

Г. Н. ТИМУШЕВ

СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНТУРОВ НА ЧЕРНО-БЕЛЫХ И ЦВЕТНЫХ СНИМКАХ

Современные цветные аэропленки позволяют получать изображения различного типа аэроландшафтов с хорошей передачей цветов и высокой детализацией, поэтому они широко применяются при топографическом и специальных видах дешифрирования.

В настоящей работе анализируется точность отождествления различных маркировочных знаков и естественных контуров местности на цветных и спектрозональных фотоснимках по сравнению с точностью отождествления тех же контуров на черно-белых снимках.

Экспериментальная работа выполнялась в два этапа. На первом измерении производили по снимкам макета местности с подстилающей поверхностью типа сухая пашня, на которой были расположены маркировочные знаки белого цвета в виде квадрата, креста, прямого угла и буквы Т. При этом знаки имели разные размеры. В каждую группу входило 10 знаков одного размера. В частности, знаки квадратной формы имели следующие размеры в миллиметрах в масштабе снимка: 0,02; 0,04; 0,08; 0,15; 0,30; 0,60. Фотографирование макета выполнено при одинаковых условиях на черно-белую аэропленку типа 17 и цветную типа ДС-5.

На втором этапе использовали материалы фактической аэрофотосъемки одного и того же участка местности, выполненной на черно-белой (тип 15), цветной (тип ЦН-3) и спектрозональной (тип СН-5) аэропленках. Аэрофотосъемка произведена в октябре 1970 г. аэрофотоаппаратом АФА-ТЭ-100 в масштабе 1:20 000 в одном полете с незначительными перепадами во времени между залетами для каждого типа пленки.

На участке местности площадью около 50 км² и относительным колебанием рельефа в пределах 120—140 м было замаркировано белыми крестообразными знаками с размером луча 100×40 см 36 планово-высотных опознаков и 7 пунктов триангуляции. Кроме того, была оборудована контрольная площадка с маркировочными знаками различных размеров в виде креста, прямого угла и квадрата. Замаркированные опознаки располагали рядами поперек аэросъемочных маршрутов на расстоянии 1,5—2,0 км и на интервалах 0,5—0,9 км в рядах.

Плановая привязка опознаков выполнена аналитическими построениями прямыми и обратными засечками. Средняя квадратическая ошибка координат не превышала ±0,5 м, что соответствует требованиям к созданию планов в масштабе 1:5000. Высотная привязка выполнена геометрическим нивелированием III класса.

Использование снимков макета вызывалось необходимостью выполнить предварительные исследования при относительно малых затратах средств по сравнению с экспериментом, связанным с цветной и спектрально-аэрофотосъемкой местности.

Эксперимент 1. Поставлен по снимкам макета для сравнения точности отождествления маркировочных знаков разных размеров на черно-белых и цветных снимках. Измерения проводили два исполнителя на стереокомпараторе «Цейсс-1818» (ГДР). В каждой группе (в зависимости от их размеров) выбирали по 10 знаков, на которые и первый, и второй исполнители выполняли по 10 наведений измерительной маркой прибора. Ошибки отождествления определяли по разностям соответствующих отсчетов абсцисс (Δx), ординат (Δy), параллаксов (Δp), произведенных разными исполнителями, а средние квадратические ошибки отождествления абсцисс (m_x), ординат (m_y), параллаксов (m_p) и местоположения (m_c) точек вычислены по формулам (1):

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[\Delta x^2]}{2(n-1)}}; \quad m_y = \pm \sqrt{\frac{[\Delta y^2]}{2(n-1)}};$$

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{[\Delta p^2]}{2(n-1)}}; \quad m_c^2 = m_x^2 + m_y^2. \quad (1)$$

Данные, полученные в результате эксперимента, приведены в табл. 1.

Эксперимент 2. Выполнен по снимкам макета по методике, принятой в эксперименте 1. Измерения проводили на универсальном приборе СПР-3 для сравнения точности отождествления знаков разных размеров на черно-белых и цветных снимках. Данные эксперимента сведены в табл. 2, где m_h — средняя квадратическая ошибка отождествления по высоте. По-

сколько при проведении экспериментов 1 и 2 обнаружилось, что на черно-белых снимках не изобразились знаки размером 0,02 мм, а на цветных — 0,02 и 0,04 мм в масштабе снимка, измерения выполнены с использованием изображений знаков не мельче 0,08 мм в масштабе снимка.

Таблица 1

Сравнение точности отождествления знаков различных размеров на черно-белых и цветных снимках (стереокомпаратор «Цейсс-1818»)

Размер знака	Черно-белые снимки				Цветные снимки			
	m_x	m_y	m_c	m_n	m_x	m_y	m_c	m_n
0,60	± 9	± 9	± 13	± 10	± 10	± 10	± 14	± 10
0,30	9	8	12	9	9	10	14	9
0,15	8	8	11	8	8	11	14	10
0,08	8	9	12	9	9	9	13	9
Среднее значение	8,5	8,5	12	9	9	10	14	9,5

Как видим из данных табл. 1 и 2, в некоторых случаях ошибки отождествления на цветных снимках меньше, чем на черно-белых. Однако, учитывая, что средние квадратические ошибки вычислены с ошибкой примерно $\pm 1,5$ мкм, можно сделать вывод, что получена практически одинаковая точность отождествления одноименных точек на черно-белых и цветных снимках.

Таблица 2

Сравнение точности отождествления знаков различных размеров на черно-белых и цветных снимках (СПР-3)

Размер знака	Черно-белые снимки				Цветные снимки			
	m_x	m_y	m_c	m_n	m_x	m_y	m_c	m_n
0,60	± 10	± 11	± 15	± 21	± 10	± 10	± 14	± 15
0,30	11	11	16	18	10	10	14	14
0,15	12	10	16	18	10	10	14	15
0,08	12	12	17	20	10	10	14	15
Среднее значение	11	11	16	19	10	10	14	15

Эксперимент 3. Поставлен по снимкам макета для сравнения точности отождествления маркировочных знаков различной формы на черно-белых и цветных снимках. Работа выполнена двумя исполнителями на стереокомпараторе «Цейсс-1818». На снимках было подобрано по 10 изображений знаков в виде

креста, квадрата, прямого угла и буквы Т. На каждую точку и первый, и второй исполнители произвели по 10 наведений измерительной маркой прибора. Из табл. 3 видим, что цветные снимки имеют незначительное преимущество в точности отождествления знаков различной формы. Однако практически точность отождествления по черно-белым и цветным снимкам одинакова.

Таблица 3

Сравнение точности отождествления знаков различной формы на черно-белых и цветных снимках (стереокомпаратор «Цейсс-1818»)

Форма знака	Черно-белые снимки				Цветные снимки			
	m_x	m_y	m_c	m_n	m_x	m_y	m_c	m_h
Крест	± 9	± 8	± 12	± 8	± 8	∓ 9	± 12	∓ 8
Угол	9	8	12	10	9	10	14	10
Т	8	9	12	10	9	10	14	10
Квадрат	9	9	13	10	9	10	14	9
Среднее значение	9	9	12	10	9	10	14	9

Эксперимент 4. Выполнен по снимкам залета в масштабе 1 : 20 000 с использованием черно-белой (тип 15) и цветной (тип ЦН-3) аэропленок для сравнения точности отождествления различных контуров: I — маркировочные знаки; II — границы сельскохозяйственных угодий; III — пересечения троп и дорог. Измерения проводили два исполнителя на стереокомпараторе «Цейсс-1818». В каждой группе выбирали по 10 контуров, на каждый из которых и первый, и второй исполнители производил по 5 наведений измерительной маркой прибора. Результаты эксперимента сведены в табл. 4, из которой видим, что при одинаковой точности отождествления по высоте точность отождествления в плане будет больше на черно-белых снимках.

Таблица 4

Сравнение точности отождествления различных контуров на черно-белых и цветных аэроснимках (стереокомпаратор «Цейсс-1818»)

Тип контура	Черно-белые снимки				Цветные снимки			
	m_x	m_y	m_n	m_p	m_x	m_y	m_c	m_p
I	± 9	± 9	± 13	± 8	± 9	± 11	± 14	± 6
II	11	10	15	8	12	12	17	7
III	11	10	15	8	14	14	20	7
Среднее значение	10	10	14	8	12	12	17	7

Эксперимент 5. Поставлен по черно-белым (аэропленка тип 15) и спектрозональным (аэропленка тип СН-5) снимкам залета в масштабе 1:20 000 для сравнения точности измерений по черно-белым и спектрозональным снимкам в зависимости от типа контура. Измерения выполнены двумя исполнителями на стереопроекторе СПР-3 с использованием измерительных марок прибора разного цвета. По данным табл. 5 можно заключить, что точность измерений по черно-белым и спектрозональным снимкам как в плане, так и по высоте практически одинакова. Наблюдается некоторая зависимость точности измерений от цвета измерительной марки прибора. Например, при наблюдениях с использованием зеленой измерительной марки получены более точные результаты. Однако этот вопрос требует специального изучения.

Таблица 5

Сравнение точности измерений по черно-белым и спектрозональным снимкам в зависимости от типа контура и цвета измерительной марки

Тип контура	Черно-белые снимки				Спектрозональные снимки			
	m_x	m_y	m_c	m_h	m_x	m_y	m_c	m_h
Марка фиолетовая								
I	± 26	± 22	± 34	± 8	± 23	± 36	± 9	
II	29	21	36	9	30	27	40	9
III	32	25	40	10	28	28	40	9
Среднее	30	23	38	9	29	26	39	9
Марка зеленая								
I	21	17	27	8	23	17	28	7
II	25	22	33	8	25	21	33	9
III	26	24	35	8	26	24	37	8
Среднее	25	21	33	8	26	21	34	8
Марка желтая								
I	26	21	34	7	22	18	28	9
II	28	21	35	8	25	21	33	8
III	26	24	36	8	27	23	35	8
Среднее	27	22	35	8	25	21	33	8
Общее среднее	27	22	35	8	27	23	35	8

Эксперимент 6. Выполнен с использованием черно-белых (аэропленка тип 15) и спектрозональных (аэропленка тип СН-5) аэроснимков для сравнения точности пространственного фототриангулирования. Эксперимент проводили через три года

после аэрофотосъемки, что дало возможность выяснить степень влияния «текучести эмульсии» на точность фотограмметрических работ.

Для пространственного фототриангулирования было подобрано по два маршрута длиной по пять базисов фотографирования как черно-белых, так и спектрзональных снимков, покрывающих одну и ту же местность. Каждый маршрут обеспечивался 23 замаркированными планово-высотными опознаками, из которых 6 служило для внешнего ориентирования, а 17 избиралось в качестве контрольных точек.

Построение пространственных сетей выполнено разными исполнителями на приборах универсального типа СПР-3 и СД-3, на каждом из которых обработано в прямом и обратном направлениях по два черно-белых и спектрзональных маршрута (всего 16 маршрутов).

Фотограмметрические работы проводили в соответствии с существующими требованиями к пространственным фототриангуляционным сетям, построенным на универсальных приборах. Плановые сети строили графически, и точность, полученная по черно-белым и спектрзональным снимкам, была одинакова. Внешнее ориентирование высотных сетей выполнено по шести высотным опорным точкам. При этом не обнаружено значительного влияния систематических ошибок в построенных сетях.

Принимая разности высот, полученные из отметок точек при фотограмметрических построениях и из геодезических отметок тех же точек за истинные ошибки измерений (Δh), средние квадратические ошибки (m_h), характеризующие точность построения высотных сетей, вычисляли по формуле

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[\Delta h^2]}{n}}, \quad (2)$$

где n — количество полученных разностей высот точек.

В результате вычислений получены следующие средние квадратические ошибки определения высот точек. На СПР-3: по черно-белым снимкам $\pm 0,50$ м; по спектрзональным $\pm 0,48$ м. На СД-3 эти ошибки соответственно равны $\pm 0,40$ и $\pm 0,44$ м. Относительные ошибки определения высот точек находятся в пределах $1/4000$ — $1/5000$, что соответствует точности фототриангулирования на приборах указанных типов.

В данной работе принимало участие 10 человек, и все они отметили, что утомляемость при стереоскопических наблюдениях по цветным и спектрзональным снимкам меньше, чем по черно-белым.

Из сказанного выше можно сделать следующие выводы:

1. Точность фотограмметрического определения плановых координат и высот различных контуров по черно-белым, цветным и спектрзональным снимкам практически одинакова.

2. В связи с большей разрешающей способностью черно-белых аэрофотоснимков на них изображаются более мелкие детали, чем на цветных, однако на последних достаточно четко видны маркировочные знаки с относительным размером в 1,5—2,0 измерительной марки прибора, что обеспечивает высокую точность измерений, равную точности измерений по черно-белым снимкам.

3. В связи с меньшей утомляемостью при стереоскопических наблюдениях по цветным снимкам их использование может повысить производительность труда.

4. Не обнаружено влияния на точность фотограмметрических измерений так называемой «текучести эмульсии» цветных снимков.

5. Если на картографируемый район выполнена цветная или спектральная съемка, например, для специального дешифрирования, цветные снимки можно использовать для измерительных целей и для построения фототриангуляционных сетей уже в настоящее время. Со снижением стоимости цветного фотографирования использование цветных снимков для измерительных целей будет расширяться.

Работа поступила 20 ноября 1975 г. Рекомендована кафедрой аэрофотогеодезии Львовского политехнического института.