фокусное расстояние фотокамеры $f = 70$ мм, а масштаб аэрофотосъёмки 1:12000.

Пояснение к решению задачи 1: использовать формулу (5).

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБА АФС ПО БАЗИСАМ, ИЗМЕРЕННЫМ НА СНИМКЕ И НА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

Задача 2. На аэрофотоснимке и топографической карте выбрать два базиса. Измерив длину каждого из них s_k на карте и s_s с учетом поправок за рельеф на снимке, определить масштаб горизонтального

аэрофотоснимка. Из двух значений масштаба найти среднее арифметическое.

Пояснения к выполнению задачи 2. Если длина отрезка на карте масштаба 1:М равна s_k , то его длина на местности

$$S_M = s_k \cdot M. \quad (6)$$

Тогда, полагая в формуле (2)

$$oa = s_c,$$

$$OA = S_M,$$

перепишем ее в следующем виде:

$$\frac{1}{m} = \frac{s_c}{s_k \cdot M}. \quad (7)$$

Тогда знаменатель масштаба аэрофотоснимка

$$m = M \frac{s_k}{s_c}. \quad (8)$$

Его определение выполняют по обоим базисам. За окончательное принимается среднее значение.

Формулы (7), (8) справедливы в том случае, когда местность представляет собой горизонтальную плоскость. В общем случае в измеренные длины базисов необходимо вводить поправки, учитывающие смещение точек снимка, вызванные рельефом местности.

3.1. Определение смещения точек снимка, вызванного рельефом местности

Из рис. 4 и 5 видно, что при положительном превышении точки М относительно опорной плоскости ее положение смещается от главной точки горизонтального снимка, а при отрицательном превышении это смещение направлено к главной точке.

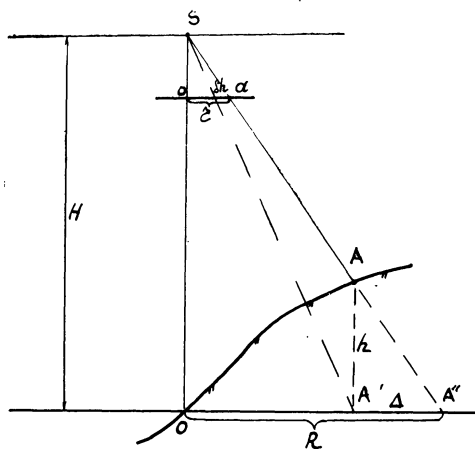


Рис. 4. Смещение точки на аэрофотоснимке при положительном превышении ее относительно главной точки

Для вычисления величины этого смещения запишем соотношение пропорциональных отрезков:

$$\frac{\delta_h}{r} = \frac{\Delta}{R}. \quad (9)$$

Но из подобия треугольников $AA'A''$ и SOA'' следует, что

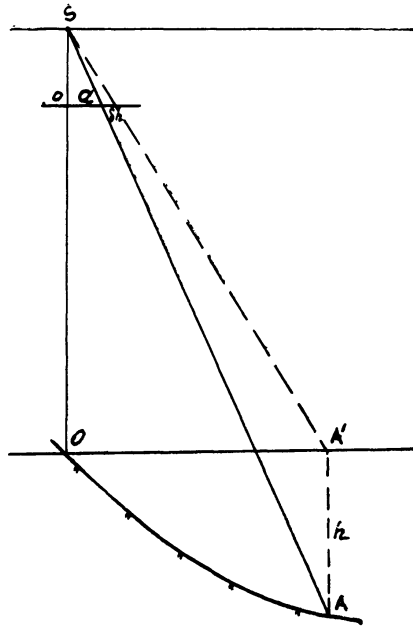


Рис. 5. Смещение точки на аэрофотоснимке при отрицательном превышении ее относительно главной точки

$$\frac{\Delta}{R} = \frac{h}{H}. \quad (10)$$

Тогда на основании (8) и (9) можно составить соотношение

$$\frac{\delta_h}{r} = \frac{h}{H}, \quad (11)$$

из которого определяем величину смещения положения точки A за рельеф:

$$\delta_h = \frac{h}{H} \cdot r. \quad (12)$$

Если превышение точки положительное, то поправку за рельеф следует вводить в отрезок oa со знаком минус, если отрицательное, то поправка вводится со знаком плюс.

Исходя из формул (8) и (12), можно записать требования к выбору базисов.

1. Базисы должны проходить вблизи главной точки АФС, лишь тогда будет справедлива формула (12).

2. Если концы базисов будут располагаться на одинаковых высотах, то при их асимметрии до 1,5 см поправки за рельеф можно не учитывать.

3. Концам базиса должны быть выбраны такие контурные точки, которые однозначно опознаются с погрешностью не более 0,1 мм.

4. Из возможных вариантов выбираются базисы наибольшей длины.

5. С целью учета влияния углов наклона снимка базисы выбираются под углом 90^0 . Поскольку наш снимок принимается горизонтальным, то это требование выполнять не обязательно.

3.1.1. Порядок решения задачи 2

1. В соответствии с изложенными выше требованиями выбрать два базиса.

2. Каждый из них опознать на карте и аэрофотоснимке. С точностью 0,1 мм измерить длину базиса на снимке s'_c и на карте s_k .

3. Найти главную точку снимка. Для этого соединить противоположные координатные метки снимка двумя прямыми линиями. Их пересечение даст главную точку снимка.

4. Опознать на карте главную точку аэрофотоснимка.

5. С точностью ± 1 м определить превышение точек начала и конца базиса относительно главной точки снимка.

6. Определить на снимке расстояния r_1 и r_2 от главной точки до точек начала и конца базиса.

7. Для обеих точек базиса найти поправки за рельеф по формуле (12).

Если превышение h по модулю меньше 1 м, то поправка за рельеф принимается равной нулю.

8. Ввести эти поправки в измеренную на снимке длину базиса и получить исправленную длину:

$$S_c = S'_c = \delta_h. \quad (13)$$

9. По формуле (7) определить знаменатель масштаба.

Аналогичные действия выполнить для второго базиса и по двум значениям знаменателя масштаба аэрофотоснимка найти средний. Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1. Определение масштаба аэрофотосъёмки по базисам

Название базиса i-j	s_c' , мм	h_i , мм	r_i , мм	δ_{hi} , мм	h_j , мм	r_j , мм	δ_{hj} , мм	s_c , мм	s_k , мм	m	m_{cp}
1-2	150,8	-1	91	+0,1	+6	66	-0,5	150,4	197,0	13098	
											12988
3-4	117,6	+4	28	0,1	+4	92	-0,5	117,0	149,6	12879	

4. ПЕРЕНЕСЕНИЕ КОНТУРНОЙ ТОЧКИ С АЭРОФОТОСНИМКА НА КАРТУ

Задача 3. Перенести со снимка на карту относительно точек 3 и 2 к востоку от железной дороги поворот шоссе, проходящего через поселок Двинск. На рис. 6 этот поворот обозначен буквой А. Контрольным принять расстояние от точки 1 до А.

Точка 1 – пересечение оси западного железнодорожного моста с левым берегом реки Голубая (юго-западная часть квадрата 64-12). Точка 2 – пересечение осей автомагистрали и лесополосы (юго-восточная часть квадрата 66-12). Точка 3 – пересечение осей железной дороги и автомагистрали (южная часть квадрата 65-12).

Пояснения к выполнению задачи 3. Перенесение точек с аэрофото-снимка на карту можно выполнять следующими способами: полярных координат, линейной засечки, прямой угловой засечки, обратной угловой засечки, прямоугольных координат и др. Необходимые для каждого способа элементы (углы и расстояния) снимаются с аэрофото-снимка. Точность измерения углов составляет $5'$, а расстояний – $0,1$ мм.

Результаты измерений записываются в тал. 2.

Таблица 2. Вычисление расстояний для перенесения точек со снимка на карту

Линии i-j	s_c , мм	$\frac{m_{cp}}{M}$	s_k , мм
2-A			
3-A			
1-A			

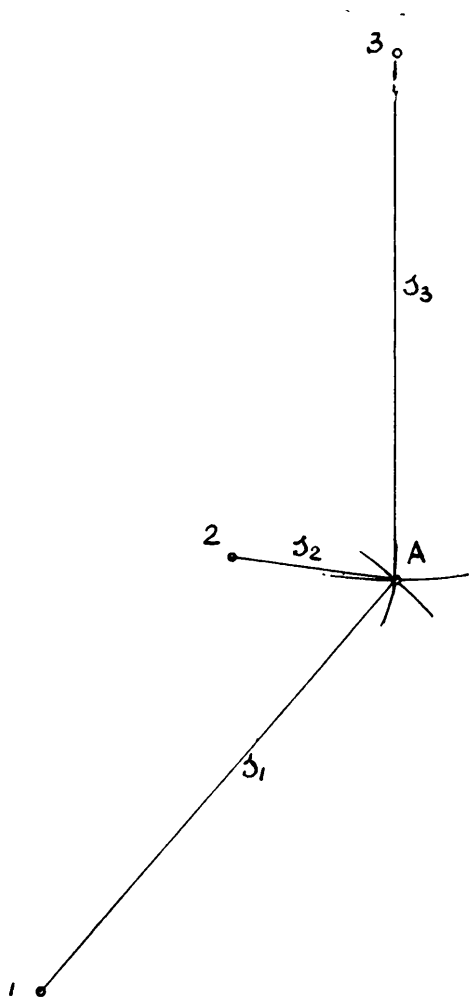


Рис. 6. Перенесение точки М со снимка на карту

Расстояния, по которым точка М наносится на карту, вычисляются по формуле

$$s_k = \frac{s_c \cdot m_{cp}}{M}, \quad (14)$$

полученной из формулы (7).

В настоящей работе перенесение выполнить способом линейной засечки. Для этого радиусом s_{k2-A} с точки 2 прочертить дугу в предполагаемом месте точки А. Такую же дугу прочертить с точки 3 радиусом s_{k3-A} . В их пересечении будет находиться точка А. Для контроля с точки 1 прочертить дугу радиусом s_{k1-A} . Она должна пройти через точку А. Несовпадение с ней не должно превышать 0,5 мм.

5. СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ СНИМКОВ

Используя стереопару снимков, необходимо рассмотреть объемное изображение местности с помощью стереоскопа, а также получить обратный и нулевой стереоэффекты.

Для получения модели объекта местности и тем самым его объемного изображения необходимо иметь два аэрофотоснимка этого участка местности, полученных с разных точек фотографирования. Такие два снимка называют стереопарой снимков. Слово stereos – греческое и означает объемный, пространственный.

Положение точек такой модели определяется пространственными координатами X, Y, H где X, Y – плановые координат, а H – высота точки.

По единственному снимку можно определить только плановые координаты точки X, Y .

Для определения ее высоты необходим другой снимок с изображением этой же точки, но полученный с другой точки фотографирования. В результате такого фотографирования проектирующие лучи создают пространственную засечку точки местности, однозначно определяющую ее пространственные координаты.

Такая засечка с точек $S_{л}$ и $S_{пр}$ показана на рис. 7. Полученные в результате левый и правый снимок составляют стереопару.

По ней уже можно вычислить высоту H точки А относительно линии горизонта $S_{л} S_{пр}$, а также и превышение между точками. Из ри. 7 можно записать

$$\frac{x_{np}}{X_{np}} = \frac{f}{H}. \quad (15)$$

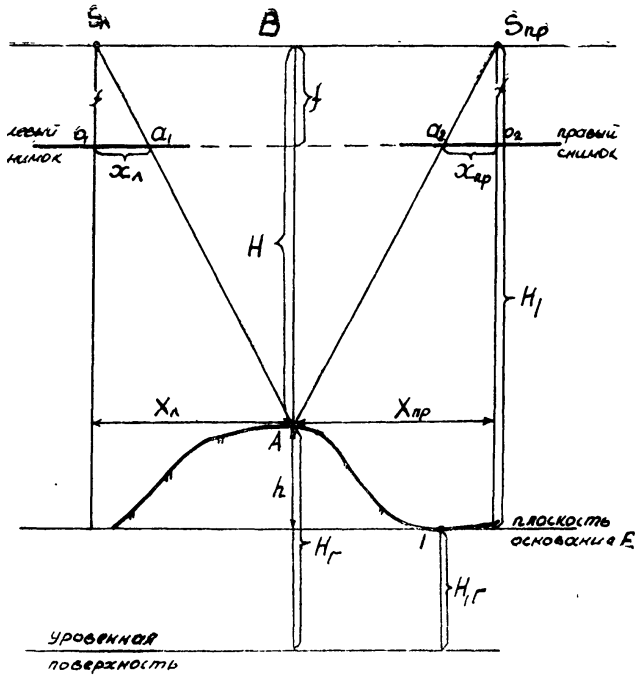


Рис. 7. Стереопары аэрофотоснимков

Тогда

$$H = \frac{f \cdot X_{np}}{x_{np}}. \quad (16)$$

В 915) X_{np} неизвестно. Для его получения составим пропорцию:

$$\frac{x_{np}}{X_{np}} = \frac{x_{Л}}{X_{Л}}. \quad (17)$$

Поскольку

$$X_{Л} = B - X_{np}, \quad (18)$$

то после подстановки (17) в (16)

$$X_{np} = B \frac{x_{np}}{x_{Л} + x_{np}}. \quad (19)$$

Подстановка (18) в (16) дает результат

$$H = \frac{f}{x_{Л} + x_{np}} \cdot B, \quad (20)$$

где B – известный базис фотографирования, а $x_{Л}$ и x_{np} измеренные координаты точки A на снимках по оси абсцисс.

Сумму абсцисс в (20) заменяют величиной

$$p = x_{Л} + x_{np}, \quad (21)$$

которую называют продольным параллаксом точки A . Тогда формула (20) примет вид

$$H = \frac{f}{p} B. \quad (22)$$

Если аналогичную формулу записать для опорной точки 1, лежащей на плоскости основания

$$H_1 = \frac{f}{p_1} B, \quad (23)$$

то разность высот дает превышение между этими точками:

$$h = H - H_1 = Bf \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p_1} \right). \quad (24)$$

Или после несложных преобразований

$$h = H_1 \frac{\Delta p}{p}, \quad (25)$$

где $\Delta p = p_1 - p$ – разность продольных параллакссов определяемой точки A и данной точки 1. Таким образом, вычислив по формуле (25) превышение при известном H_{ir} , можно найти отметку определяе-

мой точки $H_r = H_{1r} + h$, где H_{1r} – высота точек 1 и А над урвненной по-
 верхностью

Для рассмотрения стереомодели местности служат специальные
 приборы. Наиболее простой из них – стереоскоп. Это – бинокулярный
 оптический прибор для рассмотрения стереопар. Он позволяет видеть
 изображение объёмным. Ход лучей в зеркально-линзовом стереоскопе
 показан на рис. 8.

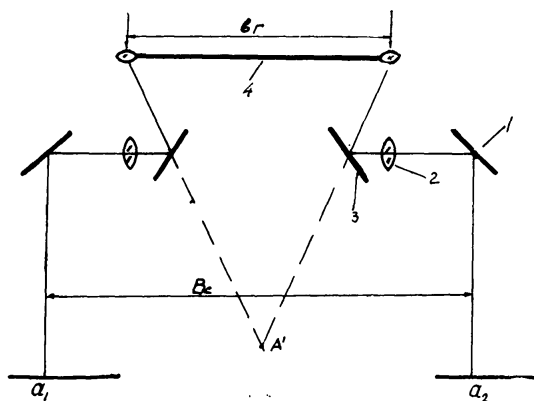


Рис. 8. Ход лучей в стереоскопе: 1,2 – внешние и внутренне зеркала,
 3 – линза, 4 – бинокуляр

Здесь B_c – расстояния между центрами больших зеркал, называемое
 базисом стереоскопа, b_r – расстояние между передними узловыми точ-
 ками глаз, называемое глазным базисом.

Чтобы получить объёмное изображение A' точки А (прямой сте-
 реоэффект), необходимо под левое зеркало положить левый снимок, а
 под правое – правый, так чтобы они располагались вдоль оси прибора
 строго один за другим. Потом необходимо установить их так, чтобы
 начальные направления $o_1o'_2$ и $o_2o'_1$ были на одной прямой, параллель-
 ной базису стереоскопа, а расстояние между какой-либо парой соот-
 ветственных точек, например a_1 и a_2 , приблизительно равнялось базису
 стереоскопа (рис. 9). Начальным направлением аэрофотоснимка счита-

ется направление, соединяющее главную точку данного снимка, например o_1 , с изображением на нем главной точки соседнего o'_2 .

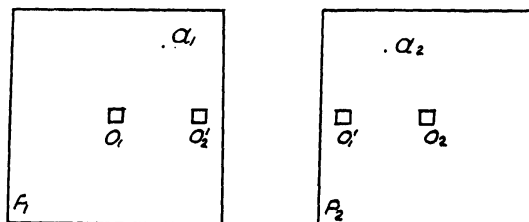


Рис. 9. Прямой стереоэффект

Передвижением этих снимков вдоль прибора, а также их поперечным перемещением и некоторым вращением в своих плоскостях добиваются совмещения изображений левого и правого снимков, чем достигают объемного изображения местности или прямого стереоэффекта.

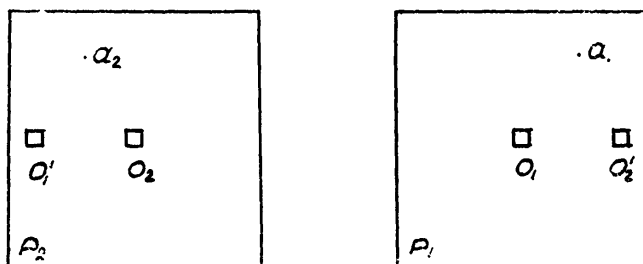


Рис. 10. Обратный стереоэффект

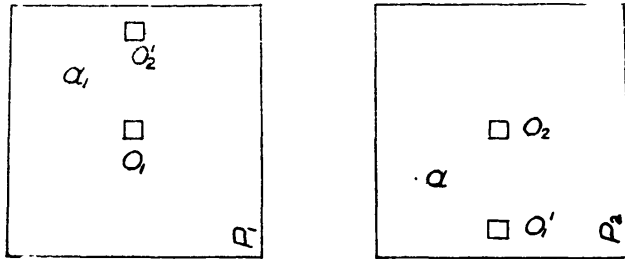


Рис. 11. Нулевой стереоэффект

Если снимки поменять местами (рис. 10), то стереоэффект будет обратным. Если добиться перпендикулярности начальных направлений к главному базису (рис. 11), то стереоэффект будет нулевой.

С помощью стереофотограмметрических приборов выполняют измерения на стереопаре снимков для получения плановых координат точек и их высот или превышений на основе математических зависимостей, часть из которых представлена формулами (1), (21), (25).