

Г. Н. ТИМУШЕВ

О МАРКИРОВКЕ ОПОЗНАКОВ НА СКЛОНАХ МЕСТНОСТИ

Вопрос о маркировке опознаков на склонах местности достаточного освещения в литературе не получил. Кроме указаний, имеющих в наставлениях [3, 4] и других литературных источниках, о том, что не следует размещать опознаки на склонах, особенно крутых, других разъяснений нет. Остается невыясненным вопрос, какой склон и в каких случаях следует считать крутым. Неясно, относится ли это требование в равной степени и к плановым, и к высотным опознакам. Уточнение этих вопросов приобретает важное значение, когда требуется обязательно проводить маркировку всех опорных точек [5], строго придерживаясь определенной схемы размещения опознаков. Необходимость маркировать опознаки на склонах нередко возникает при крупномасштабном картографировании, когда затажной склон может занимать площадь не только одного снимка, но и блока снимков. В этих случаях отказ от размещений опознаков на склонах приводит к нежелательным отступлениям от проекта, что вызывает излишние затраты времени и средств.

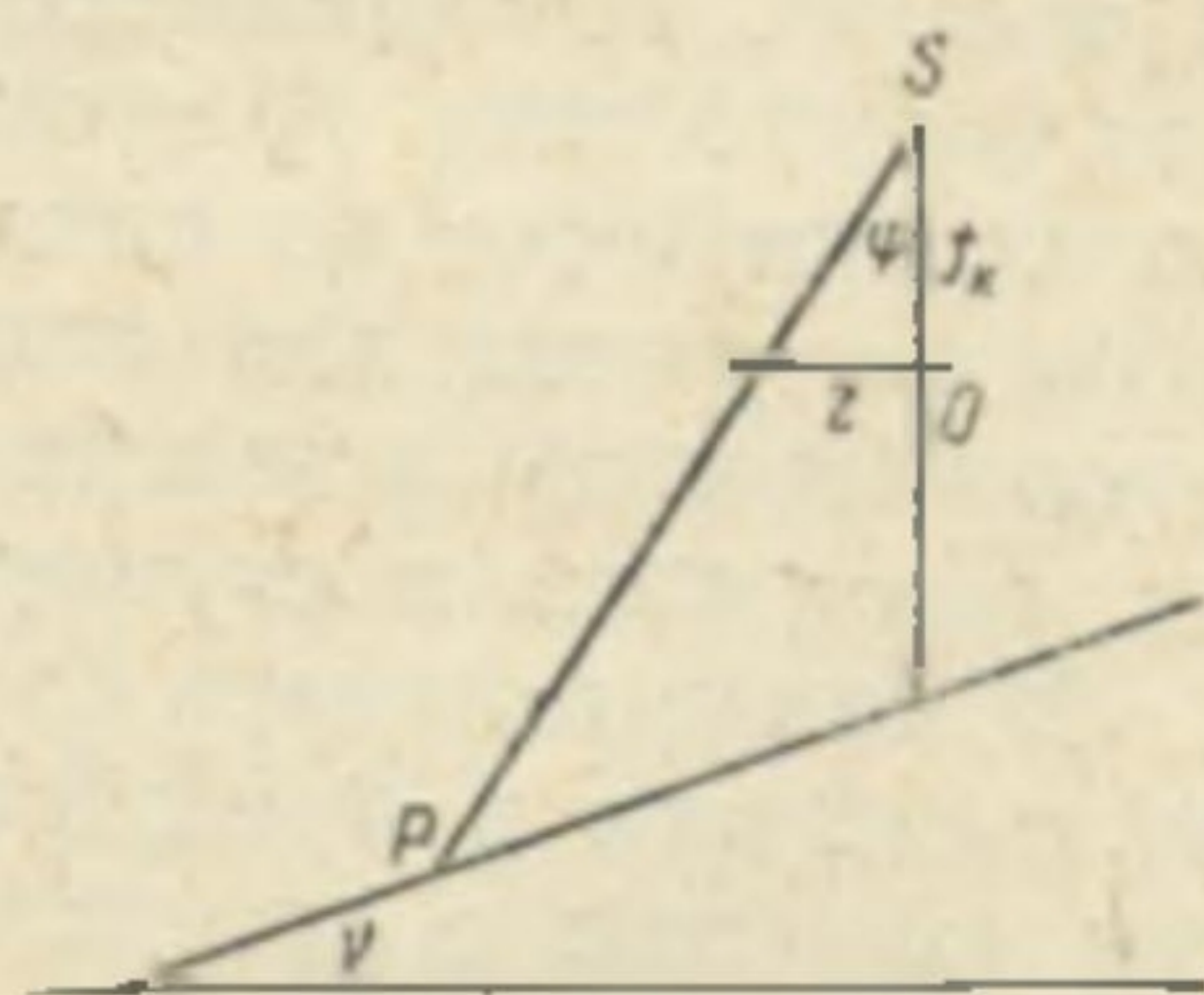


Рис. 1.

Очевидно, что при размещении опознака на склоне местности должны быть соблюдены следующие условия: 1) опознак находится в поле зрения аэрофотоаппарата и не попадает в «мертвое пространство», образуемое неровностями местности; 2) размер опознавательного знака обеспечивает читаемость опознака на снимке; 3) ошибка в высоте точки, возникающая в результате неправильного наведения марки фотограмметрического прибора на такой опознак, меньше допустимой.

Для соблюдения первого условия необходимо, чтобы опознак P (рис. 1) был расположен на прямом склоне с уклоном α

$$\alpha \leq 90^\circ - \psi, \quad (1)$$

где

$$\psi = \arctg \frac{r}{f_k}, \quad (2)$$

r — расстояние на снимке от его центра до изображения опознака;
 f_k — фокусное расстояние аэрофотоаппарата.

Однако соблюдения этого требования еще недостаточно для получения четкого изображения опознака на снимке, так как засечка будет осуществляться под слишком острым углом.

Условившись, что пересечение визирного луча с местностью в точке размещения опознака P происходит под углом не менее 30° , получим новое значение ν (3)

$$\nu \leq 60^\circ - \psi. \quad (3)$$

Данные, рассчитанные по формуле (3), приведены в табл. 1.

Таблица 1
Предельные углы наклона местности
при различных значениях r и f_k

f_k (мм)	55	70	100	140	200
r (мм)					
50	18	24	33	40	46
70	8	15	25	33	41
90	2	8	18	27	36

По данным табл. 1 можно сделать вывод, что понятие «крутой склон» не является одинаково применимым ко всем условиям. Крутизна склона, избираемого для маркировки опознака, зависит от фокусного расстояния применяемого аэрофотоаппарата и отстояния изображения опознака на снимке от центра снимка. Особенно строго следует выбирать места для опознаков при применении широкоугольных аэрофотоаппаратов, а также на склонах, отличающихся от прямого — вогнутом, выпуклом и ступенчатом.

В сомнительных случаях следует убедиться, что в точке размещения опознака в пределах телесного угла, образованного круглым прямым конусом с углом при вершине, равном 2ψ , отсутствуют препятствия. На практике удобнее пользоваться дополнением угла ψ до 90° и строить его при помощи теодолита или более простого угломерного прибора относительно горизонтальной плоскости.

Для соблюдения второго условия, заключающегося в том, что размер опознавательного знака, расположенного на склоне, должен обеспечивать читаемость изображения опознака на снимке, необходимо, чтобы проекция этого знака на горизонтальную плоскость не была меньше величины, рассчитанной для случая расположения опознака на горизонтальной площадке.

На практике могут иметь место два случая: 1) опознак расположен на открытом склоне; 2) опознак расположен на залесенном склоне.

1. Опознак расположен на открытом склоне

По теореме синусов из треугольника ABC (рис. 2) получим

$$l' = \frac{l}{\cos \nu - \frac{r}{f_k} \sin \nu}, \quad (4)$$

где l' — размер стороны опознака на склоне;

l — размер стороны опознака на горизонтальной площадке.

Обозначим

$$K_1 = \frac{1}{\cos \nu - \frac{r}{f_k} \sin \nu}. \quad (5)$$

Тогда

$$l' = K_1 l. \quad (6)$$

В табл. 2 приведены значения коэффициента K_1 и для сравнения — величина $\frac{1}{\cos \nu}$. Ясно, что применение к данному случаю общеизвестной формулы (7) приведет к значительным ошибкам в стороне опознака.

$$l' = \frac{l}{\cos \nu}. \quad (7)$$

Если, исходя из экономических соображений, положить, что сторона опознака, расположенного на склоне, не превышает более чем на 10% длину стороны опознака, расположенного на горизонтальной площадке, то можно прийти к выводу о том, что нежелатель-

Таблица 2
Значения коэффициента K_1 при $r = 70$ мм

ν°	$\frac{1}{\cos \nu}$	f_k в мм		
		70	100	200
0	1,000	1,000	1,000	1,000
2	1	37	26	14
4	2	77	53	27
6	5	123	85	43
8	10	175	119	61
10	15	233	158	82
15	25	414	273	141
20	63	567	408	219

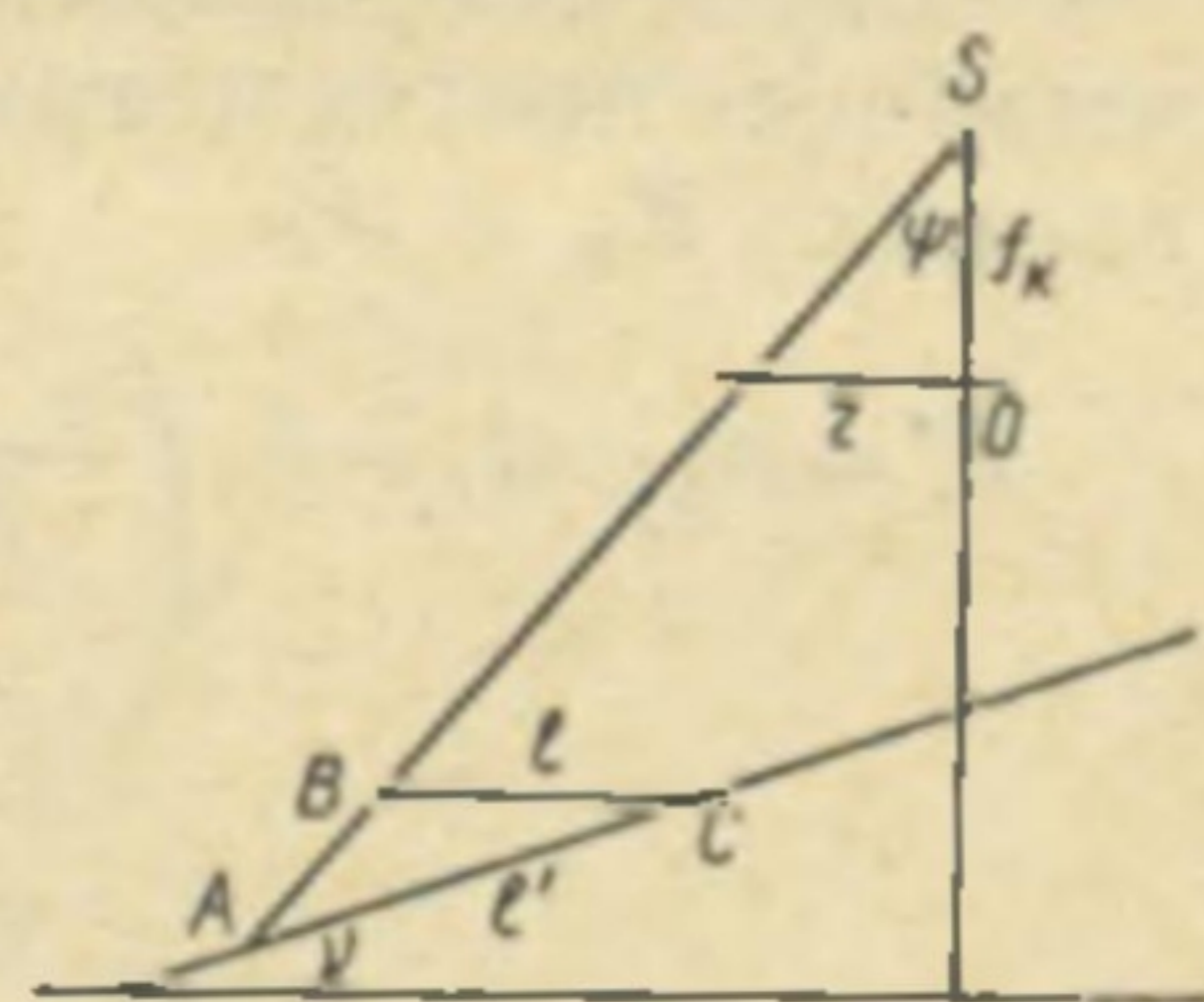


Рис. 2.

но маркировать опознаки на склонах более чем 5° при аэрофотосъемке аэрофотоаппаратом с $f_k = 70$ мм и соответственно 7 и 12° — при съемке аэрофотоаппаратами с $f_k = 100$ мм и с $f_k = 200$ мм. В тех случаях, когда маркировка опознаков на склонах местности оправдывается другими соображениями, плановые опознаки могут размещаться на склонах в соответствии с данными табл. 1.

2. Опознак расположен на залесенном склоне

Для того чтобы опознак со стороной l' , расположенный на залесенном склоне, изобразился на снимке, необходимо сторону вырубki под опознак увеличить настолько, чтобы исключить влияние непросматриваемого пространства («мертвой зоны»), образуемого из-за наличия высокой растительности и исключить влияние падающих теней от деревьев. Так как в общем случае опознак должен изобразиться на снимках двух смежных маршрутов, следует учесть влияние непросматриваемого пространства, образуемого деревьями, ограничивающими опознак с двух сторон.

Из рис. 3, а следует

$$\frac{d_B}{h_A} = \frac{\sin \psi}{\sin [90^\circ - (\nu + \psi)]} = \frac{\sin \psi}{\cos (\nu + \psi)}. \quad (8)$$

произведя соответствующие преобразования и заменив $\text{ctg } \psi = \frac{f_k}{r}$, получим

$$d_{\text{в}} = \frac{h_{\text{д}}}{\frac{f_k}{r} \cos \nu - \sin \nu}, \quad (9)$$

где $d_{\text{в}}$ — непросматриваемое пространство в верхней части склона;
 $h_{\text{д}}$ — высота древостоя.

Из рис. 3, б следует

$$\frac{d_{\text{в}}}{h_{\text{д}}} = \frac{\sin \psi}{\sin [90^\circ + (\nu - \psi)]} = \frac{\sin \psi}{\cos (\nu - \psi)}, \quad (10)$$

произведя соответствующие преобразования и заменив $\text{ctg } \psi = \frac{f_k}{r}$, найдем

$$d_{\text{н}} = \frac{h_{\text{д}}}{\frac{f_k}{r} \cos \nu + \sin \nu}, \quad (11)$$

где $d_{\text{н}}$ — непросматриваемое пространство в нижней части склона.

Суммарное непросматриваемое пространство d' определится как сумма величин $d_{\text{в}}$ и $d_{\text{н}}$

$$d' = d_{\text{в}} + d_{\text{н}} = h_{\text{д}} \left(\frac{1}{\frac{f_k}{r} \cos \nu - \sin \nu} + \frac{1}{\frac{f_k}{r} \cos \nu + \sin \nu} \right) \quad (12)$$

или

$$d' = \frac{2rh_{\text{д}}}{f_k} \left(\frac{\sec \nu}{1 - \frac{r^2}{f_k^2} \text{tg}^2 \nu} \right), \quad (13)$$

но

$$\frac{2rh_{\text{д}}}{f_k} = d, \quad (14)$$

где d — суммарное непросматриваемое пространство, образующееся при расположении опознака в лесу на горизонтальной площадке (см. [6, формула (8)]).

Обозначим

$$K_2 = \frac{\sec \nu}{1 - \frac{r^2}{f_k^2} \text{tg}^2 \nu}, \quad (15)$$

тогда

$$d' = K_2 d. \quad (16)$$

Из анализа данных табл. 3 следует, что суммарное непросматриваемое пространство в случае расположения опознака на склоне

местности мало отличается от аналогичной величины в случае расположения опознака на горизонтальной площадке. Для принятых нами предельных уклонов местности разница указанных величин не превышает 0,5%. Однако в связи с тем, что $d_{\text{в}} \neq d_{\text{н}}$ возникает вопрос о выборе места точки, подлежащей геодезическим и фотограмметрическим опре-

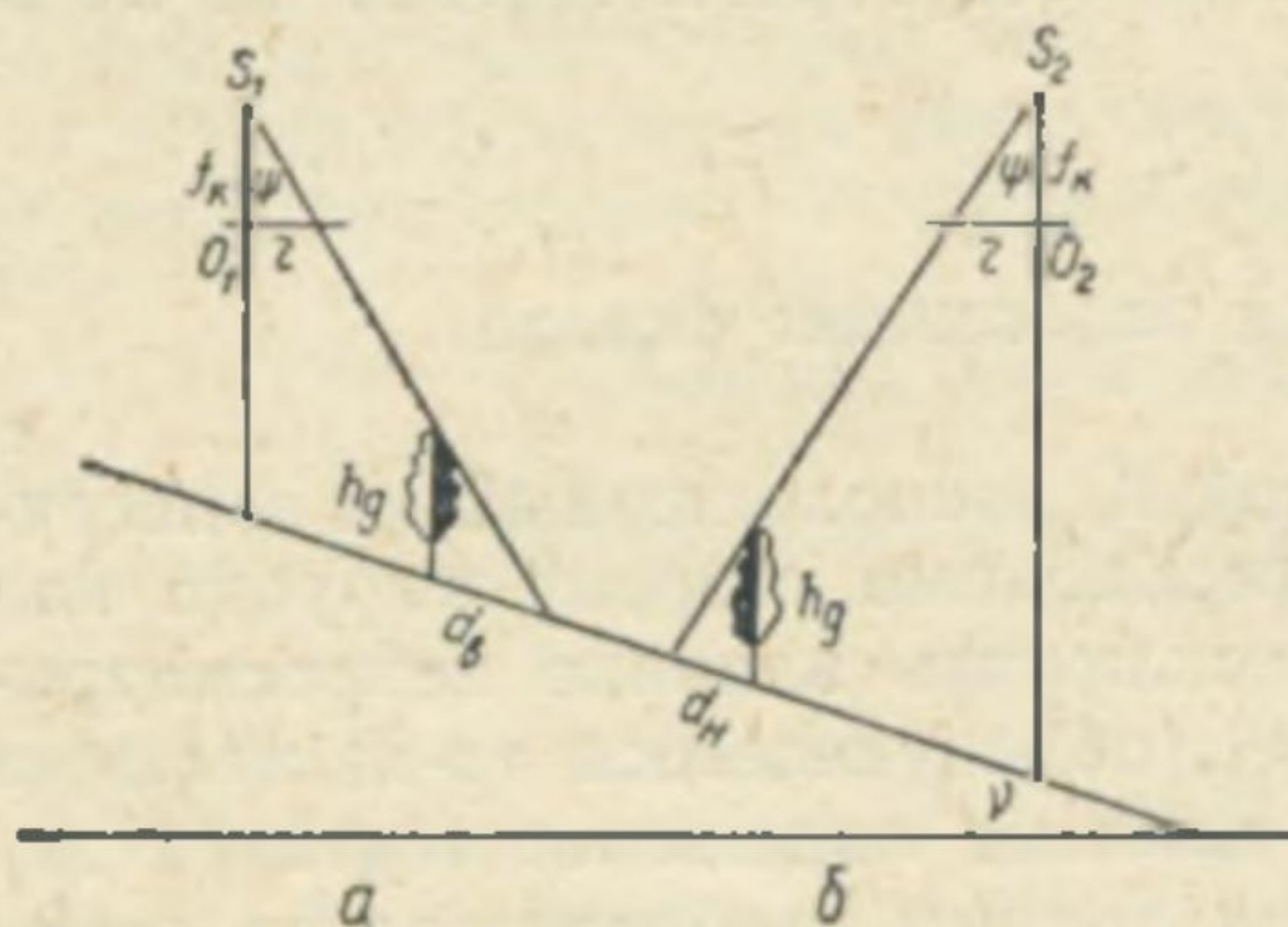


Рис. 3.

Таблица 3

Значения коэффициента
 K_2 при $r=70$ мм

ν°	f_k в мм		
	70	100	200
0	1,0000	1,0000	1,0000
2	12	6	1
4	49	24	6
6	111	54	14
8	201	97	24
10	321	154	38
15	773	364	88
20	1527	694	165

Таблица 4

Значения коэффициента
 K_3 при $r=70$ мм

ν°	f_k в мм		
	70	100	200
0	1,000	1,000	1,000
2	0,966	0,683	0,340
4	936	669	337
6	910	655	334
8	885	643	331
10		632	330
20		593	325

делениям. Стремление выбирать эту точку в середине маркировочного знака приводит, в данном случае, к неоправданному увеличению размера вырубki. Для практических целей удобнее пользоваться линейкой величиной L , которую можно отложить на местности от того или иного края опознака. Приняв за начало отсчета нижний край опознака, получим

$$L = d_n + 0,5l' = h_d \frac{\sin \nu}{\cos(\nu - \psi)} + 0,5l', \quad (17)$$

обозначим

$$K_3 = \frac{\sin \nu}{\cos(\nu - \psi)}, \quad (18)$$

тогда

$$L = K_3 h_d + 0,5l'. \quad (19)$$

В тех случаях, когда длина теней от деревьев превосходит величину непросматриваемого пространства d_b или d_{\dots} в зависимости от положения солнца, следует сторону вырубki под опознак увеличить на значение ΔT

$$\Delta T = h_d \operatorname{ctg} h_{\odot} \cos \alpha - d_i, \quad (20)$$

где α — азимут направления тени;

h_{\odot} — высота солнца над горизонтом;

d_i — величина непросматриваемого пространства со стороны верхнего или нижнего края вырубki в зависимости от положения солнца.

Графики, по которым можно определить, когда следует вводить поправку ΔT в длину стороны вырубki, приведены в работе [6]. Там же даны все необходимые расчетные величины для случая расположения опознака среди высокой растительности на горизонтальной площадке.

Для соблюдения третьего условия необходимо, чтобы ошибка в высоте точки, возникающая в результате ошибок наведения марки фотограмметрического прибора на опознак, расположенный на склоне, была меньше допустимой.

Ошибка в высотной отметке маркировочного знака, установленного на склоне, определится по формуле:

$$\delta_h = \Delta_c \sin \nu m_c, \quad (21)$$

где δ_h — ошибка в высоте;

Δ_c — ошибка в определении положения центра опознака на снимке;

m_c — знаменатель масштаба снимка.

Ошибка в определении центра опознака Δ_c зависит от точности фотограмметрического прибора и от величины опознавательного знака.

Для определения влияния размеров знаков на точность фотограмметрических определений было проведено исследование точности наведения марки прибора на центры знаков следующих размеров D в миллиметрах в масштабе снимка: 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6. Эксперимент выполнен дважды с применением различной методики. В результате многократных измерений на стереокомпараторе завода «Геодезия» получено не менее чем по тридцать значений отклонений по каждой категории знаков. Данные эксперимента сведены в табл. 5, из которой следует, что: 1) ошибка наведения на центр знака возрастает с увеличением размеров знаков; 2) относительная ошибка наведения $\frac{m}{D}$ уменьшается.

Таблица 5

Ошибки наведения марки прибора
(в микронах) на центры знаков различных
размеров (в мм в масштабе снимка)

Размер знака D	Средние квадратические ошибки			Относительная ошибка
	1	2	Средняя	
0,05	16	21	19	0,38
0,1	18	34	26	0,26
0,15	25	33	29	0,19
0,2	32	34	33	0,17
0,25	33	35	34	0,14
0,35	36	38	37	0,11
0,4	36	38	37	0,09
0,5	39	45	42	0,08
0,6	52	58	55	0,09

Если учесть, что в настоящее время применяются маркировочные знаки, имеющие размеры от 0,3 до 0,6 мм в масштабе снимка [1, 2], можно принять, что ошибка наведения составляет примерно десятую часть диаметра знака.

В результате искажения вертикального масштаба и вследствие некоторых свойств центральной проекции, в стереоскопической модели искажаются также углы наклона местности. Эти искажения тем больше, чем короче фокусное расстояние аэрофотоаппарата. Искажения особенно заметны на краях снимков, где, как правило, и размещаются опознаки. Так как марка фотограмметрического прибора наводится на эту искаженную поверхность, то следует считаться с возможностью получения ошибок, больших, чем средние квадратические.

Приняв $\Delta_c = 0,1$ мм, получим ошибки высот опознаков в зависимости от масштаба снимка и углов наклона местности (табл. 6).

Точность определения превышений на стереофотограмметрических приборах при равных условиях зависит от точности измерения разностей продольных параллаксов точек. Применяв известную формулу

$$\delta'_h = \frac{H}{b} \delta(\Delta p), \quad (22)$$

где b — величина базиса фотографирования на снимке;

H — высота аэрофотосъемки;

$\delta(\Delta p)$ — ошибка измерения (и искажение на аэроснимках) разности продольных параллаксов;

δ'_h — ошибка определяемого превышения,

и приняв $b=70$ мм; $\delta(\Delta p)=0,02$ мм для различных высот, получим данные, сведенные в табл. 7.

Таблица 6

Ошибки высот опознаков (в см)
в зависимости от масштаба снимков
и углов наклона местности

Углы наклона местнос- ти	Масштаб аэрофотоснимков			
	1:5 000	1:10 000	1:25 000	1:50 000
5°	±4,4	± 8,8	±21,8	±44,0
6	5,2	10,4	26,1	52,2
7	6,1	12,2	30,5	61,0
8	7,0	13,9	34,8	69,6
9	7,8	15,6	39,1	78,2
10	8,7	17,4	43,4	86,9

Таблица 7

Ошибка измерения разности
продольных параллаксов

H (см)	500	1 000	2 500	5 000
δ'_h (см)	14,8	28,9	71,0	142,0

Ясно, что сумма ошибок δ_h и δ'_h не должна превышать предельную, установленную для данного масштаба картографирования.

Примем для равнинно-пересеченных и всхолмленных районов с преобладающими углами наклона до 6° предельные ошибки в определении высот точек: 0,4 м — для карты масштаба 1:10000 и 1 м — для карты масштаба 1:25000 [4]. Тогда из сопоставления данных таблиц 6 и 7 с указанными допустимыми ошибками следует сделать вывод, что нецелесообразно размещать высотные опознаки на местности с уклонами более чем 8—9° при аэрофотосъемке аэрофотоаппаратом с $f_k=100$ мм.

При картографировании горных и лесных районов, когда соответствующие ошибки в высотах точек не должны превышать 2—3 м [4], высотные опознаки можно размещать на склонах до 15—18° при аэрофотосъемке аэрофотоаппаратом с $f_k=100$ мм.

Поскольку высотные отметки, как правило, передаются и на плановые опознаки, к последним должны предъявляться такие же требования, как и к высотным опознакам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крумелис В. А. Особенности аэрофотосъемки застроенных территорий. «Геодезия и картография», 1965, № 7.
2. Крюгер М. С. Маркировка геодезических точек в открытых горных районах. «Геодезия и картография», 1965, № 11.
3. Наставление по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Часть 1, Полевые работы. «Недра», 1964.
4. Наставление по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Часть 2, Камеральные работы. «Недра», 1965.
5. Постановления совещания по обмену опытом построения фотограмметрических сетей по аэроснимкам. «Геодезия и картография», 1964, № 3.
6. Тимушев Г. Н. Расчет размеров маркировочных знаков при высоком растительном покрове. Межведомственный Республиканский научно-техн. сборник «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 3, Изд-во Львовского ун-та, 1966.