

УДК 528.44+528.46+528.74

*А. Л. ДОРОЖИНСКИЙ, О. В. ТУМСКАЯ,
Ю. В. ШКУРЧЕНКО, Ю. В. КОВАЛЬ***МЕТОДИКА АЭРОФОТОПРИВЯЗКИ
ПУНКТОВ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ
В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ**

Совершенствование существующей технологии и методики определения плановых координат и высот пунктов гравиметрических наблюдений (ПГН) является актуальной задачей, и особенно остро встал этот вопрос при производстве гравиметрической съемки в экстремальных условиях высокогорья Памира и Тянь-Шаня. Производственный опыт показывает, что наиболее часто высоты ПГН определяют барометрическим нивелированием [1], а плановые координаты находят по топографической карте из опознавания на ней ПГН. Наряду с положительными сторонами такая технология не может гарантировать стопроцентной надежности привязки, поскольку однообразие горного ландшафта и отсутствие четко выраженных контуров вносят в процесс опознавания элементы субъективизма, связанные с опытом, интуицией и знанием района работ исполнителем. Барометрическое нивелирование в горах (в отличие от равнинных районов) не всегда обеспечивает необходимую точность определения высот из-за нестабильности изобарической поверхности, требует значительных затрат времени и средств на производство наблюдений на опорных барометрических станциях и привязку их к опорной геодезической сети.

Эти объективные сложности послужили поводом к разработке метода аэрофотопривязки ПГН, основанного на двух главных реально существующих фактах: территория, на которой производится гравиметрическая съемка, ранее сфотографирована топографическими аэрофотоаппаратами, так что исполнитель располагает архивными аэрофотоснимками формата 18×18 см² или 30×30 см². Выполнять новую аэрофотосъемку нерентабельно; для перемещения бригады гравиметристов с пункта на пункт используется вертолет. Любой вид наземного транспорта практически неприемлем в сложных физико-географических условиях высокогорья.

Сущность предложенного метода аэрофотопривязки состоит в следующем. На вертолете устанавливают малоформатный фотоаппарат СШ-45 и фотографируют ПГН с высоты 100...150 м в то время, когда бригада находится на пункте. Одновременно с гравиметрическими наблюдениями производится оперативная (в течение 5...7 мин) маркировка выкладыванием знака правильной геометрической формы с цветом, максимально контра-

Технология работ по аэрофотопривязке ПГН

Вид работ	Результат	Исполнитель
Сбор архивных материалов (отчеты, топокарты, аэроснимки, фототеодолитные снимки, каталоги координат и высот пунктов Гос. геодезич. сети, материалы привязки снимков прошлых лет и др.)	Архивные материалы	Гравиметрическая партия (ГП) Топографо-маркшейдерская партия (ТМП)
Подготовка приборов и аппаратуры	Готовность технических средств к производству работ	ТМП ГП
Проектирование гравиметрической съемки	Проект на производство гравиметрической съемки	ГП
Проектирование блочной фототриангуляции и привязки снимков	Проект на полевые и камеральные работы	ТМП
Привязка аэрофотоснимков (геодезическим методом или фототеодолитной съемкой)	Координаты опознаков и оформленные фотоснимки	ТМП
Производство гравиметрической съемки	Размещение на местности маркировочного знака из бумаги, марли или др.	ГП
а) оперативная маркировка пунктов гравиметрической съемки (выполняется одновременно с п. «б»)	Журнал наблюдений: нанесенный на топокарту пункт съемки	ГП
б) снятие показаний гравиметров; опознавание точки стояния по карте	Фотопленка с заснятым пунктом гравиметрической съемки	ГП
в) фотографирование камерой СШ-45 с вертолета пункта гравиметрической съемки (вспомогательная съемка)	Проявленная фотопленка	ГП
г) фотолaborаторная обработка на полевой базе партии Дополнение проекта блочной фототриангуляции	Проект фототриангуляции с включенными пунктами гравиметрической съемки	ГП, ТМП
Измерительные фотограмметрические работы	Журналы измерений, перфоленга или магнитная лента при автоматической регистрации результатов измерений	ТМП
Подготовка данных для счета на ЭВМ	Заполненные стандартные документы	ГП
Вычисления по программе блочной фототриангуляции	Каталог координат и высот пунктов гравиметрической съемки	Вычислительный центр (ВЦ)
Анализ полученных результатов	Оценка качества работ	ГП
Аналоговое или аналитическое определение высот точек вокруг гравиметрического пункта для учета влияния рельефа на измеренное значение силы тяжести	Каталог координат и высот точек вокруг гравиметрического пункта	ГП ТМП

стирующим с подстилающей поверхностью. В камеральных условиях с такого вспомогательного снимка, полученного камерой СШ-45, ПГН переопознают на архивный (основной) снимок.

Поскольку фотокамера обеспечивает большой охват местности, а ПГН рекомендовано выбирать вблизи характерных контуров местности (отдельных камней, кустов арчи, изгибов ручьев, троп и т. п.), то переопознавание производится достаточно уверенно. В дальнейшем все пункты включают в блочную сеть фототриангуляции, развиваемую по следующим опорным точкам:

пунктам государственной геодезической сети при условии их надежного опознавания на архивных аэрофотоснимках;

планово-высотным опознакам прошлых лет (архивным опознакам);

контурным точкам, опознанным на топографической карте и основным аэрофотоснимкам.

В случае отсутствия этих опорных данных предусматривают работы по привязке снимков из расчета 4—5 опознаков на блок, состоящий из 40—50 снимков.

С учетом сказанного нами разработана технологическая схема метода, представленная в табл. 1. Основными исполнителями при типичной структуре территориального геологического управления являются гравиметрическая и топографо-маркшейдерская партии и вычислительный центр.

Для реализации предложенного метода используют технические средства по видам работ: проектирование блочной фототриангуляции (стереоскоп, лупа); привязка аэрофотоснимков (теодолит, нивелир, фототеодолит); гравиметрическая съемка (гравиметр); фотосъемка с вертолета (фотокамера СШ-45 с крепежным устройством и командным прибором); фотолабораторная обработка (бачок и химикаты для проявления любительской фотопленки формата 24×36 мм²); переопознавание маркировочного знака со вспомогательного на основной аэрофотоснимок (лупа, тонкая наколка); измерительные фотограмметрические работы (автоматизированный стереокомпаратор типа СКА-30 или Stecometer, автоматизированная система «Онега-2», стереокомпаратор 1818); вычислительные работы (ЭВМ класса ЕС-1033 и выше, среда ОС); определение высот точек местности вокруг ПГН для учета влияния рельефа на уклонение отвеса (любой стереофотограмметрический прибор универсального типа); транспортное средство и носитель фотокамеры (вертолет МИ-8).

Метод ориентирован на использование серийно выпускаемых технических средств, достаточно хорошо известных специалистам; исключение составляет, пожалуй, фотокамера СШ-45. Поэтому приведем ее основные характеристики:

П а р а м е т р ы о б ъ е к т и в а	
фокусное расстояние, мм	20
угол поля зрения, град	94
формат кадра, мм ²	24×36
относительное отверстие	1 : 5,6

диафрагма	1 : 5,6—1 : 16
Затвор	щелевой
Параметры выдержки, с	1/150, 1/200
Управление камерой	дистанционное
Мощность электромотора, Вт	15
Напряжение, В	27
Фотопленка	перфорированная
Светочувствительность, ед. ГОСТ	65... 130
Запас пленки в кассете, м	4
Масса камеры, кг	3

Стержневым вопросом всей методики является точное и качественное переопознавание маркировочного знака со вспомогательного на основной снимок. Прямого переноса здесь не может быть, ибо снимки обоих типов обычно разномасштабные и не составляют стереопару. Поэтому уверенный перенос осуществляется по косвенным признакам с использованием объектов-индикаторов (хорошо различимых на снимках изображений деревьев, кустов, крупных камней, изгибов ручьев) и характерных точек рельефа. Примеры такого переопознавания представлены на рисунке.

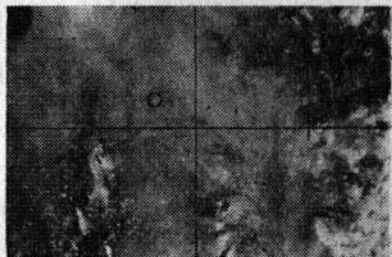
В качестве основного метода сгущения фотограмметрической сети используется блочная аэрофототриангуляция по методу связок [2]. Поскольку перед уравниванием блочной сети необходимо иметь данные, свободные от грубых ошибок и знать приближенные значения геодезических координат определяемых точек, предложена трехступенчатая процедура. На первой стадии строят одномаршрутные сети одним из известных методов [2, 3], причем в качестве опоры можно брать любые точки из вышеперечисленных типов (пункты государственной сети, опознаки прошлых лет и т. д.).

При отсутствии таковых каждый маршрут строят в произвольных масштабах и ориентировке. На втором этапе происходит объединение маршрутов по точкам, лежащим в зонах межмаршрутных перекрытий, так что после этого процесса получаем блочную сеть в фотограмметрической системе координат первого маршрута. Внешнее ориентирование блока и вычисление приближенных геодезических координат всех точек выполняется по известному алгоритму [3]. Поскольку на первых двух этапах в алгоритмы заложены контроли качества измеренных и опорных данных с отбраковкой ошибочных результатов, то при реализации третьего этапа — уравнивании сети по связкам — почти полностью исключается влияние грубых ошибок.

Реализация теории фототриангуляции осуществлена посредством пакета программ, обеспечивающего построение одиночной модели, маршрутной и блочной сети аэрофототриангуляции. Основным языком программирования — Фортран-IV. Программное обеспечение поддерживается операционной системой ОС при требуемом объеме оперативной памяти ЭВМ от 120 до 250 Кбайт. В дополнение к памяти прямого доступа, необходимой для поддержания на ВЦ операционной системы, пакет требует 10—15



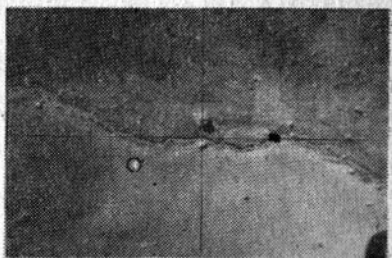
a



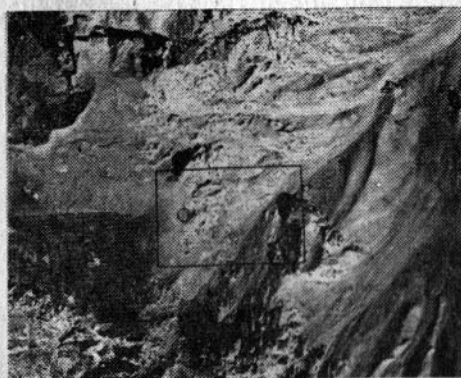
1



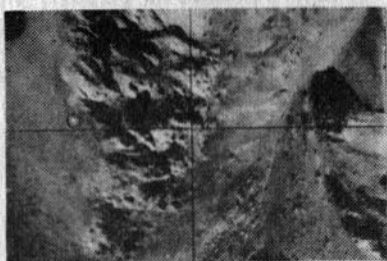
b



2



v



3

Переопознавание изображений гравиметрических пунктов со вспомогательных на архивные аэрофотоснимки:
пример 1 (*a*); пример 2 (*b*); пример 3 (*v*).

цилиндров для хранения библиотеки загрузочных модулей, 5—6 цилиндров для библиотеки данных, одну лентопротяжку для ввода результатов измерений снимков. При организации библиотеки данных корректировку отдельных ее разделов удобно выполнять с экрана алфавитно-цифрового дисплея, используя программы *JEC*, *VECTOR*, *PRIMUS* и др.

Пакет программ включает около 30 модулей и восемь подпрограмм, на основании которых созданы программы *AMAR 86* (построение одномаршрутной сети), *AMODEL* (уплотнение сети фототриангуляции в пределах одиночной модели), *AIT 001* (объединение маршрутных моделей), *AIT 002* (уравнивание блочной сети методом связей). Основные ограничения, связанные с объемом оперативной памяти для одиночной модели, маршрута и блока представлены в табл. 2. Отметим ряд узловых моментов, характеризующих данный пакет:

объем входной информации сокращен использованием «принципа умолчания»;

выбор необходимого варианта счета определяется автоматически заданным набором исходных данных;

возможна обработка результатов измерений на стереокомпараторах трех типов (стекометр, СКА-30, СК 1818);

предусмотрен предварительный контроль и смысловой анализ входной информации;

при работе программ поступает сигнальная информация о выявленных ошибках.

В 1985 г. на одном из производственных участков провели экспериментальные работы. Блок аэрофотоснимков состоял из пяти маршрутов различной протяженности от пяти до 18 стереопар; всего в блок включено 64 снимка; масштаб снимков 1 : 15000, $f=200$ мм. Аэрофотопривязка выполнена для 20 пунктов гравиметрической съемки. В сеть фототриангуляции включили контрольные точки трех групп: геодезические, координаты которых известны из геодезических работ; фотограмметрические, координаты которых получены из фототриангуляционных построений в крупных масштабах; барометрического нивелирования, плановые координаты которых сняты с карты масштаба 1 : 25000, а высоты получены баронивелированием. Для первых двух групп получены по 29 точкам средние квадратические ошибки $m_x=m_y=15$ м, $m_z=2,5$ м. Для третьей группы по 20 точкам получено $m_x=37$ м, $m_y=62$ м, $m_z=5,5$ м. Среди последних удалось обнаружить четыре точки с явными промахами в определении высот из баронивелирования порядка 8... 12 м.

Отметим, что полученные точностные показатели — далеко не предел точности фототриангуляции. Невысокая точность определения пространственных координат во многом объясняется ошибками опознавания пунктов государственной геодезической сети на архивных аэрофотоснимках. Тем не менее проведенный комплекс опытных работ по аэрофотопривязке пунктов гравиметрической съемки доказал жизнеспособность методики в це-

Основные характеристики пакета программ аэрофоториангуляции

Характеристики	Предельные значения	
	мини- мальные	макси- мальные
Одиночная модель		
Количество меток в паре	4	4
Количество точек фототриангуляции	6	30
Количество точек уплотнения сети	0	1000
Количество опорных точек	3	20
Маршрут		
Число стереопар	2	39
Количество меток в стереопаре	4	4
Количество точек в стереопаре	6	500
Количество связующих точек между стереопарами	1	100
Количество точек (включая метки) в маршруте	20	1000
Количество опорных и контрольных точек	4	100
Количество опорных точек	4	20
Блок		
Число маршрутов в блоке	1	30
Число стереопар в маршруте	2	39
Число измеренных точек в маршруте	12	1000
Число связующих точек в стереопаре	3	100
Число опорных и контрольных точек	4	300
Число опорных точек	4	100
Общее количество неизвестных в блоке	54	1000
Поперечное перекрытие, %	20	60

лом. Полученные точностные показатели характеризуют реальную точность в сложнейших условиях высокогорья; доказана возможность использования метода при гравиметрической съемке масштаба 1 : 200000 с сечением изоаномал 2 мгал. Расчеты показали, что замена баронивелирования аэрофотопривязкой ПГН дает экономический эффект свыше 10 руб. на 1 км² или 80... 100 руб. на один ПГН.

1. Инструкция по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ. М., 1984. 2. Лобанов А. Н. Фотограмметрия. М., 1984. 3. Финковский В. Я., Дорожинский А. Л. Методы и алгоритмы создания цифровой модели рельефа для машинного проектирования мелиоративных систем. Львов, 1980.

Статья поступила в редколлегию 14. 04. 87