

И. С. ПАНДУЛ

ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАНОВО-ВЫСОТНЫХ ОПОЗНАКОВ В ЯКУТИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ИХ ТОЧНОСТИ

При создании полевого обоснования аэрофототопографической съемки для крупномасштабных карт на территории Якутии часто приходится вести топогеодезические работы в районах, сильно различающихся своими ландшафтно-климатическими признаками. Это и равнинная тундра, и всхолмленная тайга, таежные нагорья и высокие горы с альпийскими формами рельефа. Но в любой из ландшафтно-климатических зон координаты опознаков определяются преимущественно аналитическим способом, более экономичным по сравнению с высотно-теодолитными ходами. Мы проанализировали результаты геодезических определений 1151 опознака и установили, что в полевых подразделениях из аналитических построений в основном применяются: прямая засечка, обратная засечка, комбинированная засечка и замкнутый треугольник. Несколько опознаков было определено полярным способом. Часть опознаков, расположенных главным образом в залесенных долинах рек, находили с помощью высотно-теодолитных ходов. Количественное соотношение видов определений опознаков в разных ландшафтных зонах различно.

В тундре около 60% опознаков определяется прямой засечкой, примерно 25% — обратной, около 10% — теодолитными ходами, а остальные 5% — комбинированной засечкой в сочетании с другими видами определений. В таежной местности 70—75% опознаков находили прямой засечкой, 20% — высотно-теодолитными ходами и 5—10% — другими построениями. В горах прямой засечкой определяются только 45—50% опознаков, 40% — обратной засечкой и 10—15% — другими построениями, причем теодолитные ходы прокладываются лишь в узких глубоких долинах и составляют редкое исключение.

Во всех ландшафтных зонах от 20 до 50% опознаков находят с помощью вспомогательных точек. В таежных районах этих точек меньше, в горах их количество увеличивается.

Угловые измерения для определения координат опознаков ведутся оптическими теодолитами ТТ-4 и *Theo-010*. Высотно-теодолитные ходы прокладываются с помощью теодолитов ТТ-4. Средняя длина ходов составляет 4,3 км при средней длине стороны 250 м. Следует заметить, что рекомендация перестановки лимба между полуприемами [3] применительно к оптическим теодолитам средней и малой точности не правомочна. В этих теодолитах отсчеты берутся по одному концу диаметра лимба, и при перестановке лимба между полуприемами влияние эксцентриситета алидады не исключается. Для его устранения горизонтальные углы надо измерять только при двух кругах, соблюдая неподвижность лимба в приеме. Во избежание грубых просчетов на каждой точке хода

надо выполнять два полных приема с перестановкой лимба между приемами.

Длины сторон в ходах измеряются 20-метровыми прокомпарированными лентами или дальномерными насадками ДНТ-2 и ДД-3. Ходы прокладываются только замкнутые с привязкой к пунктам триангуляции или к вспомогательным точкам.

При развитии съёмочных сетей в Якутии применяются следующие типы визирных целей: а) щит-крестовина: два взаимно перпендикулярных щита размерами 80×40 см, обтянутые белым материалом; б) белый флаг размером 100×50 см, над которым к вехе прикрепляется «веник» — пучок из веток; в) белый флаг 100×50 см и крыльчатка из 4—7 прибитых перпендикулярно друг к другу планок; г) белый или черно-белый цилиндрический мешочек из плотной материи, набитый подручным материалом (трава, мох, шишки) и надетый на верх вехи.

В таежной местности вехи устанавливаются на деревьях. На стволе дерева делают треугольный затес с надписью литеры опознака и года производства работ, а в основание вбивают кованый гвоздь, на который передается отметка опознака. Непосредственно от гвоздя измеряется высота вех. Последние возвышаются над кронами деревьев в среднем на 5—7 м. Максимальная их высота над землей — 32 м. В тундре высоты вех колеблются от 5 до 10 м. Вехи укрепляются дерном и проволочными оттяжками. В горной местности обычно выкладываются туры из камней высотой 1,5 м. В середине тура ставят палку, несущую одну из перечисленных визирных целей. Иногда же визирной целью служит сам тур, верхнюю часть которого обматывают белым материалом. Подземными долговременными центрами согласно указанию ГУГК опознаки не закрепляются.

Число направлений, по которым производятся наблюдения опознаков, в горах несколько больше, чем в таежной местности, где выбор более ограничен.

Длины сторон находятся в несомненной зависимости от ландшафтно-климатических условий, но в пределах одной и той же ландшафтной зоны зависят только от применяемой схемы геодезического построения и практически не зависят от типа применяемого инструмента (ТТ-4 или Theo-010). Стороны прямых засечек в тундре и тайге примерно одинаковы. В горах они короче, потому что там прямые засечки служат в основном для определения точек, расположенных на склонах, а такие опознаки засекаются с окружающих пунктов триангуляции и вспомогательных точек. При обратных засечках стороны длиннее, чем при прямых. Стороны обратных засечек в горах длиннее, чем в тайге, а в тундре даже длиннее, чем в горах. Последнее объясняется тем, что в горах пределы видимости ограничиваются резкими перегибами местности, в то время как равнинно-пересеченный и безлесный характер тундры позволяет при наблюдении обратных засечек засекают довольно удаленные пункты триангуляции. Но все же основным методом создания съёмочной сети в тундре является способ прямых засечек. Стороны комбинированных засечек в тайге и тундре короче, чем стороны прямых засечек, а в горах они занимают среднее положение между длинами сторон прямых и обратных засечек. Точность определения планового положения опознаков характеризуется величинами средних квадратических ошибок их координат, вычисляемых по формуле

$$m = \pm \sqrt{\frac{\delta_x^2 + \delta_y^2}{2}},$$

где δ_x и δ_y — расхождения в координатах, полученных из двух вариантов.

Средняя величина ошибки положения опознаков на определенном участке (лист карты масштаба 1 : 100 000):

$$M = \pm \sqrt{\frac{[m^2]}{n}}$$

где n — число опознаков на данном участке.

По этим формулам подсчитывались средние квадратические ошибки координат отдельно для каждого типа применяемых инструментов и для каждого вида основных геодезических построений в различных ландшафтно-климатических условиях. Результаты оценки представлены ниже:

	Тундра		Тайга		Горы		
	ТТ-4	ТТ-4	Theo-010	$M_{\text{ср}}$	ТТ-4	Theo-010	$M_{\text{ср}}$
Прямая засечка	48*	129	103	±1,77	301	56	±1,92
Обратная засечка	±2,35	±1,93	±1,56	±1,77	±2,02	±1,26	±1,92
Комбинированная засечка	19	12	—	—	256	49	—
Замкнутая треугольн. засечка	±2,93	±2,47	—	±2,47	±1,77	±1,60	±1,74
Высотно-теодолит. ходы	8	—	8	—	58	11	—
Высотно-теодолит. ходы	±1,79	—	±1,04	±1,04	±1,91	±1,36	±1,83
Замкнутая засечка	—	—	4	—	15	4	—
Замкнутая засечка	—	—	±0,59	—	±0,58	±0,62	±0,59
Высотно-теодолит. ходы	7	63	—	—	—	—	—
Высотно-теодолит. ходы	±1,36	±1,49	—	±1,49	—	—	—

* Здесь и в аналогичном случае ниже верхняя цифра обозначает число опознаков, нижняя — M , м.

Приведенные значения M устойчивы, сопоставимы и их надежность характеризуется величиной M_M порядка $\pm 0,2 \div 0,4$ м.

Исключение составляет средняя квадратическая ошибка обратных засечек, отнаблюденных в тундре. Но в этой ландшафтно-климатической зоне нами изучался только один объект с небольшим числом опознаков, что не позволило подробно рассмотреть вопрос о точности геодезического определения в зоне тундр. Явных систематических ошибок в координатах не обнаружено. Во всяком случае если они и имеются, то не превышают значения M_M .

Обращает на себя внимание (особенно при наблюдении опознаков теодолитами ТТ-4) тот факт, что в экспедициях часто принимаются в обработку точки, имеющие недопустимое расхождение в координатах, полученных из разных задач. Средняя величина расхождений координат равна 1,6 м. Но, например, на тундровом объекте встречались расхождения в 7,7—8,9 и даже 10,1 м. Такие опознаки были исключены нами из обработки при оценке точности как грубо определенные и оставлены как неоднократно встречающиеся опознаки с максимальным значением расхождения в 7,6 м. Параграф 172 действующего «Наставления» следовало бы дополнить таким указанием: «Расхождения координат или линейные невязки, величины которых превосходят 2/3 предельного значения, должны быть редким исключением» (видимо, их должно быть не более 5% от общего числа опознаков).

При внецентренном положении инструмента необходимо вводить в результаты наблюдений поправки за центрировку, строго соблюдая указания § 177 [3]. К сожалению, сейчас большинство топографов не придают этому должного значения. А между тем, если наименьшая сторона до определяемой точки равна 4 км, то поправку за центрировку следует вводить уже в случае, когда инструмент находится в 20 см от

центра опознака. Допустимое расстояние от центра опознака до точки стояния инструмента в каждом конкретном случае легко вычислить по рабочей формуле

$$e \leq 5S',$$

где e — предельно допустимая линейная величина внецентренности, см, при которой не надо вводить поправку за центрировку; S' — наименьшая сторона, км.

Теодолитные ходы оценивались так: вначале вычислялись абсолютные линейные невязки ходов по формуле

$$w_s = \pm \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}.$$

Затем определялась средняя квадратическая ошибка единицы веса (1 км хода)

$$\mu_s = \pm \sqrt{\frac{\left[\frac{w_s^2}{L} \right]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[w_s^2]}{[L]}}$$

где L — длина единичного хода, n — количество ходов. Здесь и ниже первая формула основная, вторая — контрольная.

Среднюю квадратическую ошибку планового положения опознака, определенного теодолитным ходом, находили по формуле

$$M_s = \pm \mu_s \sqrt{\frac{L_{cp}}{2}} = \pm \sqrt{\frac{[w_s^2]}{2n}}$$

где L_{cp} — средняя длина хода на данном участке, км.

Число теодолитных ходов, включаемых в оценку, не должно быть слишком малым. Так, для 7 ходов μ_s вычисляется со средней относительной погрешностью порядка 25%, а для 60 ходов последняя снижается до 10%.

Качество построения высотного обоснования пока еще несколько ниже качества планового обоснования стереосъемки. В общем объеме брака большой процент составляет «выпадение» опознаков по высоте. Так, из 32 опознаков, забракованных цехом камеральных работ с мая по август 1968 г., 6,3% были ошибочными в плане, 50 — по высоте, 43,7% имели ошибки и в плане, и по высоте.

Основным методом определения высот опознаков в Якутии является метод тригонометрического нивелирования. В имевшихся в нашем распоряжении материалах по ряду объектов вместо необходимых для оценки точности значений $\delta_{1,2,\dots,n}$ для каждого опознака были даны лишь значения максимальных уклонов δ_{max} . При этом обнаружилось случаи, когда в обработку принимались опознаки, имеющие уклоны по высоте (δ_{max}) выше допускаемых «Наставлением». Отмечено, что максимальная величина δ_{max} среди высот опознаков, принятых в обработку, достигает даже 3,9 м. Ниже даны средние квадратические ошибки определения высот опознаков относительно ближайших пунктов триангуляции:

	Тундра	Тайга	Горы	
	ТТ-4	ТТ-4	ТТ-4	Theo-010
Прямая засечка	48	43	196	56
	$\pm 0,56$	$\pm 0,62$	$\pm 0,51$	$\pm 0,22$
Обратная засечка	19	5	186	38
	$\pm 0,57$	$\pm 0,64$	$\pm 0,44$	$\pm 0,33$
Комбинированная засечка	8	—	24	—
	$\pm 0,61$	—	$\pm 0,36$	—
Высотно-теодолит. ходы	7	63	—	—
	$\pm 0,38$	$\pm 0,25$	—	—

При этом использовались формулы

$$m_h = \mp \sqrt{\frac{[p'\delta^2]}{(k-1)}}; \quad M_h = \pm \sqrt{\frac{[m_h^2]}{n}};$$

где m_h — средняя квадратическая ошибка высоты единичного опознака; M_h — средняя квадратическая ошибка определения высот опознаков по всему участку в целом; δ — разности между окончательным значением высоты данного опознака и теми значениями ее, которые получены по разным передачам; k — число передач, принятых в обработку;

$p' = \frac{p_i}{[p]}$ — веса превышений, приведенные к единице; n — число опознаков на участке.

В тех случаях, когда высоты опознаков определялись высотными ходами, средние квадратические ошибки высот относительно пунктов главной геодезической основы подсчитывались по формулам

$$\mu_h = \pm \sqrt{\frac{[p\omega_h^2]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\omega_h^2]}{[L]}}, \quad M_h = \pm \mu_h \sqrt{\frac{L_{cp}}{2}} = \pm \sqrt{\frac{[\omega_h^2]}{2n}},$$

где μ_h — средняя квадратическая ошибка единицы веса (1 км высотного хода); $p = \frac{1}{L}$ — вес одного хода при длине L , км; ω_h — высотная невязка хода; L_{cp} — средняя длина хода в группе оцениваемых ходов; n — число высотных ходов в группе.

В результате анализа производственных материалов мы пришли к выводам:

1. Результаты планового определения опознаков в основном хорошие. Средняя величина ошибки координат относительно пунктов триангуляции порядка $\pm 1,7$ м при допуске $\pm 2,5$ м.

2. Геодезическим построением, обеспечивающим наиболее точное определение местоположения опознака, следует считать триангуляционное построение (замкнутый треугольник).

3. Все виды засечек, выполненные одним и тем же типом инструмента, дают практически одинаковую точность определения координат независимо от ландшафтно-климатических условий.

4. Теодолитные ходы, проложенные с помощью ТТ-4, дают точность несколько выше, чем аналитические методы с использованием тех же теодолитов. Но теодолитные ходы менее экономичны, так как требуют прорубки широких просек. Кроме того, для теодолитных ходов характерно большое количество переделок [1].

5. При наблюдении теодолитами *Theo-010* получаются более точные результаты, чем при наблюдении теодолитами ТТ-4. Выполненная с помощью *Theo-010* аналитическая съёмочная сеть не уступает по точности построения теодолитным ходам.

6. Обратные засечки в тайге дают пониженную точность. Причина этого, видимо, в том, что наблюдения ведутся с качающихся вершин деревьев [2]. Отсюда применения способа обратных засечек в тайге следует избегать.

7. Превышения теодолитами *Theo-010* определяются значительно точнее, чем теодолитами ТТ-4 из-за конструктивных недостатков последних; ошибки определения высот опознаков тригонометрическим нивелированием с помощью теодолитов ТТ-4 почти в два раза превышают ошибки определений высотными ходами. Следовательно, в целях повышения точности высотной подготовки аэроснимков следует применять теодолиты *Theo-010* и Т-5.

8. Климатические условия горных ландшафтов более благоприятны для определения абсолютных высот опознаков тригонометрическим нивелированием.

9. При производстве работ надлежит строго выдерживать технические допуски «Наставления». Опыт показал, что повышения точности геодезического определения опознаков можно добиться, наблюдая их попутно с наблюдениями пунктов триангуляции.

Вопрос о точности определения опознаков в зависимости от типов, размеров, цвета, формы и освещенности визирных целей и вопрос о точности опознавания и накола опознаков на аэроснимках представляют собой самостоятельные исследовательские темы и требуют специально поставленных наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войновский В. М. Плано-высотная подготовка аэроснимков в условиях горной тайги. «Геодезия и картография», № 10, 1959.
2. Крюгер М. С., Фокин Р. Г. Развитие плано-высотного съемочного обоснования. «Геодезия и картография», № 6, 1959.
3. Наставление по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000, часть 1, «Недра», 1965.

Работа поступила
17 марта 1970 года