Министерство науки, высшей школы и технической политики
Российской Федерации

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Ю. А. ФЕДОРОВ

ПРАКТИКУМ ПО АЭРОФОТОГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СУШИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
1992

УДК 556.02

Федоров Ю. А. **Практикум по аэрофотогеодезическим исследованиям водных объектов суши.** Учебное пособие дл вузов. Спб.: изд. РГГМИ. 1992. С. 86.

Рецензенты: кафедра картографии С.-Петербургского государственного университета (зав. кафедрой — проф. Смирнов Л. Е.), проф. А. С. Кучко (Московский инженерно-строительный заочный институт).

Практикум содержит лабораторные работы и теоретический материал к ним. Излагаются методики фотограмметрической оценки качества аэроснимков, производства стереоскопических измерений на аэроснимках и гидрографического дешифрирования. Освещены методы и приемы фотограмметрической обработки телевизионных спутниковых изображений и их использования в оперативной практике.

Практикум предназначен для студентов гидрометеорологических институтов и слушателей ИПК по специальности «Гидрология суши». Он может быть полезным студентам метеорологической и океанологической специальностей.

Ил. 24. Табл. 5. Библ. 21.

УДК 556.02 Ф 1003

©Российский государственный гидрометеорологический институт (РГГМИ), 1992 г.

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА
Л-д 195196 Малоохтинский пр., 98

ПРЕДИСЛОВИЕ

В курсе «Аэрофотогеодезические исследования водных объектов суши» студенты-гидрологи изучают вопросы получения, анализа и практического использования материалов аэро- и космических съемок местности в гидрологических целях.

Практикум охватывает комплекс лабораторных работ, выполняемых студентами по этому курсу. В нем кратко изложены теоретические основы этих работ в тесной связи с главным содержанием — методами и приемами камеральной обработки и дешифрирования аэрокосмических снимков местности.

В практикуме аэрофотогеодезическим методам дается более широкое толкование с включением нефотографических методов, так как помимо аэрофотосъемочных процессов в нем рассматриваются вопросы получения, обработки и дешифрирования материалов космических фотосъемок, тепловых, телевизионных и других видов съемок. Суть работы выходит за рамки «аэрофото...» и не является чисто «геодезическим исследованием». Скорее речь идет об аэрокосмических методах исследования водных объектов, и при чтении практикума это будет отчетливо видно.

При изложении материала автором сохранена последовательность, в которой читается теоретический курс. В конце каждого раздела практикума приводятся вопросы для самопроверки знаний, которые необходимы студентам для самостоятельного выполнения лабораторных работ в рамках программы теоретического курса.

Автор выражает искреннюю признательность заслуженному деятелю науки РСФСР, доктору географических наук профессору С. А. Чечкину за ряд ценных замечаний, сделанных им при редактировании рукописи. Он благодарен рецензентам: коллективу кафедры картографии Ленинградского государственного университета (зав. кафедрой — доктор географических наук профессор Л. Е. Смирнов) и доктору технических наук профессору А. С. Кучко — за предложения по улучшению содержания практикума.

ВВЕДЕНИЕ

Аэрофотогеодезия — это научная дисциплина, изучающая и разрабатывающая методы и средства создания топографических и специальных карт по материалам аэрофотосъемки.

В предмет аэрофотогеодезии входят:

— определение технических требований к фотографическим материалам и аэрофотосъемочной аппаратуре, предназначенной для получения аэроснимков в целях картографирования;
— исследование геометрических свойств отдельного аэроснимка и стереоскопической пары;
— разработка способов создания по аэроснимкам оригиналов топографических карт и фотопланов;
— изучение вопросов определения минимального количества точек полевой геодезической подготовки и их наивыгоднейшего размещения применительно к способу обработки аэроснимков или развития фототриангуляции с применением ЭВМ;
— изучение технических средств и методов аэрокосмических съемок для получения топографических и специальных карт или выполнения отдельных процессов обработки снимков;
— разработка и совершенствование методов полевого и камерального дешифрования аэроснимков.

Применительно к гидрологическим задачам аэро- и космическая информация эффективно используется при определении размеров водных объектов суши (ширины, длины, площади) и гидравлических характеристик речных потоков (уклон, направление и скорость течения, расход воды и др.) [18]. Аэрокосмические снимки позволяют выполнить стереофотограмметрические измерения глубин водоемов, превышений между различными точками поверхности водосбора, высот обрывов, бровок и т. д. Спутниковые телевизионные изображения широко применяются в оперативной практике гидрометеорологической службы, в частности: в исследованиях характера затопления и опорожнения речных пойм во время паводков и половодий, при оценке ледовой обстановки на морях и крупных внутренних водоемах, при исследованиях динамики снежного покрова на водосборах рек и озер.

Особое значение приобретают аэрокосмические исследования в области оценки степени загрязнения водных объектов и инвентаризации источников загрязнений. В этом плане неоценимую помощь исследователю оказывают многозональные космические фотоснимки, позволяющие изучать разноглубинные слои замутненных вод, благодаря изображению толщи водных масс различной мощности, так как глубина проникновения солнечных лучей в воду для различных участков спектра неодинакова. Еще более эффективны

для определения степени загрязнения водных объектов суши по сравнению с многозональными космическими фотоизображениями тепловые аэроснимки. На тепловых аэроснимках четко фиксируются устойчивые температурные контрасты природных холодных и более теплых сточных вод. Это позволяет установить источники загрязнения водных объектов, траектории движения загрязненных взвесей и границы их распространения.

Перечисленные исследования водных объектов суши выполняются на основе дешифрирования аэро- и космических снимков при широком использовании стереоскопических приборов.

Применение аэрофотогеодезических методов в гидрологии значительно облегчает и сокращает объемы полевых экспедиционных работ при гляциологических исследованиях труднодоступных горных районов материков, Арктики и Антарктиды, при изучении крупных болотных массивов, шельфовых мелководий и др. Одновременно повышается и качество результатов исследований за счет однородности и объективности фотоинформации аэрокосмических снимков. Аэрофотогеодезические методы инженерных изысканий обеспечивают более высокую качественную ступень технологии проектирования гидротехнических сооружений на основе использования аэроснимков, электронных вычислительных машин и автоматизированного стереофотограмметрического оборудования. Этот процесс постоянно совершенствуется за счет разработок в области автоматизации стереоскопических измерений и дешифрирования объектов местности.

Приобретение практических навыков работы с аэро- и космическими снимками, производства стереоскопических измерений на аэроснимках и специального (тематического) дешифрирования водных объектов и явлений в процессе лабораторных работ является неотъемлемой частью общей подготовки высококвалифицированного специалиста-гидролога.

1. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

1.1. Характеристика аэрофотосъемок местности

Аэрофотосъемкой называется процесс воздушного фотографирования земной поверхности с помощью специальных аэрофотоаппаратов (АФА), установленных на самолетах или других носителях съемочной аппаратуры. В настоящее время в СССР аэрофотосъемка в масштабах 1 : 10000÷1 : 50000 выполняется с самолетов АН-28 ФК, АН-30, в масштабах 1 : 100 000÷1 : 150 000 — с самолета ТУ-134. Космическая фотосъемка производится с орбитальных космических станций «Мир», искусственных спутников Земли (ИСЗ) типа «Космос», «Метеор» и др. Для производства крупномасштабной съемки в масштабах 1 : 1500÷1 : 8000 используются самолет АН-2, вертолеты КА-26, МИ-8 и др., а в последние годы и методельтапланы (МДП) с величиной полетной нагрузки до 170÷190 кг («Фрегат», МДП-А и др.).

Как правило, аэрофотосъемка выполняется кадровыми АФА, принципиальная схема устройства которых показана на рис. 1.1. Стабилизацию оптической оси АФА в направлении вертикали с погрешностью ±25′ обеспечивает гиростабилизирующая установка ГУТ-3, входящая в комплект аэрофотосъемочного оборудования [1, 10]. Аэрофотосъемка с отклонением оптической оси АФА от вертикали до 3° назы-

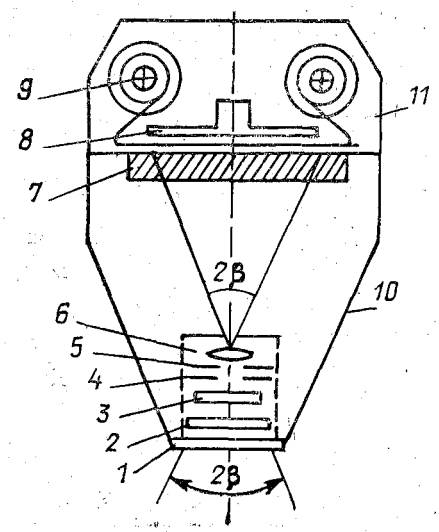


Рис. 1.1. Принципиальная схема устройства кадрового аэрофотоаппарата: *1* — защитное стекло; *2* — компенсатор сдвига изображения; *3* — светофильтр; *4* — диафрагма; *5* — центральный затвор; *6* — объектив; *7* — предметное стекло; *8* — прижимной стол (стекло); *9* — катушка с аэропленкой; *10* — корпус; *11* — кассета. 2β — угол поля изображения объектива АФА

вается плановой. Если задать этот угол более 3°, то аэрофотосъемка будет называться перспективной.

По типу используемой аппаратуры аэрофотоаппараты подразделяются на короткофокусные (фокусное расстояние $f_к$ менее 150 мм, среднефокусные ($f_к$<350 мм) и длиннофокусные ($f_к$<350 мм). Технические характеристики отечественных аэрофотоаппаратов, используемых в аэрофотосъемочных подразделениях нашей страны, приведены в табл. 1.1.

Применяемые у нас в стране для дистанционного зондирования Земли с ИСЗ «Космос» фотоаппараты КФА-200 с форматом кадра 18×18 см и КФА-1000 с форматом кадра 30×30 см пополнились недавно новыми комплектами аппаратов МК-4, в состав которых входят фотоаппараты СА-М с $f_к$=300 мм и форматом кадра 18×18 см, предназначенные для многозонального фотографирования с разрешением на местности 6÷8 м.

В настоящее время для исследования природных ресурсов из космоса разработаны также новые отечественные фотоаппараты КАП-100 и КАП-350 с фокусными расстояниями объективов, равными соответственно 100 и 350 мм, а для производства аэрофотосъемки — АФА-ТК-14/18 с относительным отверстием объектива 1 : 4,5 и АФА-ТК-25/18 с относительным отверстием объектива 1 : 4.

По характеру используемых светочувствительных материалов аэрофотосъемка подразделяется на черно-белую, цветную и спектрозональную. Наиболее широко применяется на практике черно-белая аэрокосмическая съемка. Она основана на регистрации электромагнитного излучения Земли в видимой и ближайших невидимых ультрафиолетовой и инфракрасной зонах спектра. Цветная аэрофотосъемка используется в выборочном порядке, когда определяющим фактором является не стоимость аэрофотосъемки, а полнота получения информации о местности. Она применяется для исследования наиболее важных районов и решения наиболее сложных задач изучения территории. Спектрозональная аэрофотосъемка позволяет получить изображение объектов не в натуральных, а в условных цветах. В гидрологии спектрозональная аэрофотосъемка может быть использована для подробного изучения характеристик древостоя на водосборах и определения участков различной степени увлажненности земной поверхности, обнаружения водотоков и мелких озер на болотах и в лесах. Ассортимент отечественных аэрофотопленок для производства аэро- и космических съемок местности достаточно широк. В настоящее время выпускаются аэрофотопленки со светочувствительностью от 100 до 4500 ед. ГОСТ, коэффициентом контрастности от 0,3 до 2,6, разрешающей способностью от 60 до 250 лин/мм.

Технические характеристики некоторых типов аэрофотопленок (черно-белых, цветных и спектрозональных) приведены в табл. 1.2.

Практика выполнения черно-белых аэрофотосъемок показывает, что фотоизображение дна рек, озер, водохранилищ и шельфовых зон морей получается более четким на глубине 10 м и более при

Таблица 1.1

Технические характеристики отечественных аэрофотоаппаратов

Тип АФА	Тип объектива АФА	$f_к$, мм	Угол поля зрения, градус	Относительное отверстие объектива	Разрешающая способность системы объектив — аэропленка центр/край, мкм	Максимальная дисторсия объектива, мкм	Диапазон выдержек, с	Формат кадра, см
АФА-ТЭС-5М	Руссар-62	50	136,5	1 : 9	50/15*	100	1/50—1/450	18×18
АФА-ТЭ-70	Руссар-29	70	120	1 : 9	35/15	25	1/70—1/300	18×18
АФА-ТЭС-7М	Руссар-80	70	120	1 : 6,8	55/25*	10	1/50—1/450	18×18
АФА-ТЭ-100М	Руссар-44	100	103	1 : 6,8	37/18	20	1/80—1/240	18×18
АФА-ТЭС-10М	Руссар-71	100	103	1 : 6,8	60/30*	10	1/60—1/700	18×18
ТАФА-10	Ортогон-5М	140	103	1 : 6,8	55/15*	15	1/75—1/1000	18×18
АФА-ТЭ-140	Руссар-43	140	85	1 : 6,8	37/22	25	1/70—1/300	18×18
КАТЭ-140	Руссар-43	100	85	1 : 6,8	40/25	5	1/70—1/300	18×18
АФА-ТЭ-200	Руссар-Плазмат	200	65	1 : 6,3	40/25	25	1/70—1/300	18×18
АФА-ТЭ-350	Тафар-3	350	41	1 : 6	32/15	30	1/75—1/200	18×18
АФА-ТЭ-35**	Руссар-68	350	40	1 : 7	60/35*	10	1/80—1/850	18×18
МКФ-6М	Пинатар-4/125	125	20,5	1 : 4,5	150/80	3	1/100—1/1000	5,6×8,1

* Разрешающая способность объективов новых отечественных аэрофотоаппаратов определена с использованием аэропленки тип-42.

** Новая серия аэрофотоаппаратов ТЭС-10М, ТЭ-35 обозначается с 1990 г. соответственно АФА-ТК-10/18 с устройством компенсации сдвига изображения и АФА-ТЭА-35 (топографические, электрические, автоматические).

Таблица 1.2

Характеристика некоторых отечественных аэрофотопленок

Технические параметры	Тип аэрофотопленок									
	черно-белая								цветная	спектрозональная
	тип-22	тип-24	тип-25	тип-28	тип-29	тип-30	тип-33	АС-1	ЦН-3	СН-6
Светочувствительность (ед. ГОСТ)	1000	4500	400	170	3000	800	400	1000	120	300
Коэффициент контрастности	1,6—2,1	1,6	1,5—2,1	0,3	1,7—2,1	1,9	1,75	1,5—2,1	1,2—1,6	1,7—2,6
Плотность вуали	0,20	0,30	0,12	0,10	0,26	0,05	0,10	0,20	0,30	0,30
Фотографическая широта	0,9	0,7	0,9	0,9	0,75	1,05	0,9	0,9	—	—
Разрешающая способность, $мм^{-1}$	130	65	155	230	68	155	155	63	58	58
Толщина подложки, мкм	—	170	90	70	170	—	—	145	170	170
Время проявления, мин	9	7	8	—	6—9	9	—	6—8	—	13
Рекомендуемый проявитель	УП	АСП-3М	Н-1	УП	АСП-3М	УП	АСП-20	УП-2	ЦПП-1	ЦПП

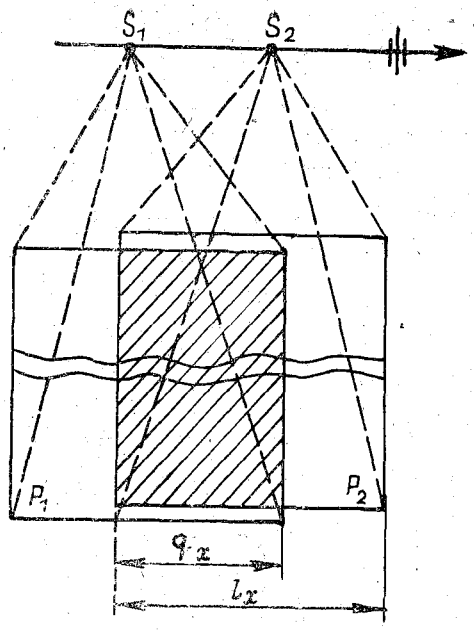


Рис. 1.2. Продольное перекрытие аэроснимков. Стрелка на прямой линии — направление полета самолета; двойная извилистая линия — изображение реки на аэроснимках; пунктирная линия — проектирующие лучи, проведенные из центров проектирования S_1 и S_2; P_1 и P_2 — смежные на аэрофотосъемочном маршруте аэроснимки, перекрывающиеся между собой; q_x — размер перекрывающихся частей аэроснимков вдоль аэрофотосъемочного маршрута; l_x — размер стороны аэроснимка в продольном направлении. Заштрихованная площадь — продольное перекрытие аэроснимков

использовании изохроматической аэропленки АС-1. Она имеет максимальную чувствительность в зеленой зоне спектра, т. е. в той зоне, в которой вода имеет минимум ослабления солнечного света, проникающего в ее толщу.

По количеству и взаимному расположению аэроснимков различают одинарную, маршрутную и площадную (многомаршрутную) аэрофотосъемку. Первая из них выполняется при съемке незначительных участков земной поверхности, например, местоположения гидрологического поста, когда интересующий объект размещается на одиночном аэроснимке.

Маршрутная аэрофотосъемка выполняется вдоль вытянутых объектов (рек, каналов, береговой линии морей и т. д.). Она может быть проложена в виде прямолинейных, криволинейных или ломаных маршрутов. При этом каждый последующий аэроснимок перекрывает часть предыдущего (рис. 1.2). Отношение площади, сфотографированной на смежных снимках, к площади, изображенной на каждом отдельном снимке, называется продольным перекрытием аэроснимков (q_x). Оно задается в соответствии с требованиями последующей фотограмметрической обработки аэроснимков и выражается в процентах. Обычно продольное перекрытие аэроснимков задается равным 60 %.

Площадная аэрофотосъемка выполняется с целью исследования значительных по площади участков земной поверх-

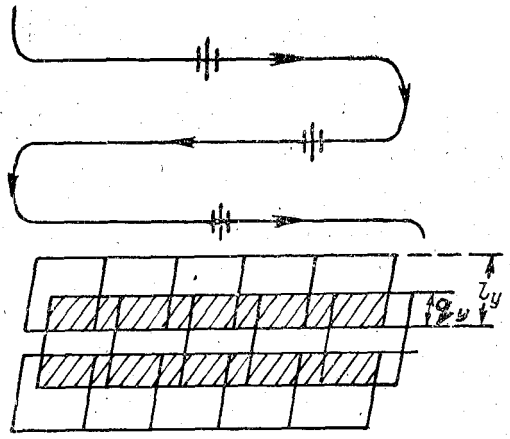


Рис. 1.3. Поперечное перекрытие аэроснимков. Стрелка на сплошной линии — направление полета самолета; q_y — размер части аэроснимка, перекрытой аэроснимком соседнего маршрута; l_y — размер стороны аэроснимка в поперечном направлении; заштрихованные площади — поперечное перекрытие смежных аэрофотосъемочных маршрутов (аэроснимков)

ности и водных объектов: крупных болотных массивов, водохранилищ, озер, водосборов рек и озер. В этом случае смежные аэрофотосъемочные маршруты, прокладываемые параллельно друг другу, также имеют перекрытие между собой, называемое поперечным перекрытием аэроснимков (q_y) (рис. 1.3). Обычно оно задается равным 30 %—40 %.

Аэрофотосъемочные работы выполняются специализированными предприятиями (авиаотрядами) на основании договоров с заинтересованными организациями. Эти предприятия сдают «Заказчикам» готовую продукцию в виде аэронегативов, контактных фотоотпечатков, репродукций накидных монтажей, фотосхем и другой документации. В виде исключения на договорных условиях могут предоставляться самолеты и вертолеты для выполнения полетов, во время которых аэрофотосъемка выполняется силами и средствами арендующей организации.

1.2. Расчет технических параметров аэрофотосъемки речных бассейнов

Кроме величин продольного и поперечного перекрытий аэроснимков в зависимости от цели планируемых гидрологических исследований рассчитывается масштаб фотографирования, определяются тип АФА и фокусное расстояние объектива съемочной камеры. Установлено, что объект воспринимается на аэроснимке, если его размер при любом контрасте более 0,1 мм, т. е. размера точки, а контраст при любом размере не меньше 0,06 (практически до 0,10) [4]. Масштаб плановой аэрофотосъемки в данном случае определяется размерами опознаваемого гидрографического объекта с учетом разрешающей способности фотоизображения и тонового контраста изображения объекта, т. е. разности оптиче-

ских плотностей объекта и фона. Соотношение этих факторов выражается зависимостью [17]

$$\frac{1}{m} \geqslant \frac{1}{2A \cdot R \cdot \sqrt{\Delta D}}, \qquad (1.1)$$

где $\frac{1}{m}$ — масштаб аэрофотосъемки; A — размер распознаваемого объекта на местности, м; R — разрешающая способность аэроснимка, мм$^{-1}$; ΔD — тоновый контраст изображения объекта.

Пример: Размер сруба колодца в натуре составляет 1 м×1 м, средняя разрешающая способность аэроснимка равна 25 мм$^{-1}$, тоновый контраст колодца с окружающим фоном на аэроснимке равен 0,2. Определить минимально допустимый масштаб аэрофотосъемки. Для данных конкретных условий находим:

$$\frac{1}{m} \geqslant \frac{1}{2 \cdot 1000 \cdot 25\sqrt{2}} \geqslant \frac{1}{22500},$$

т. е. масштаб фотографирования должен быть не мельче, чем 1 : 22 500.

Если планируется производство маршрутной аэрофотосъемки вдоль реки с целью последующих измерений на аэроснимках ее ширины, то в этом случае подход к определению минимального масштаба аэрофотосъемки несколько иной. Он определяется задаваемой точностью результата измерений, графической точностью измерения длины отрезка на аэроснимке и шириной водотока. Для горизонтального аэроснимка (рис. 1.4) можно записать:

$$\frac{1}{m} = \frac{ab}{AB} = \frac{f_к}{H_ф}, \qquad (1.2)$$

где $\frac{1}{m}$ — масштаб горизонтального аэроснимка; ab — длина отрезка на аэроснимке, мм; AB — длина соответствующего отрезка на местности, м; $H_ф$ — высота фотографирования, м.

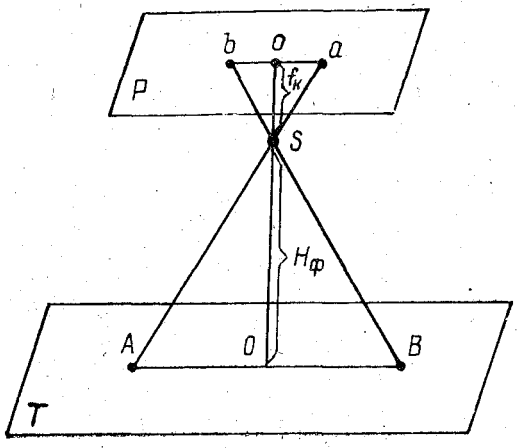


Рис. 1.4. Схема горизонтального снимка: P — плоскость горизонтального снимка; T — плоскость горизонтального участка местности; S — центр проектирования; AB — произвольный отрезок на местности; ab — соответствующий отрезок на аэроснимке; SO — вертикальная оптическая ось АФА

Примем графическую точность измерений длин отрезков на аэроснимке равной графической точности чертежа, т. е. 0,2 мм, а допустимую погрешность определения ширины водотока равной ±5 %. Тогда измерение ширины реки с требуемой точностью можно выполнить лишь в том случае, когда изображение русла реки на аэроснимке будет по ширине не менее 4 мм. Следовательно, такие измерения для рек шириной 20 м возможны на аэроснимках масштабов не мельче 1 : 5 000, для рек шириной 50 м — не мельче 1 : 12 500, для рек шириной 100 м — не мельче 1 : 25 000 и т. д. В соответствии с этим устанавливается минимальный масштаб аэрофотосъемки.

Измерения больших по протяженности водных объектов, например, длин рек или каналов, как правило, производят на фотопланах, смонтированных из трансформированных аэроснимков, приведенных к одному масштабу и исправленных за наклон оптической оси АФА в момент фотографирования. Точность монтажа аэроснимков по опорным точкам допускается ±0,5 мм. С учетом погрешности собственно измерений средняя ошибка измерения длины реки на фотоплане составит ±0,6÷0,7 мм. Если допустить, что абсолютная погрешность измерения длины реки или канала на фотоплане не должна превышать, например, ±10 м, то масштаб фотоплана в данном случае не должен быть мельче 1 : 15 000.

Аэрофотосъемка для целей изготовления фотопланов на равнинные районы производится в 2,5—3 раза мельче масштаба создаваемых фотопланов, что обеспечивает требуемую точность монтажа увеличенных аэроснимков. Для нашего примера масштаб аэрофотосъемки следует применить в пределах 1 : 30 000÷1 : 40 000.

Во всех приведенных примерах рассмотрены случаи измерения водных объектов в плане, но не по высоте. В целях сведения к минимуму искажений в положениях точек на аэроснимке за влияние рельефа местности используют длиннофокусные АФА. При аэрофотосъемке равнинной и всхолмленной местности применяются АФА с $f_к = 200$ и 350 мм, для горных районов — с $f_к = 140$ и 200 мм, устанавливаемые на космических кораблях и ИСЗ. Формула (1.2) показывает, что увеличение фокусного расстояния объективов АФА сопровождается увеличением высоты фотографирования для одного и того же масштаба аэрофотосъемки.

В практике аэрофотогеодезических исследований водных объектов суши часто требуется производить стереофотограмметрические измерения глубин водоемов, определения высот бровок, обрывов речных русел, превышений между точками местности и уклонов поверхностей водосборов.

Важнейшими факторами, влияющими на точность стереоскопических измерений превышений точек по аэроснимкам, являются масштаб аэрофотосъемки, высота фотографирования, фокусное расстояние объектива АФА, характер рельефа местности, степень экранирования поверхности водосборов растительным покровом.

Обычно принимается, что чем крупнее масштаб аэрофотосъемки и чем меньше значение фокусного расстояния объектива АФА, тем выше точность определения высот точек поверхности речных водосборов. Этот масштаб, в основном, в 1,5—2,5 раза крупнее масштаба аэрофотосъемки, выполняемой для целей изготовления фотопланов.

Необходимо отметить, что при расчете параметров аэрофотосъемки высота фотографирования является исходным приоритетным параметром, а не производным, если по аэроснимкам определяются превышения точек местности и высоты объектов.

В настоящее время реальная точность стереофотограмметрических измерений превышений точек по аэроснимкам масштаба 1 : 10000, выполненным АФА ТЭС-7М и АФА ТЭС-10М, для открытых равнинных и всхолмленных районов составляет соответственно $1/6000H_ф$ и $1/5000H_ф$, что подтверждено многочисленными экспериментальными данными. Средние расхождения превышений, полученных по стереофотограмметрическим измерениям и полевым геодезическим данным из ходов технического нивелирования, составили 17—20 см. Для залесенных равнинных районов точность определения превышений точек по весенним аэроснимкам в масштабах 1 : 12000, 1 : 14000 и 1 : 18000, полученным АФА ТЭС-10М, оказалась примерно одинаковой и равной $1/2000H_ф$—$1/3000H_ф$. При этом увеличение масштаба с 1 : 18000 до 1 : 12000 не повысило точности определения превышений. Средние ошибки стереофотограмметрического определения превышений, проверенных в полевых условиях геодезическими методами, составили для масштаба 1 : 18000 — 0,58 м, а для масштаба 1 : 12000 — 0,62 м [19].

В предгорных и горных районах с абсолютными высотами 500—2000 м необходимо увеличивать высоту фотографирования. В этом случае рекомендуются масштабы аэрофотосъемки: 1 : 60000÷1 : 70000 АФА с $f_к$=70 мм для открытых водосборов и 1 : 50000 АФА с $f_к$=100 мм — для закрытых. Аэрофотосъемка в обоих вариантах выполняется с высоты около 5000 м, а точность стереофотограмметрических измерений превышений по аэроснимкам характеризуется величиной порядка ±1,0 м для открытых водосборов и ±2,0 м — для закрытых.

В зависимости от характера расчлененности рельефа местности аэрофотосъемка для целей стереофотограмметрических измерений превышений точек местности производится короткофокусными аэрофотоаппаратами с $f_к$=50 мм, $f_к$=70 мм и $f_к$=100 мм. Например, масштаб аэрофотосъемки с высоты 1400 м, выполненной АФА с $f_к$=70 мм, будет равен 1 : 20000. Если использовать АФА с $f_к$=100 мм, то масштаб фотографирования должен быть крупнее (1 : 14 000).

1.3. Фотограмметрические требования к аэрофотосъемочным работам

Поскольку от качества материалов аэрофотосъемок во многом зависит точность измерительных операций на аэроснимках, полнота и достоверность результатов дешифрирования объектов местности, к аэрофотосъемочным работам предъявляются специальные технические требования. Соблюдение этих требований контролируется при фотографической и фотограмметрической оценках качества аэроснимков.

Фотографическая оценка качества аэроснимков производится по сенситометрическим показателям: величине плотности вуали, минимальной и максимальной плотностям, коэффициенту контрастности и фотоизображения. Они должны быть в пределах нормативных допусков. На аэроснимках не должны иметь места изображения облаков и теней от них, а также царапины, заломы, пятна, ореолы, электроразряды и т. п.

Фотограмметрические требования к аэрофотосъемочным работам заключаются в следующем [13, 17]:

— фотограмметрическая дисторсия объективов АФА-ТЭА-7, АФА-ТЭА-10, и АФА-ТЭА-35 не должна быть более 0,01 мм;

— изменение высоты полета в пределах маршрута аэрофотосъемки не должно превышать ±50 м;

— отклонение маршрутов аэрофотосъемки от заданной линии не должно быть более 15 мм в масштабе аэроснимка;

— непрямолинейность съемочных маршрутов не должна быть более 3 %;

— непараллельность базиса фотографирования сторонам аэроснимка не должна превышать 5°;

— продольное перекрытие аэроснимков не должно быть меньше 56 %, поперечное — меньше 17 %.

При наличии фотограмметрической дисторсии объектива АФА на аэроснимке происходит искривление прямых линий, принимающих выпуклый или вогнутый по отношению к центру аэроснимка вид, в зависимости от того, отрицательна или положительна дисторсия. Кроме того, расстояния от центра снимка до некоторой точки фотоизображения будут измерены с некоторой систематической погрешностью, которая не пропорциональна расстоянию. Если величины этих погрешностей превосходят допустимую ошибку измерений на аэроснимке, то их необходимо учитывать и исключать.

Величину дисторсии объектива АФА для различных зон аэроснимка обычно находят при определении элементов внутреннего ориентирования аэроснимка [9]. Они определяют положение аэроснимка относительно центра проектирования. Если из центра проектирования опустить перпендикуляр на плоскость прикладной рамки АФА (аэронегатива), то основание этого перпендикуляра будет называться главной точкой аэроснимка, а длина перпенди-

куляра — фокусным расстоянием объектива АФА. Координаты главной точки x_0 и y_0 в системе координат снимка и значение фокусного расстояния камеры являются элементами внутреннего ориентирования аэроснимка.

Определение элементов внутреннего ориентирования и дисторсии объектива выполняют на специальной установке — оптической скамье, состоящей из зрительной трубы, измерительной сетки и отсчетного приспособления в виде горизонтального измерительного круга (лимба) и микроскоп-микрометров. Измерения выполняют не только по осям xx и yy аэроснимка, но и по обеим его диагоналям. Поэтому различают дисторсию радиальную и тангенциальную. Вычисленные значения радиальной и тангенциальной дисторсии записывают в паспорт АФА.

Влияние дистории объектива можно исключить при обработке аэроснимков на стереофотограмметрических приборах универсального типа, используя принцип обратимости проектирующих лучей, существовавших в момент фотографирования.

Изменение высоты полета в пределах аэросъемочного маршрута контролируется с помощью статограммы статоскопа, фиксирующего превышение между соседними центрами проектирования (концами базиса фотографирования).

При нормальной работе прибора на статограмме имеется средняя прямая линия, записывающая его неработающим коленом и являющаяся осью симметрии. На ней точками отмечаются моменты экспозиций. Кроме того, имеются две симметричные кривые, записываемые мениксами работающего колена статоскопа. При отклонении кривой от средней линии больше предела происходит переключение кранов, в результате чего работающее и неработающее колена прибора меняются ролями, а кривая продолжается далее от оси симметрии (рис. 1.5).

Для определения изменения высоты полета между двумя аэроснимками m и n маршрута (аэроснимок m предшествует аэроснимку n) берутся отсчеты C_m и C_n по статограмме, соответствующие этим аэроснимкам, а также измеряются величины всех расположенных между ними переключений кранов прибора (рис. 1.5).

Отсчетом по статограмме называется расстояние, измеренное в мм по перпендикуляру к оси симметрии между кривыми линиями. Отсчет считается положительным, если прерывистая кривая

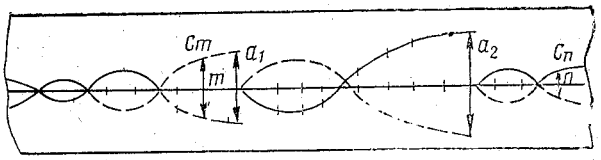


Рис. 1.5. Образец статограммы: C_m, C_n — отсчеты на статограмме, соответствующие аэроснимкам m и n; a_1, a_2 — расстояния между кривыми по перпендикуляру в момент переключения кранов статоскопа

лежит выше оси симметрии, и отрицательным — если она расположена ниже оси симметрии. При этом статограмма рассматривается со стороны, на которую нанесена эмульсия, а направление полета на ней — слева направо.

Величина переключения a равна расстоянию, измеренному в мм по перпендикуляру между концами кривых в момент переключения. Знак величины переключения определяется так же, как и знак отсчета.

Изменение высоты полета между двумя аэроснимками, выраженное в метрах, вычисляется по формуле [13]

$$\Delta h_{n-m} = K(C_n - C_m + \Sigma a), \tag{1.3}$$

где K — коэффициент, зависящий от высоты полета и увеличения регистрационной камеры, Σa — алгебраическая сумма величин переключений между аэроснимками.

Для определения колебаний высоты полета на маршруте выбираются точки, соответствующие самому высокому и самому низкому положению кривой. При этом, если имеются переключения кранов, то при вычислении колебаний высоты по формуле (1.3) из последующего (по маршруту) отсчета вычитается предшествующий. Значения K приводятся в специальной таблице [13].

Контроль прямолинейности съемочных маршрутов и отклонения их от заданной линии производится по накидным монтажам аэроснимков на весь съемочный участок (равнинный район) или по накидным монтажам отдельных маршрутов (горный район). Накидной монтаж аэроснимков выполняется на больших деревянных щитах, на которых конторскими кнопками крепятся аэроснимки, смонтированные друг на друга с учетом их продольного и поперечного перекрытий.

Центры начального и конечного аэроснимков маршрута соединяются прямой линией (натягивается нить) и измеряется максимальная величина отклонения маршрута от центра наиболее удаленного аэроснимка до замыкающей линии. Если линия центров плавная, без заметных искривлений, то для всего маршрута вычисляется величина отклонения ξ по формуле

$$\xi = \frac{h}{l} \cdot 100\%, \tag{1.4}$$

где h — наибольшее отклонение центра аэроснимка от линии центров, мм; l — расстояние между центрами крайних аэроснимков маршрута, мм.

Если же на маршруте имеется одно или несколько заметных искривлений отрезков, то соединяются прямыми линиями центры крайних аэроснимков каждого из криволинейных отрезков, а измерения h, l и вычисления ξ ведутся для каждого из них отдельно.

Порядок определения величины продольного и поперечного перекрытий аэроснимков, а также непараллельности базиса фото-

Ленинградский
гидрометеорологич...

графирования сторонам аэроснимка приведен ниже, в п. 1.4 практикума.

Невыполнение перечисленных требований приводит к ухудшению изобразительных и измерительных качеств аэроснимков, снижению точности измерений на них различных параметров водных обектов суши. Отклонения от минимально допустимых значений продольного и поперечного перекрытий аэроснимков в сторону их уменьшения делают невозможным выполнение стереофотограмметрической обработки аэроснимков. В этих случаях аэрофотосъемка бракуется и подлежит переделке.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. По каким признакам подразделяют аэрофотосъемку?
2. Что такое плановая и перспективная аэрофотосъемка?
3. Что называется поперечным перекрытием аэроснимков?
4. В чем заключается фотограмметрическая оценка качества аэрофотосъемки?
5. По каким критериям рассчитывается минимальный масштаб аэрофотосъемок для измерений на аэроснимках плановых размеров водных объектов?
6. Как определяются технические параметры аэрофотосъемок, предназначенных для стереофотограмметрических измерений превышений и высот точек местности по аэроснимкам?

Лабораторная работа № 1

Оценка фотограмметрического качества аэроснимков

В итоге выполнения этой темы студент производит следующие операции:

— вычисляет значение среднего масштаба аэроснимка;

— определяет величины продольного и поперечного перекрытий аэроснимков;

— оценивает базис фотографирования в масштабе снимка и на местности;

— устанавливает непараллельность базиса фотографирования продольной стороне аэроснимка.

Для выполнения этих операций каждый студент обеспечивается: четырьмя плановыми аэроснимками участка речного бассейна (по два из двух смежных съемочных маршрутов), имеющими продольное и поперечное взаимные перекрытия; масштабной линейкой (поперечным масштабом); циркулем-измерителем; фотограмметрической линейкой; транспортиром; простой линейкой длиной 30 см.

Ниже приводится методика выполнения всех операций оценки качества аэроснимков.

Масштаб планового аэроснимка вычисляется по формуле (1.2). Для равнинной местности проще всего это выпол-

нять, пользуясь отношением $f_к/H_ф$, которое в пределах горизонтального аэроснимка является величиной постоянной. Но для этого должна быть известна высота фотографирования, определяемая современными радиовысотомерами РВ-18Ж с точностью порядка 5 м. Исходя из методических соображений, предполагаем, что значение $H_ф$ нам неизвестно.

Другой способ определения масштаба аэроснимка заключается в нахождении и отождествлении четких контуров на аэроснимке и топографической карте. Измерив соответствующие отрезки между выбранными точками, вычисляют масштаб фотографирования по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{ab}{a'b' \cdot m'}, \qquad (1.5)$$

где ab — значение измеренного отрезка на аэроснимке, мм; $a'b'$ — значение того же отрезка на топографической карте, мм; m' — знаменатель масштаба карты.

В связи с отсутствием крупномасштабных топокарт на исследуемый район в настоящей лабораторной работе масштаб фотографирования определяется по исходным натурным измерениям географических объектов, а именно: размеры изобразившейся на аэроснимке метеоплощадки в натуре равны 110×80 м, ширина реки у пешеходного моста через нее равна 20 м, ширина высоковольтной просеки равна 72 м, длина участка высоковольтной просеки от реки до поворота просеки 2000 м.

Определение масштаба аэроснимка выполняется в следующей последовательности. Измерив на аэроснимке с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки с точностью до 0,1 мм размеры изображений объектов по четырем заданным выше параметрам географических объектов, по формуле (1.2) вычисляются четыре значения численного масштаба. Точность определения масштаба аэроснимка повышается с увеличением длины измеряемого на аэроснимке отрезка: чем больше длина отрезка, тем точнее определяется значение масштаба [18]. В лабораторной работе первые три измеряемых отрезка небольшой длины. Это сделано из методических соображений. Во-первых, повышается ответственность в точном измерении размеров объектов местности, что предполагает тщательность выполнения всех действий. Во-вторых, появляется возможность сравнить значения частных масштабов аэроснимка, вычисленные по данным измерений отрезков различной длины. В результате определяют среднюю его величину из полученных значений по формуле

$$1 : m_{ср} = 1 : \left(\frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{4} \right), \qquad (1.6)$$

где $m_{ср}$ — знаменатель среднего масштаба аэроснимка, m_1, m_2, m_3, m_4 — значения знаменателей частных масштабов аэроснимка по независимым измерениям,

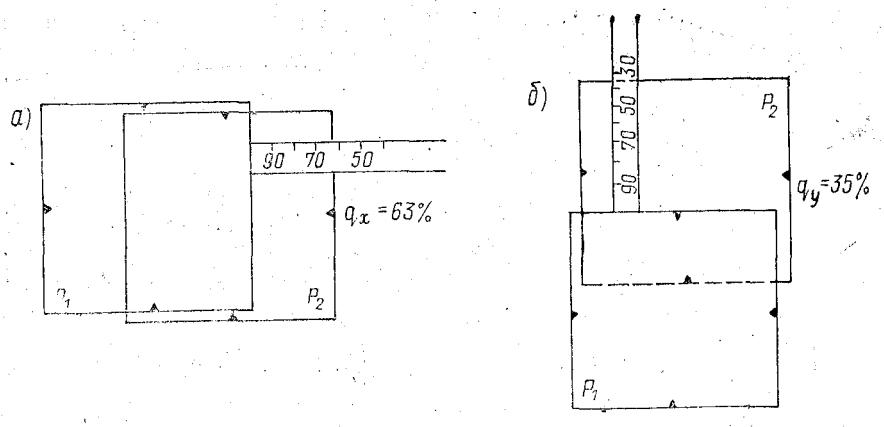


Рис. 1.6. Схема измерения перекрытий аэроснимков: *а* — продольного; *б* — поперечного

Продольное и поперечное перекрытия аэроснимков определяются в следующей последовательности. Вначале измеряется продольное перекрытие. Для этого левый аэроснимок располагается над правым так, чтобы изображения идентичных объектов в зоне перекрытия обоих аэроснимков строго совмещались между собой. Прикладывая край фотограмметрической линейки с цифрой 100 к правому краю левого аэроснимка, снимают отсчет по шкале линейки против правого края правого аэроснимка. Этот отсчет и будет выражать в процентах величину продольного перекрытия аэроснимков.

Величина поперечного перекрытия аэроснимков измеряется аналогично, однако в этом случае аэроснимок нижнего маршрута располагается над аэроснимком верхнего маршрута. Схема измерений перекрытий аэроснимков показана на рис. 1.6.

При отсутствии фотограмметрической линейки величины перекрытий можно определить с помощью простой линейки. Зная размер аэроснимков (18×18 см) и измерив величины их перекрывающихся частей в продольном и поперечном направлениях, определяют значение перекрытий по формулам

$$\begin{cases} q_x = \dfrac{P_x}{l_x} \cdot 100, \\ q_y = \dfrac{P_y}{l_y} \cdot 100, \end{cases} \qquad (1.7)$$

где q_x и q_y — соответственно продольное и поперечное перекрытия аэроснимков; l_x и l_y — размеры продольной и поперечной сторон аэроснимка, см; P_x, P_y — измеренные значения перекрывающихся частей аэроснимков в продольном и поперечном направлениях, см.

Базис фотографирования определяется следующим образом. На пересечении линий, соединяющих противоположные координатные метки аэроснимков, находят центры левого и правого аэроснимков одного съемочного маршрута. Центр левого аэроснимка по контурам фотоизображения переносят на правый аэроснимок, а центр правого аэроснимка — аналогичными действиями — на левый. Затем с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки с точностью до 0,1 мм измеряют расстояния между центрами соседних аэроснимков на левом и на правом аэроснимках — базисы фотографирования. Из результатов двух измерений вычисляют среднее значение базиса фотографирования в масштабе аэроснимка по формуле

$$b_{x_{ср}} = \frac{b_{x_л} + b_{x_п}}{2}, \qquad (1.8)$$

где $b_{x_{ср}}$ — среднее значение базиса фотографирования в масштабе аэроснимка, см; $b_{x_л}$ и $b_{x_п}$ — значения измеренных базисов фотографирования соответственно на левом и правом аэроснимках, см.

Чтобы определить базис фотографирования (B_x), необходимо значение $b_{x_{ср}}$ умножить на знаменатель масштаба аэроснимка, т. е.

$$B_x = b_{x_{ср}} \cdot m_{ср} \qquad (1.9)$$

где B_x — базис фотографирования — расстояние на местности между двумя смежными точками фотографирования по съемочному маршруту, м; $m_{ср}$ — знаменатель среднего масштаба аэроснимка.

Для контроля базис фотографирования вычисляют по величине продольного перекрытия аэроснимков [10]:

$$B_x = \frac{L_x(100 - q_x)}{100}, \qquad (1.10)$$

где L_x — расстояние на местности, соответствующее продольной стороне аэроснимка $l_{сн}$, м. Оно вычисляется по формуле

$$L_x = l_{сн} \cdot M, \qquad (1.11)$$

где M — именованный масштаб снимка, м/см.

Непараллельность базиса фотографирования сторонам аэроснимка («елочка») измеряется следующим образом. Соединив на левом аэроснимке найденные центры левого и правого аэроснимков, получают линию направления аэрофотосъемки, или базиса фотографирования. Угол ε, образованный этой линией и линией, проведенной из центра левого аэроснимка на

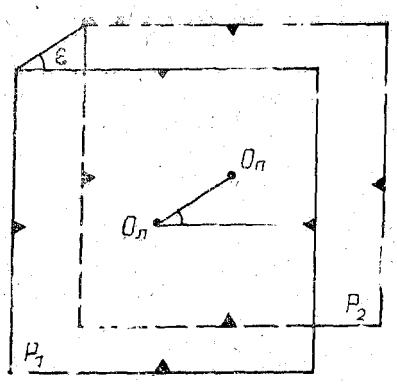


Рис. 1.7. Схема измерения угла «елочки» P_1 и P_2 — пара перекрывающихся между собой аэроснимков; $O_л$ и $O_п$ — центры левого и правого аэроснимков; ε — «елочка» (непараллельность базиса фотографирования продольным сторонам аэроснимка)

координатную метку этого же снимка в направлении съемочного маршрута, и будет искомым углом «елочки» (рис. 1.7). Этот угол измеряется при помощи транспортира с точностью 0,5° [13].

Более грубое определение непараллельности базиса фотографирования сторонам аэроснимка заключается в измерении угла между стороной левого аэроснимка и линией, соединяющей северо-западные углы соседних аэроснимков (рис. 1.7). При этом левый и правый аэроснимки должны быть совмещены по одноименным контурам. Измерение угла «елочки» и в этом случае производится с помощью транспортира.

По выполнении лабораторной работы № 1 студент представляет в качестве отчетных материалов:

— таблицу параметров фотограмметрического качества аэроснимков с указанием нормативных требований и полученных данных;

— макет аэроснимка со схематическим изображением объектов, которые были использованы для определения масштаба аэроснимка;

— таблицу с указанием длин линий на местности и аэроснимке соответственно с данными расчета масштаба.

2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОЗАИЧНЫХ ФОТОПЛАНОВ

В практике гидрологических исследований часто требуется выполнить точные измерения площадей на фотоизображениях земной поверхности: площади разливов рек во время половодий, поверхностей водосборов, зеркала воды водоемов и др. В этой связи требуется по аэро- и космическим снимкам изготовить фотопланы местности. Эти фотопланы по точности в общем случае должны соответствовать точности топографической карты того же масштаба. В отдельных случаях, исходя из конкретных задач, может допускаться и пониженная по отношению к картам точность фотопланов местности. Во многих случаях точность фотопланов зависит от способов получения аэрокосмических изображений и их фотограмметрической обработки.

2.1. Способы получения аэрокосмических изображений местности

Наиболее широко распространенным способом получения плановых и перспективных аэро- и космических снимков является фотографическая съемка местности кадровыми аэрофотоаппаратами, характеристика которых приведена выше (п. 1.1). В кадровых АФА все точки местности, попадающие в кадр размером 18×18, 23×23, 30×30 см, фиксируются за время срабатывания центрального затвора практически одновременно. В съемочной камере МКФ-6М кадр имеет форму прямоугольника со сторонами 5,6×8,1 см, длинную сторону которого располагают перпендикулярно к направлению полета. В соответствии с размером кадра величиной заданного продольного перекрытия снимков и скоростью полета носителя на командном приборе АФА устанавливается соответствующий интервал фотографирования. Масштаб фотоизображения на плановых аэроснимках, благодаря использованию при аэрофотосъемке гидростабилизирующих установок ГУТ-3, примерно одинаков по всей площади съемочного кадра.

Космическая фотосъемка местности выполняется и щелевыми аэрофотоаппаратами АЩАФА, в которых роль фотозатвора выполняет экспозиционная щель с движущейся мимо нее фотопленкой. Из-за продольных и поперечных колебаний аппаратуры во время фотосъемки «щелевые» снимки отличаются большими искажениями изображения объектов, а по характеру построения изображения и искривлениями прямолинейных участков этих объектов. Последний недостаток особенно существенен для объектов, расположенных в краевых частях фотоснимков [16].

В последние десятилетия в гидрологической практике все шире применяются космические фотоэлектронные виды съемок: телевизионная, радиолокационная, тепловая. Из исследовательских ИСЗ для целей изучения процессов прохождения половодий и паводков, ледовой обстановки и режима водных объектов суши, картографирования снежного покрова на речных водосборах и т. д. используются метрологические спутники типа «Метеор». Эти ИСЗ снабжены информационными радиотелевизионными комплексами «Природа», состоящими из двух многоканальных сканирующих устройств: среднего разрешения (МСУ-С) и малого (МСУ-М) [14]. Спутники «Метеор» вращаются по круговым орбитам, обеспечивая получение снимков примерно равных масштабов по всему околоземному витку спутника.

Если фотографическая съемка из космоса выполняется обычными кадровыми АФА, то фотоэлектронные виды съемок предполагают использование специальной аппаратуры: многоканальных сканирующих устройств, радиолокационных станций кругового и бокового обзора, тепловизоров. Эта аппаратура включает в себя оптические или радиосистемы, устройства приема, преобразования и передачи информации на фотопленку.

Телевизионным фотоизображениям, поступающим с различных по устройству сканирующих систем, равно как радиолокационным и тепловым фотоизображениям, присущи большие искажения объектов в пределах всей площади съемного кадра. Сам принцип съемки сканирующими устройствами приводит к ситуации, когда одному и тому же продольному масштабу снимка соответствуют различные поперечные масштабы, значения которых уменьшаются по принципу наклонной дальности от оси полета к краям изображения в 2÷5 раз.

Таким образом, различные способы получения аэрокосмических изображений местности по-разному характеризуют их с точки зрения искажений размеров объектов. Это обстоятельство предполагает тщательный выбор способов фототрансформирования снимков, задачей которого является устранение искажений снимков за наклон оптической оси объектива АФА и приведение всех снимков конкретной аэро- или космической съемки к заданному масштабу.

2.2. Методика фототрансформирования аэрокосмических снимков

Фотопланы местности изготовляются в определенном масштабе из фототрансформированных снимков, свободных от искажений за перспективу. В зависимости от вида аэрокосмических снимков, принципов работы фототрансформаторов, характера рельефа местности на практике применяют различные способы фототрансформирования снимков [15, 18 и др.].

В настоящее время наиболее широко используются фототрансформирование аэро- и космических фотоснимков на фототрансформаторах оптико-механического типа и аффинное фототрансформирование сканерных снимков на щелевых фототрансформаторах.

Оптико-механический способ фототрансформирования выполняется по пяти трансформационным (опорным) точкам, геодезические координаты которых определяются в полевых условиях. В зонах поперечных перекрытий аэроснимков известными геодезическими методами определяют опорные точки через 8—10 базисов фотографирования, в дальнейшем выполняют сгущение планово-высотного обоснования методами аналитической фототриангуляции с применением ЭВМ. В качестве трансформационных точек выбираются контурные точки, которые могут быть опознаны на аэроснимке с погрешностью не более 0,1 мм.

Оптико-механическое фототрансформирование аэроснимков осуществляется на специальных приборах — фототрансформаторах: ФТБ (рис. 2.1), Rectimat, SEG-6 и др. В процессе фототрансформирования аэроснимка на плановой основе (листе плотной бумаги) добиваются совмещения изображения проколотых на аэронегативе трансформационных точек с нанесенными точками по координатам в масштабе трансформирования. Достигается это с помощью специальных устройств фототрансформатора, сообщающих

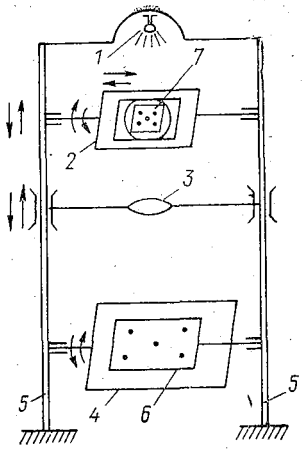


Рис. 2.1. Схема устройства фототрансформатора ФТБ: *1* — осветительное устройство с рефлектором; *2* — кассета; *3* — объектив; *4* — экран; *5* — направляющая станина; *6* — опорный планшет; *7* — аэронегатив

кассете, объективу и экрану различные поступательные и вращательные движения. Для всхолмленной местности с крупными формами рельефа трансформирование снимков выполняется по зонам.

При расположении трансформационных точек на разных высотах местности рассчитывается высота зоны трансформирования $h_з$ по формуле

$$h_з = \frac{2f_к \cdot M'}{r} \delta_{h\max}, \qquad (2.1)$$

где $h_з$ — высота зоны трансформирования, м; M' — знаменатель масштаба фототрансформирования; r — расстояние от точки надира аэроснимка до трансформационной точки, мм; $\delta_{h\max}$ — допустимое смещение точки за рельеф, принимаемое равным 0,4 мм.

С учетом высотных отметок трансформационных точек и высоты зоны фототрансформирования рассчитываются величины поправок в положения трансформационных точек на плановой основе для каждой зоны. Добиваясь совмещения точек на аэронегативе с положением трансформационных точек, определенных для первой (наименьшей по высоте) зоны, изготавливают фотоотпечаток. Затем, изменяя коэффициент увеличения, добиваются подобного же совмещения с положениями трансформационных точек на плановой основе для второй, третьей и т. д. зон, всякий раз изготавливая фотоотпечатки. Каждое изображение будет иметь заданный масштаб в пределах зон, границы которых переносят на основу, используя для этого горизонтали с топографических карт. Число зон обычно не допускается более пяти. В противном случае применяют другие способы фототрансформирования: дифференциальный или аналитический.

Оптико-механическое фототрансформирование аэроснимков можно выполнять несколько иначе — по установочным элементам. Их значения рассчитываются по специальным программам одновременно со сгущением планово-высотного обоснования аналитическим способом с использованием ЭВМ. Установочные элементы — это угловые и линейные величины, определяющие взаимное положение плоскости аэронегатива, объектива и экрана фототрансформатора. К ним относятся децентрация аэронегатива относительно центра кассеты, углы наклона экрана во взаимно перпен-

дикулярных направлениях и коэффициент фототрансформирования.

Точность фототрансформирования аэроснимков по установочным элементам существенно зависит от точности, с которой определены элементы внешнего ориентирования аэроснимков: угол разворота аэроснимка в своей плоскости, угол наклона аэроснимка и высота фотографирования. Как правило, погрешности в определении положения точек на аэроснимках, трансформированных по опорным точкам и установочным элементам, примерно одинаковы [11].

Способ оптико-механического фототрансформирования сканерных, аэро- и космических изображений не дает возможности устранить неметричность фотоизображения по всей площади кадра. Это происходит потому, что сканерные снимки (телевизионные, радиолокационные, тепловые) во-первых, имеют продольные геометрические искажения из-за возможной несогласованности скорости носителя съемочной аппаратуры и скорости записи изображения, во-вторых, за счет построения сканерного изображения по принципу наклонной дальности происходит непрерывное изменение масштаба изображения поперек оси съемочного маршрута. Для сканерных изображений необходимо использовать аналитический или аффинный способ фототрансформирования снимков.

Использование оптико-механического способа фототрансформирования сканерных снимков возможно в том случае, если точность изготовленного фотоплана строго не регламентируется, например, при наблюдениях за вскрытием озер и водохранилищ от льда или слежением за изменением границы снеготаяния, когда требуется лишь получение оперативного и сопоставимого результата.

Рассматриваемый способ фототрансформирования прост в исполнении, обеспечивает получение высокого качества фотоизображения. Однако он не гарантирует полного исключения искажений точек из-за влияния рельефа местности, не выражающегося основным сечением рельефа топографической карты при разбивке зон трансформирования. Большое количество порезов отдельных зон трансформированных снимков при последующем монтаже фотопланов снижает точность последних и приводит к разнотонности фотоизображения по границам зон.

Аффинный (от лат. affinis — родственный) способ фототрансформирования снимков выполняется с применением щелевых автоматических фототрансформаторов ФТА. Аффинное фототрансформирование вызывает неоднородную деформацию исходного изображения в направлении координатных осей аэроснимка. Оно ведется либо с сжатием, либо с растяжением изображения в продольном и поперечном направлениях относительно оси съемочного маршрута. С помощью входящего в комплект фототрансформатора ФТА имитатора щели контроли-

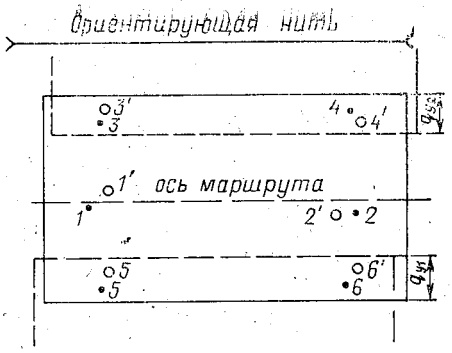


Рис. 2.2. Положение опорных точек до начала аффинного фототрансформирования сканерного снимка: ·1, ·6 — положение точек на опорном планшете; O1′, O6′ — изображение точек на негативе; q_{y1}, q_{y2} — поперечные перекрытия снимков

руется правильность вычисленных аффинных коэффициентов фототрансформирования и при необходимости корректируются их значения.

Аффинное фототрансформирование может производиться по опорным точкам и по установочным элементам. Высокая степень автоматизации процесса фототрансформирования на приборе ФТА, точность фототрансформирования в пределах 0,3÷0,5 мм и хорошее фотографическое качество изображения позволяют считать аффинный способ фототрансформирования одним из наиболее эффективных способов. Он особенно эффективен при трансформировании тепловых, радиолокационных и телевизионных аэрокосмических снимков, полученных с помощью сканирующих систем, когда продольный и поперечный масштабы изображения на снимках сильно различаются между собой.

Если фототрансформирование производится по опорным точкам, их должно быть не менее шести на один снимок. Две опорные точки выбираются вблизи оси съемочного маршрута, четыре других попарно выбираются в зонах поперечного перекрытия сканерных снимков, желательно в их середине (рис. 2.2). В качестве опорных точек на картах и на снимках выбираются и отождествляются идентичные контурные точки.

Фототрансформатор ФТА имеет семь установочных движений: четыре поступательных и три вращательных. К поступательным движениям прибора относятся перемещения объективодержателя и снимкодержателя вдоль его конструктивной вертикальной оси, а также взаимно перпендикулярные перемещения снимкодержателя в своей плоскости (продольная и поперечная децентрация негатива). К вращательным движениям относятся наклон экрана и снимкодержателя вокруг параллельных друг другу осей (перпендикулярно оси x прибора) и разворот снимкодер-

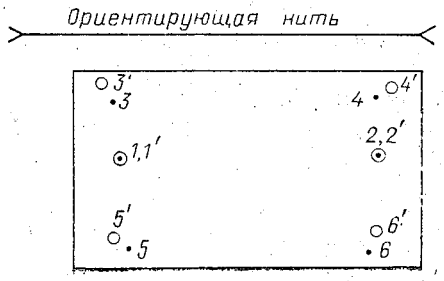


Рис. 2.3. Положение опорных точек после масштабирования: ·1, ·6 — положение точек на опорном планшете; O1′, O6′ — положение точек на негативе

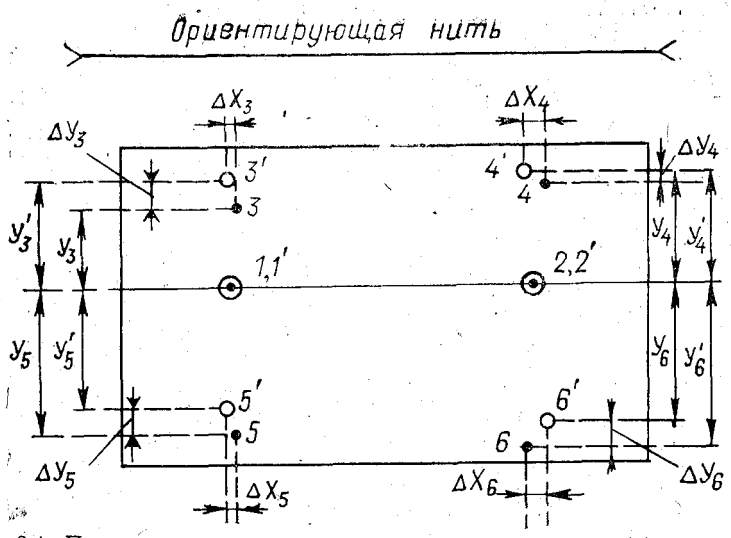


Рис. 2.4. Положение опорных точек после первого этапа аффинного фототрансформирования: ·1, ·6 — положение точек на опорном планшете; O1′, O6′ — положение точек на негативе; Δx, Δy — расхождения положения точек на опорном планшете и негативе в направлениях осей x и y экрана фототрансформатора

жателя в своей плоскости. Кроме того, подвижная часть экрана имеет возможность перемещаться относительно неподвижной части прибора вдоль осей x и y, а щель одновременно перемещаться в направлении наклона экрана (вдоль оси y).

В начале трансформирования каретка щели выводится за пределы изображения и на место щели устанавливают ориентирующую нить. Изменяют масштаб изображения и добиваются такого положения, при котором точки на планшете по оси съемочного маршрута совпадут с изображениями этих точек на негативе (рис. 2.3).

Определив нужное направление наклона экрана (путем поворота кассеты с негативом и опорного планшета) последовательным изменением угла наклона экрана и небольшой корректировкой масштаба изображения, добиваются минимального и в то же время примерно одинакового несовпадения точек негатива с одноименными точками на опорном планшете (рис. 2.4). Измерив с точностью до 0,5 мм расстояния y_3, y_4, y_5, y_6 и несовмещения Δy_3, Δy_4, Δy_5, Δy_6 вдоль направления, параллельного оси ординат прибора, а также несовмещения Δx_3, Δx_4, Δx_5, Δx_6, параллельные оси абсцисс, определяют коэффициенты сжатия (растяжения) a^y и поперечного сдвига изображения a^x по формулам:

$$\begin{cases} a^x = \dfrac{\Delta x_3}{x_3} = \dfrac{\Delta x_4}{x_4} = \dfrac{\Delta x_5}{x_5} = \dfrac{\Delta x_6}{x_6}, \\ a^y = \dfrac{\Delta y_3}{y_3} = \dfrac{\Delta y_4}{y_4} = \dfrac{\Delta y_5}{y_5} = \dfrac{\Delta y_6}{y_6}. \end{cases} \qquad (2.2)$$

Вычисленные аффинные коэффициенты устанавливаются на шкалах подвижного щелевого экрана: a^y — на правом штурвале, a^x — на левом. В результате этих действий подвижный стол экрана с трансформационным опорным планшетом смещается в продольном и поперечном направлениях. Последовательно наводя ориентирующую нить прибора на точки 3′, 4′, 5′, 6′ изображения и перемещая планшет по экрану, совмещают все точки основы с соответствующими им точками на негативе.

После трансформирования сканерного изображения производят экспонирование его через щель. Ширина щели вычисляется по формуле

$$\Delta = \frac{R}{\beta \cdot a^y}, \qquad (2\cdot3)$$

где Δ — ширина щели, мм; R — разрешающая способность снимка, мм; β — коэффициент увеличения, крат; a^y — коэффициент сжатия (растяжения) крат.

Как показывает анализ существующих способов фототрансформирования снимков, все они обладают специфичностью процесса, различаются точностью и качеством преобразованных фотоизображений, уровнем автоматизации. Эти обстоятельства предполагают тщательность выбора способа фототрансформирования в зависимости от конкретных задач гидрологических исследований.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем заключается смысл фототрансформирования аэроснимков и изготовления фотопланов при выполнении гидрологических исследований?
2. Какие способы получения аэрокосмических изображений применяются на практике?
3. Как изменяется масштаб изображения на телевизионных спутниковых снимках, полученных с помощью ИСЗ «Метеор»?
4. Какими способами выполняется фототрансформирование плановых аэроснимков равнинной местности?
5. Каковы преимущества дифференциального способа фототрансформирования?
6. В чем состоит отличие аффинного способа фототрансформирования от других способов?

Лабораторная работа № 2

Изготовление фотопланов

Процесс изготовления фотопланов состоит из двух последовательных этапов: фототрансформирования аэроснимков и монтажа их на общую основу. Выполнение этой лабораторной работы позволяет привить студенту практические навыки в фотограмметри-

ческой и фотолабораторной обработке аэроснимков. Для производства фототрансформирования аэроснимков каждому студенту выдаются четыре дубль-негатива аэрофотосъемочных залетов и оклеенный чертежной бумагой картонный планшет с нанесенными трансформационными точками. Опорные трансформационные точки проколоты на дубль-негативах иглой и представляют собой светящиеся на фоне яркого света окружности диаметром 0,2 мм. Масштаб аэрофотосъемки — 1 : 27 000, требуемый масштаб изготовляемого фотоплана — 1 : 25 000.

Процесс фототрансформирования аэроснимков заключается в совмещении изображения трансформационных точек дубль-негатива с их положением на опорном планшете и изготовлении исправленного фотографического отпечатка.

Для учета деформации (усушки) фотобумаги после ее проявления определяют коэффициент K усушки используемой фотобумаги путем фотографирования на нее контактным способом контрольной стеклянной решетки:

$$K = \frac{\varepsilon l_i}{\varepsilon l_i'}, \qquad (2.4)$$

где $l_1, l_2, l_3, \ldots, l_i$ — длина отрезков на контрольной решетке, мм; $l_1', l_2', l_3', \ldots, l_i'$ — длина измерений соответствующих отрезков на высохших контактных отпечатках, мм.

Определив коэффициент усушки фотобумаги, рассчитывают толщину подложки под опорный планшет по формуле

$$a = d(1 - K), \qquad (2.5)$$

где a — толщина подложки для данного сорта фотобумаги, мм; d — расстояние от объектива фототрансформатора до экрана, мм.

Изготовленную из картона подложку соответствующей толщины укладывают на экран под опорный планшет и при таком положении совмещают трансформационные точки. Перед экспонированием опорный планшет и подложку с экрана снимают и на их место укладывают лист фотобумаги.

Сфотографированное изображение в результате будет несколько более крупного масштаба, но после фотолабораторной обработки и сушки отпечатка масштаб уменьшится и будет равен масштабу опорного планшета.

Совмещение изображений трансформационных точек дубль-негатива с их положением на опорном планшете выполняется методом приближений. Дубль-негатив укладывают в кассету фототрансформатора, вращая ее в горизонтальной плоскости, добиваются такого положения, чтобы трансформационные точки, расположенные по любой диагонали аэроснимка, проектировались на экран по оси его вращения. Перемещая на экране опорный планшет и действуя масштабным инверсором прибора, добиваются совмещения точек по диагонали. Наклоняя экран и повертывая кас-

сету с дубль-негативом в своей плоскости, добиваются совпадения двух других светящихся трансформационных точек на дубль-негативе с соответствующими идентичными точками на опорном планшете. При необходимости вводят продольную или поперечную децентрацию дубль-негатива — смещение главной точки аэроснимка по отношению к вертикальной оптической оси объектива прибора. Величина несовмещения допускается в пределах ±0,4 мм. Затем объектив фототрансформатора закрывают красным светофильтром, а на экран кладут лист фотобумаги. В результате фотографирования получают трансформированный аэроснимок в заданном масштабе. Заложив в кассету фототрансформатора второй и т. д. дубль-негативы, аналогичными действиями получают остальные трансформированные аэроснимки. В связи с тем, что аэрофотосъемка выполнена аэрофотоаппаратом с $f_к = 200$ мм, а исследуемый район характеризуется относительно пологими формами рельефа, фототрансформирование аэроснимков выполняется на одну плоскость без расчета величины зоны фототрансформирования. Монтаж фотоплана сводится к совмещению приведенных к масштабу 1 : 25 000 и исправленных за наклон оптической оси аэрофотоаппарата аэроснимков с опорными точками, нанесенными на планшете, разрезке перекрывающихся частей смежных аэроснимков и наклейке оставшихся частей на планшет.

Вначале все трансформационные точки и центры трансформированных аэроснимков пробивают пуансоном и получают отверстия диаметром 0,5 мм. Затем накладывают первый аэроснимок на планшет так, чтобы центры пробитых пуансоном отверстий с наибольшей точностью совпадали с трансформационными точками. Аэроснимок закрепляют специальными грузиками во избежание его смещения. Аналогично накладывают на планшет второй аэроснимок съемочного маршрута и закрепляют его грузиками. После этого намечают линию пореза обоих аэроснимков примерно посередине их продольного перекрытия. Линию пореза выбирают так, чтобы она пересекала наименьшее число контуров и желательно под прямым углом. Расхождения в положении идентичных контуров по линиям порезов со смежными аэроснимками не должны превышать ±0,7 мм. Для уменьшения этих расхождений нельзя смещать аэроснимки с опорных точек. Порез аэроснимков осуществляется остро заточенным медицинским ланцетом. Центральные части обрезанных по продольному перекрытию соседних аэроснимков приклеивают к планшету амилацетатным клеем.

Аналогично совмещают и обрезают два соседних аэроснимка по смежному, перекрывающемуся с первым, съемочному маршруту. Причем обрезают аэроснимки по линии продольного перекрытия, подложив полоску тонкого целлулоида, чтобы не прорезать лежащие ниже аэроснимки первого маршрута. Обрезку аэроснимков по поперечному перекрытию производят после наклейки на планшет центральных частей аэроснимков, разрезанных по линиям продольных перекрытий.

Смонтировав все четыре центральные части аэроснимков, их приклеивают к планшету полностью, тщательно загладив линии порезов. Получают единое мозаичное фотоизображение. Изготовленные мозаичные фотопланы выдерживают некоторое время под прессом.

По завершении лабораторной работы № 2 студент представляет смонтированный фотоплан и его корректурный лист с указанием полученных расхождений контуров по линиям порезов и величин несовмещения трансформационных точек на аэроснимках с положением их на опорном планшете.

3. СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЙ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ ПО АЭРОСНИМКАМ

В практике гидрологических исследований часто требуется определять различные высотные характеристики водосборных бассейнов, а также превышения отдельных точек земной поверхности относительно друг друга. К таким характеристикам относятся высоты береговых валов, обрывов, бровок рек, прирусловых террас, а также уклоны рек, поверхностей водосборов и др. Для составления топографических планов местности на участки расположения гидрометеорологических станций и постов требуется определение высот характерных точек рельефа. Применение стереоскопического способа измерений превышений точек местности по аэроснимкам значительно сокращает объем полевых геодезических работ и в целом повышает точность этих измерений.

3.1. Условия возникновения стереоскопического эффекта

Обычно работа с аэроснимками производится при их рассматривании двумя глазами, т. е. при бинокулярном наблюдении. В этом случае наблюдатель располагает глаза так, чтобы их зрительные оси пересекались в том месте фотоизображения, которое он желает отчетливо рассмотреть. Точка пересечения зрительных осей называется точкой фиксации бинокулярного зрения, а угол пересечения этих осей (γ), под которым из точки наблюдения виден глазной базис ($b_г$), называется углом конвергенции (рис. 3.1).

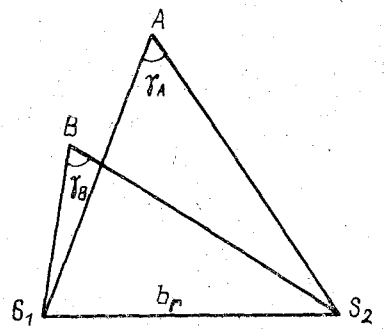


Рис. 3.1. Бинокулярное зрение: $b_г$ — глазной базис; γ_A, γ_B — углы конвергенции при пространственных точках A и B; S_1 и S_2 — узловые точки глаз

Из рис. 3.1 видно, что чем больше значение угла γ, тем наблюдаемая точка расположена ближе к наблюдателю. Величина угла γ связана с расстоянием до наблюдаемого объекта следующей зависимостью:

$$\gamma = \frac{b_r}{D}, \qquad (3.1)$$

где b_r — глазной базис (расстояние между передними узловыми точками глаз), мм; D — расстояние до наблюдаемого объекта, м.

Пример. Рассчитать значение угла конвергенции при рассматривании изображения объекта на аэрофотоснимке. Приняв расстояние наилучшего зрения для нормального глаза равным 250 мм, а среднее значение глазного базиса — 65 мм, имеем: $\gamma = \frac{65}{250} \approx 15°$.

Если бинокулярное зрение обеспечивает возможность воспринимать глубину и пространственность наблюдаемых объектов, оно называется стереоскопическим зрением. У разных людей наблюдается различная способность стереоскопического восприятия объектов в натуре и их изображений на аэрофотоснимках. Эта способность характеризуется остротой стереоскопического зрения.

Остротой стереоскопического зрения называется наименьшая разность углов конвергенции двух точек, при которой наблюдатель еще замечает разность глубин этих точек. Ее величина, как правило, равна $25'' \div 30''$, но она может существенно изменяться в зависимости от освещенности объектов, величины оптических контрастов между ними, формы и размеров объектов, степени утомляемости глаз и других факторов.

Остроту стереоскопического зрения, называемую еще разрешающей способностью стереоскопического зрения, можно повысить, если перед глазами наблюдателя расположить оптические приборы, искусственно увеличивающие угол конвергенции. В одних приборах (стереоскопах) это достигается искусственным увеличением глазного базиса. Другие приборы с угловым увеличением больше единицы (бинокли) как бы приближают наблюдаемые объекты к наблюдателю, что равносильно увеличению угла конвергенции.

Стереоскопический эффект при рассмотрении плоских изображений двух аэроснимков достигается в случае, если выполняется ряд условий, а именно:

— аэроснимки получены с перекрытием с двух точек пространства — концов базиса фотографирования;

— аэроснимки находятся на расстоянии наилучшего зрения (≈ 25 см);

— глазной базис должен быть параллелен базису фотографирования,

— левым глазом наблюдается только левый аэроснимок, правым — правый, а пара смежных аэроснимков рассматривается в таком положении, какое она занимает при съемке.

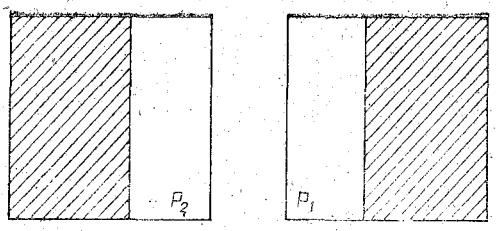


Рис. 3.2. Прямой стереоэффект: P_1 и P_2 — левый и правый аэроснимки, составляющие стереопару; заштрихованные площади — перекрывающиеся участки аэроснимков

Соблюдение этих условий приводит к тому, что наблюдатель вместо двух плоских изображений увидит одно, но рельефное изображение местности. Однако стереоскопическое рассмотрение аэроснимков невооруженным глазом сильно затруднено тем, что конвергенция зрительных осей не соответствует аккомодации глаз — свойству глаз автоматически фокусироваться на рассматриваемом предмете. Это несоответствие устраняется при помощи специальных оптических приборов — стереоскопов.

Стереоскопы выпускаются в двух вариантах: для использования в полевых условиях и в камеральных. В соответствии с назначением стереоскопы имеют обозначения СП или СК, к которым прибавляются цифры, показывающие, какой формат аэроснимков может быть обработан тем или иным стереоскопом. Например, СП-180 — стереоскоп полевой для обработки аэроснимков формата 18×18 см; СК-300 — стереоскоп для камеральных работ с аэроснимками до размеров сторон 30×30 см. Все стереоскопы в основе имеют одинаковую конструкцию и характеризуются возможностью широкого обзора фотоизображения местности, простотой устройства и надежностью в работе.

Чтобы получить стереоскопический эффект, один из двух соседних по съемочному маршруту аэроснимок накладывают на другой так, чтобы перекрывающиеся их части совпали, а начальные направления, соединяющие центры обоих аэроснимков, были параллельны глазному базису. Затем, не меняя ориентировки, аэроснимки развигают до тех пор, пока при их рассмотрении в стереоскоп не возникнет стереоскопический эффект.

Стереоэффект будет прямым, если левый глаз наблюдателя видит только левый аэроснимок, а правый глаз — правый (рис. 3.2). При этом отчетливо воспринимается рельеф местности в его естественном виде. Если оба аэроснимка развернуть под стереоскопом на 180° или поменять местами, не поворачивая их, то будет наблюдаться обратный стереоэффект (рис. 3.3).

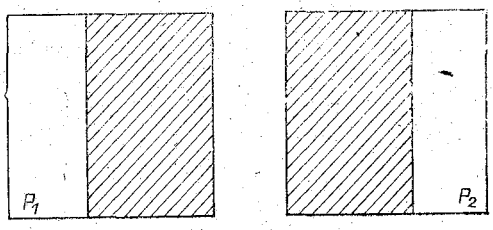


Рис. 3.3. Обратный стереоэффект; P_2 и P_1 — правый и левый аэроснимки, составляющие стереопару; заштрихованные площади — перекрывающиеся участки аэроснимков

В этом случае возвышенности будут казаться впадинами, а реки — текущими по водораздельным линиям хребтов. Обратный стереоэффект гидрологи используют при изучении речных пойм, низинных болот, при дешифрировании береговой линии рек и озер, маскируемой растительным покровом.

Стереоскопический способ наблюдения аэроснимков обеспечивает высокую точность измерений превышений точек по аэроснимкам.

3.2. Принцип стереоскопических измерений превышений точек местности по аэроснимкам

Если наложить аэроснимки друг на друга перекрывающимися частями и совместить их координатные оси, то нетрудно заметить, что изображения идентичных точек оказываются сдвинутыми (рис. 3.4).

Отрезок $a_1'a_2$ представляет собой полное параллактическое смещение изображения некоторой произвольной точки A местности, или ее полный параллакс. Его можно, как вектор, разложить на составляющие p_a и q_a по осям xx и yy аэроснимков P_1 и P_2. Подобная картина образуется, если переместить проектирующий луч S_1a_1 параллельно самому себе вдоль базиса фотографирования b до положения, когда центры проектирования S_1 и S_2 совпадут друг с другом. Разность абсцисс одноименных точек двух аэроснимков называется продольным параллаксом. Для точки A продольный параллакс p_a равен:

$$p_a = x_2 - x_1, \quad (3.2)$$

где x_2 и x_1 — абсциссы точки A на правом и левом аэроснимках, мм.

Благодаря наличию продольных параллаксов p точек при условии устранения поперечных параллаксов q возникает рельефное изображение местности.

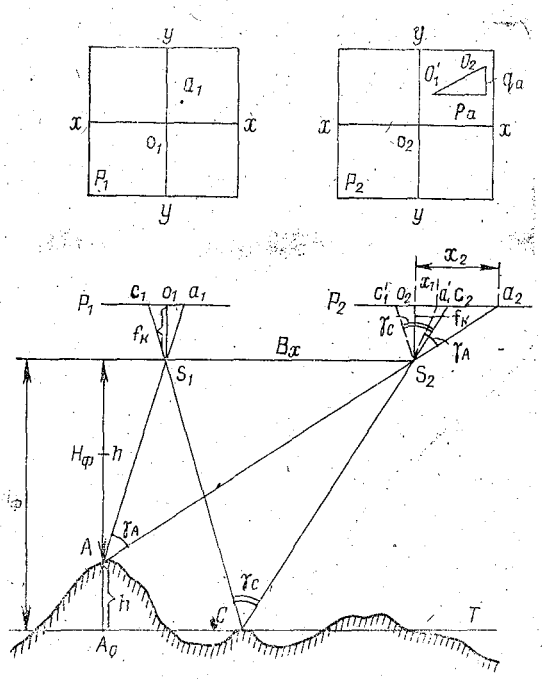


Рис. 3.4. Схема параллактического смещения точки на аэроснимках

Из рис. 3.4 видно, что точка A, расположенная на большей высоте по отношению к точке C и ближе к базису фотографирования, рассматривается под большим параллактическим углом, чем точка C. Она имеет и больший продольный параллакс $p_a > p_C$, так как $\gamma_A > \gamma_C$. Пользуясь этими соотношениями, можно заменить измерение параллактических углов γ_A и γ_C при точках A и C местности измерением продольных параллаксов p_a и p_C изображений этих точек на аэроснимках при их стереоскопическом наблюдении.

Следовательно, измерение превышений между точками местности, изображенных на перекрывающихся аэроснимках, основано на измерении по воспроизведенной стереоскопической модели местности разностей продольных параллаксов точек, т. е. на использовании зависимости между величиной смещения точек изображения на стереоскопической модели и превышения между этими точками в натуре. Измерения разностей продольных параллаксов выполняют на специально созданных для этих целей стереофотограмметрических приборах (стереографы, стереопроекторы и др.) с измерительными устройствами и механическими или оптическими визирными марками.

Рассмотрим аналитическую связь между превышениями точек местности и измеренными разностями продольных параллаксов на аэроснимках. В этих целях предположим, что получена стереопара снимков при отвесном положении оптических осей АФА и горизонтальном базисе фотографирования с высоты фотографирования $H_ф$ над средней плоскостью участка съемки T, проходящей через точку C (рис. 3.4).

Пусть точка A, имеющая превышение h над точкой C, изобразилась на левом и правом аэроснимках в точках a_1 и a_2, а точка C — в точках c_1 и c_2. За начало координат каждого аэроснимка примем их главные точки o_1 и o_2, за направление оси x — след вертикальной базисной плоскости. Абсциссы точек a_1, a_2, c_1, c_2 в системе координат аэроснимков будут равны:

$$x_{a_1} = o_1a_1, \quad x_{a_2} = -o_2a_2,$$
$$x_{c_1} = o_1c_1, \quad x_{c_2} = -o_2c_2.$$

Согласно определению, продольные параллаксы точек a и c равны разностям абсцисс на левом и правом аэроснимках:

$$\begin{cases} p_a = x_{a_1} - x_{a_2}, \\ p_c = x_{c_1} - x_{c_2}. \end{cases} \tag{3.3}$$

Из подобия треугольников AS_1S_2 и $S_2a_1'a_2$ следует:

$$\frac{H_ф - h}{f_к} = \frac{B}{p_a} \quad \text{или} \quad p_a = \frac{B \cdot f_к}{H_ф - h}, \tag{3.4}$$

где p_A — продольный параллакс точки A, мм; B — базис фотографирования, м; $H_ф - h$ — высота фотографирования над точкой A, м.

Из треугольников BS_1S_2 и $S_2c_1'c_2$ следует

$$\frac{H_ф}{f_к} = \frac{B_x}{p_C} \quad \text{или} \quad p_C = \frac{B_x \cdot f_к}{H_ф}, \tag{3.5}$$

где p_C — продольный параллакс точки C, мм; $H_ф$ — высота фотографирования над точкой C, м. B_x — базис фотографирования на местности, м.

Тогда формула разности продольных параллаксов примет вид:

$$\Delta p = p_a - p_C = \frac{B_x f_к}{H_ф - h} - \frac{B_x f_к}{H_ф} = \frac{B_x f_к}{H_ф} \frac{h}{H_ф - h}. \tag{3.6}$$

Величина $\frac{B_x f_к}{H_ф}$ есть базис фотографирования в масштабе аэроснимка b_x. Поэтому, подставив его значение в выражение (3.6) и решив уравнение относительно h, получим

$$h = \frac{H_ф \cdot \Delta p}{b + \Delta p}. \tag{3.7}$$

Ввиду малых значений Δp при измерении превышений между точками в равнинной местности приближенно можно принять

$$h = \frac{H_ф \cdot \Delta p}{b}. \tag{3.8}$$

В формуле (3.8) для данной стереопары отношение $H_ф/b$ есть величина постоянная, поэтому значение превышения между двумя точками полностью зависит от измеренной разности продольных параллаксов этих точек.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что называется стереоскопическим зрением?
2. Дайте определение остроты стереоскопического зрения и укажите, от чего зависит ее величина.
3. Каковы условия возникновения стереоскопического эффекта при рассмотрении плоских изображений двух аэроснимков?
4. Как получить прямой и обратный стереоскопический эффекты?
5. Что называется продольным параллаксом точки?
6. На чем основаны стереоскопические определения превышений между точками местности по аэроснимкам?

Лабораторная работа № 3

Измерения превышений точек по стереопаре аэроснимков

Данная лабораторная работа имеет цель обучить студента самостоятельно выполнять стереоскопические измерения на аэроснимках. По своему содержанию работа состоит из производства

непосредственных измерений разностей продольных параллаксов точек аэроснимков и обработки результатов выполненных измерений.

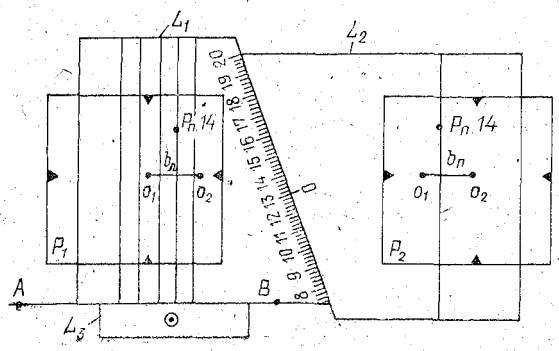
Для выполнения работы студенту выдаются:

— два горизонтальных аэроснимка масштаба 1 : 12 000, составляющие стереопару, стереоскоп СК-180, комплект параллактических пластин, микрокалькулятор БЗ-21, лупа с увеличением 2ˣ; деревянная подставка для крепления аэроснимков, кнопки конторские.

Работа начинается с установки стереоскопа и аэроснимков на деревянную подставку. После достижения прямого стереоскопического эффекта рассмотренными выше действиями аэроснимки закрепляются кнопками на подставке.

На правом аэроснимке в полосе продольного перекрытия нанесены, пронумерованы и оформлены тушью сближенные в плане характерные точки рельефа (вершины холмов, седловины, линии перегибов склонов, урезы воды водотоков), высоты которых должны быть получены в результате стереоскопических измерений на аэроснимках. Кроме этих точек здесь же нанесены и подписаны опорные пункты-реперы с известными абсолютными высотами. Измерения превышений между точками производятся с помощью комплекта параллактических пластин, предполагая, что поперечные параллаксы на наблюдаемых точках отсутствуют.

Этот комплект состоит из двух широких плексиглазовых пластин L_1 и L_2 и небольшой линеечки L_3, служащей направляющей при перемещении левой пластины в процессе измерений (рис. 3.5). На параллактических пластинах выгравированы и окрашены в зеленый цвет шесть вертикальных штрихов — нитей (одна на правой пластине и пять на левой). Расстояния между соседними вертикальными штрихами-нитями составляют 1 см. Это сделано для того, чтобы учесть различия в значениях глазного базиса, которые изменяются от 52 до 74 мм у разных наблюдателей. Выгравированные на пластинах штрихи выполняют роль визирных нитей и служат для пространственного наведения их на наблюдаемые точки стереоскопической модели местности.



Обе параллактические пластины соединяются между собой по скошенному краю, образующему с вертикальными штрихами линеек острый угол в 5° 44′. Так как sin 5° 44′ = = 0,1, то передвижение одной пластины относи-

Рис. 3.5 Параллактические пластины

тельно другой вдоль скошенного края на величину 1 см вызовет перемещение вертикального штриха-нити по линии базиса фотографирования (по оси $x-x$ стереомодели) на 0,1 см. Этот принцип заложен и в конструкции синусной линейки, с помощью которой проводятся параллельные линии с каким угодно малым интервалом. Вдоль скошенного края левой пластины нанесены деления через 1 мм, а на правой — индексы с оцифровкой 0, +10 и —10. По индексу 0 берутся отсчеты по шкале левой пластины при стереоскопическом наведении вертикальных штрихов обеих пластин на какую-либо точку стереоскопической модели местности.

Процесс стереоскопических измерений превышений точек по разностям их продольных параллаксов выполняется в следующей последовательности.

Параллактические пластины накладывают на ориентированные под стереоскопом аэроснимки P_1 и P_2 таким образом, чтобы нанесенные на них вертикальные штрихи-нити были перпендикулярны линии базиса фотографирования b. Приложив к нижнему краю левой пластины линеечку или же непосредственно по краю пластины, прочерчивают карандашом линию AB на доске-подставке. Эта линия будет иметь значение оси абсцисс в системе координат аэроснимка; вдоль этой линии в процессе наблюдений будут измеряться разности продольных параллаксов точек (рис. 3.5).

Чтобы определить, какой штрих левой пластины пространственно наводить на точку стереоскопической модели местности, необходимо навести штрих правой пластины на какой-либо четкий контур правого аэроснимка. Плотно приложив левую пластину к скошенному краю правой таким образом, чтобы индекс 0 находился примерно в центре миллиметровой шкалы, смотрят в стереоскоп и определяют порядковый номер ближайшего штриха левой пластины относительно этой же точки (контура).

Двигая левую пластину вдоль прочерченной линии, пространственно «зависают» установленным вертикальным штрихом (визирной нитью) над начальной точкой-репером, относительно которого будут определяться превышения всех остальных точек местности в пределах небольшого участка стереопары. Плотно прижав пластины к аэроснимкам, прикладывают к скошенному краю левой пластины правую пластину и перемещают ее вдоль скошенного края до тех пор, пока пространственная нить не коснется поверхности земли в этой точке (рис. 3.5). По индексу 0 с помощью лупы снимают отсчет со шкалы левой пластины с точностью 0,1 мм. Сдвинув правую пластину вдоль скошенного края несколько вверх или вниз (в стереоскопе это воспринимается как пространственное опускание или поднятие визирной нити), повторяют пространственное наведение визирной нити на ту же точку и берут второй отсчет. При допустимой разности в двух отсчетах $\pm 1{,}0$ мм вычисляют среднее значение отсчета.

После этого, двигая левую пластину вдоль прочерченного направления, «зависают» визирной нитью над какой-либо рельефной точкой, например под номером 1. Снова, приложив к скошенному краю левой пластины правую пластину, перемещают ее вдоль скошенного края, выполняют пространственное наведение визирной нити на эту точку и берут два отсчета. При снятии отсчетов визирная нить должна касаться поверхности земли в наблюдаемой точке 1.

Таким же образом выполняются наблюдения и на все остальные точки, отмеченные на правом аэроснимке. Запись результатов наблюдений производится в журнале измерений. Образец записи результатов наблюдений и вычислений превышений и высот точек местности приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Журнал

измерений превышений и высот точек местности по разностям их продольных параллаксов

№ точек наблюдений	Отсчеты по линейке, мм			Разность отсчетов $n_i - n_{рп14}$, мм	$\Delta P_{(i-рп14)}$, мм	K, мм	Превышение h, м	Каталог высот точек, м
	n_1	n_2	$n_{ср}$					
рп. 14	12,83	12,87	12,85					96,53
рп. 21	12,94	12,96	12,95	+0,10	+0,01	70,0	+0,70	97,23
рп. 3	13,11	13,09	13,10	+0,25	+0,025	66,6	+1,67	98,20
1	13,40	13,44	13,42	+0,57	+0,057	$K_{ср}=68,3$	+3,87	100,40
2	13,00	13,04	13,02	+0,17	+0,017		+1,17	97,70
3	13,43	13,43	13,43	+0,58	+0,058		+3,97	100,50
4	13,07	13,15	13,11	+0,26	+0,026		+1,77	98,30
5	13,07	13,10	13,08	+0,23	+0,023		+1,57	98,10
6	13,20	13,16	13,18	+0,33	+0,033		+2,27	98,80
7	12,53	12,57	12,55	−0,30	−0,030		−2,03	94,50
8	12,73	12,69	12,71	−0,14	−0,014		+0,97	97,50
9	13,07	13,07	13,07	+0,22	+0,022		+1,47	98,00
10	12,58	12,56	12,57	−0,28	−0,028		−1,93	94,60
УВ-1	11,99	12,02	12,00	−0,85	−0,085		−5,83	90,70
УВ-2	11,85	11,83	11,84	−1,01	−0,101		−6,93	89,60
11	12,80	12,84	12,82	−0,03	−0,003		−0,23	96,30
12	13,64	13,66	13,66	+0,80	+0,080		−5,47	102,00
13	13,16	13,12	13,14	+0,29	+0,029		+1,97	98,50
14	13,60	13,62	13,61	+0,76	+0,076		+5,23	101,80

Определив разности средних отсчетов по шкале параллактической пластины и уменьшив эти разности в 10 раз, получают значения разностей продольных параллаксов $\Delta p_{i-рп.14}$ всех наблюдаемых точек относительно начальной точки — репера № 14:

$$\Delta p_{i-рп.14} = 0,1(n_{i_{ср}} - n_{рп.14\,ср.}), \qquad (3.9)$$

где $n_{i_{ср}}$, $n_{рп.14ср}$ — средние отсчеты по шкале пластин при наблюдениях на точку i и рп. 14.

Описанная методика измерений разностей продольных параллаксов точек справедлива при весьма существенных ограничениях: снимки должны быть горизонтальны, а наблюдаемые точки сближены в плане так, что величиной искажения стереомодели можно было пренебречь.

Для измерения разностей продольных параллаксов могут быть также использованы стереоскопы с параллаксометрами (СПД-300 НП, СК-300).

Согласно выражению (3.8) превышение между точками равно

$$h = \frac{H_{\text{ф}} \cdot \Delta p}{b_x}.$$

Если $H_{\text{ф}}$ неизвестно, то для определения h необходимо иметь в пределах небольшого участка стереопары как минимум две точки с известными высотами. Тогда, измерив разность продольных параллаксов между этими точками, можно вычислить превышения любой точки в пределах этого участка стереопары относительно одной из опорных, принятой за начальную точку. Эти превышения вычисляют по формуле

$$h_{i-1} = \frac{h_{2-1}}{\Delta p_{2-1}} \Delta p_{i-1}, \qquad (3.10)$$

где h_{i-1} — превышение любой точки в пределах участка данной стереопары над точкой с известной высотой, принятой за начальную, м; h_{2-1} — исходное превышение между двумя опорными точками с известными высотами, м; Δp_{2-1} — разность продольных параллаксов опорных точек, мм; Δp_{i-1} — разность продольных параллаксов любой точки в пределах участка стереопары относительно точки, принятой за начальную, мм.

Нетрудно видеть, что отношение разности высот двух опорных точек к разности их продольных параллаксов для небольшой части стереопары есть величина постоянная, т. е.

$$K = \frac{h_{\text{рп.14}-\text{рп.21}}}{\Delta p_{\text{рп.14}-\text{рп.21}}} = \text{const}. \qquad (3.11)$$

В качестве исходных данных для вычисления коэффициента K в лабораторной работе даны высотные отметки рядом расположенных грунтовых реперов № 14 и 21. Для контроля правильности определения этого очень важного параметра дополнительно дается высотная отметка грунтового репера № 3. Таким образом, значение коэффициента K вычисляется дважды и берется его среднее значение при расхождениях не более 5.

Значения разностей продольных параллаксов, а затем и вычисленных превышений определяются относительно начальной точки — репера № 14. При этом знак превышения будет зависеть от знака разности измеренных продольных параллаксов какой-либо

точки относительно начальной точки. Вычислив все искомые превышения, переходят к последней операции — вычислению высотных отметок всех отнаблюденных точек по формуле

$$H_i = H_{\text{рп.}14} + h_{i\text{--рп.}14}, \qquad (3.12)$$

где H_i — высотная отметка характерной точки рельефа местности, м; $H_{\text{рп.}14}$ — высотная отметка исходного репера № 14, м; $h_{i\text{—рп.}14}$ — превышение (положительное или отрицательное) характерной точки рельефа над исходным репером № 14.

В результате выполненной лабораторной работы № 3 студент сдает журнал измерений превышений со всеми необходимыми для получения высот точек вычислениями.

Лабораторная работа № 4

Стереоскопическая рисовка рельефа местности с использованием стереоскопа

Основой для выполнения работы служит каталог высот характерных точек рельефа, полученный по результатам выполненной лабораторной работы № 3 (табл. 3.1). Этот каталог используется в качестве исходных данных при стереоскопической рисовке рельефа с применением стереоскопа. В результате выполненной работы № 4 студентами предъявляются на проверку стереопары с изображением рельефа местности горизонталями, проведенными через 2 м и вычерченными в карандаше. Таким образом, предполагается закрепить приобретенные студентами навыки стереоскопических наблюдений аэроснимков с получением конкретного итогового результата — изображения рельефа местности на аэроснимке горизонталями. В этом состоит основная цель этой работы.

Для ее выполнения студент обеспечивается: двумя аэроснимками масштаба 1 : 12 000 с нанесенными характерными точками рельефа, каталогом геодезических высот характерных точек рельефа; стереоскопом СК-180, деревянной подставкой под аэроснимки, кнопками конторскими для крепления аэроснимков к подставке.

Установив на подставку стереоскоп и аэроснимки, добиваются возникновения прямого стереоскопического эффекта, после чего аэроснимки закрепляются на подставке.

Прежде, чем приступить к стереоскопической рисовке рельефа местности, аэроснимки тщательно рассматриваются под стереоскопом. При этом на правом аэроснимке наносятся карандашом линии тальвегов и водоразделов, т. е. изображается скелет рельефа, который увязывают с высотами пикетов и гидрографической сетью. Только после изображения скелета рельефа по всей площади стереопары можно приступать к детальной его рисовке.

В процессе изучения рельефа местности под стереоскопом обращается внимание на то, что видимый рельеф будет казаться резче выраженным, чем это имеет место в натуре. Это несоответ-

ствие прямо пропорционально отношению расстояния от глаза наблюдателя до аэроснимка к фокусному расстоянию объектива аэрофотоаппарата. Так как в линзово-зеркальном стереоскопе такое расстояние равно 250 мм (расстояние наилучшего зрения), а аэроснимки получены аэрофотоаппаратом с $f_v = 100$ мм, то видимый в стереоскоп рельеф окажется увеличенным в 2,5 раза в сравнении с реальной местностью. Применяемые в стереоскопе СК-180 линзы дополнительно увеличивают видимое изображение местности еще в 1,2 раза. Подобное несоответствие позволяет быстрее и лучше уловить элементы микрорельефа местности и мест перегибов скатов.

Стереоскоп СК-180 состоит из четырех зеркал: двух небольших внутренних и двух внешних, несколько больших размеров. Зеркала и линзы укреплены в держателе, соединенном с четырьмя ножками. Так как у различных наблюдателей глазные базисы неодинаковы и меняются от 52 до 74 мм, внутренние зеркала стереоскопа можно перемещать по направлению к наружным. Для придания стереоскопу устойчивого положения имеется возможность плавного изменения длины одной из его ножек.

Рассматривая закрепленные аэроснимки под стереоскопом, наблюдатель определяет положение горизонталей путем интерполирования на глаз отметок высотных точек и урезов воды.

Сечение рельефа основными горизонталями (сплошными горизонталями) задается равным 2 м. В тех случаях, когда заложение ската на аэроснимке более 2 см или же требуется подчеркнуть перегибы скатов и отдельные микроформы рельефа, проводятся полугоризонтали и даже четвертьгоризонтали.

Рисовка рельефа под стереоскопом начинается с интерполирования отметок по реке и ее притокам. В пределах снимаемой стереопары в широтном направлении протекает река, в двух местах которой определены отметки урезов воды. Урез воды выше по течению имеет отметку 90,7 м, второй урез — отметку 89,6 м. В приведенном примере на участке реки между этими урезами должна замкнуться горизонталь с отметкой 90 м. По всем правилам в данном случае было бы необходимо измерить курвиметром по фарватеру реки длину извилистой линии, разделить ее на разность отметок, равную 1,1 м, и полученное частное умножить на 0,4 м. Отложив с помощью курвиметра вычисленное значение расстояния, мы получим точку замыкания горизонтали 90 м по руслу реки.

Учитывая, что подобный способ изображения рельефа под простым стереоскопом используется при работах, не требующих высокой точности получаемого результата, интерполяция высотных отметок урезов вод может быть выполнена на глаз. Предположив, что течение реки на снимаемом участке спокойное, без резких перепадов значений уклона, определяем положение горизонтали 92 м, мысленно отложив от горизонтали 90 м вверх по реке почти удвоенное значение расстояния между урезами по фарватеру реки.

Аналогично интерполируются высоты по лощинам и оврагам и намечаются положения замыкания горизонталей по линиям тальвега. При этом «острота» линии замыкания горизонталей определяется стереоскопически в зависимости от крутизны склонов. Интерполирование горизонталей на водосборе производится последовательно между каждой парой точек, лежащих на одном склоне. Угол наклона местности между этими точками считается одинаковым на всем протяжении отрезка между этими точками, поэтому горизонтали (полугоризонтали) должны разместиться равномерно, пропорционально разности высот.

Аэроснимки изготовлены на матовой фотобумаге, на которую хорошо накладывается карандашный рисунок горизонталей и также легко удаляется с помощью резинки. Поэтому по завершении рисовки рельефа на том или ином участке стереопары выполняется «укладка» горизонталей, т. е. отображение рельефа плавными линиями, без резких изломов, что соответствует реальным формам рельефа местности.

Заключительным этапом оформления лабораторной работы является утолщение и подпись отметок горизонталей, кратных 10 м. Аэроснимки с изображением рельефа местности горизонталями сдаются преподавателю на проверку.

4. ГИДРОГРАФИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ

4.1. Общие положения по дешифрированию аэроснимков

Под дешифрированием аэроснимков понимают сложный и многогранный процесс изучения фотоизображения местности с целью выявления и раскрытия содержания объектов местности, установления их качественных и количественных характеристик.

Различают общегеографическое и специальное, или тематическое дешифрирование. При общегеографическом дешифрировании все элементы и объекты местности распознаются и графически отображаются на аэроснимках, фотопланах или топооснoвах с одинаковой степенью подробности. Это дешифрирование аэроснимков носит универсальный характер (рис. 4.1). Специальное дешифрирование отличается более узкой направленностью и имеет своей целью распознавание зачастую незначительных по размерам или неявно выраженных на аэроснимках объектов или явлений, но имеющих определяющее значение в соответствии с конкретно поставленными задачами исследования.

Гидрографическое дешифрирование аэроснимков является частным случаем специального дешифрирования. Оно предполагает распознавание водных объектов суши по их фотоизображениям, определение параметров рек, озер и водохрани-

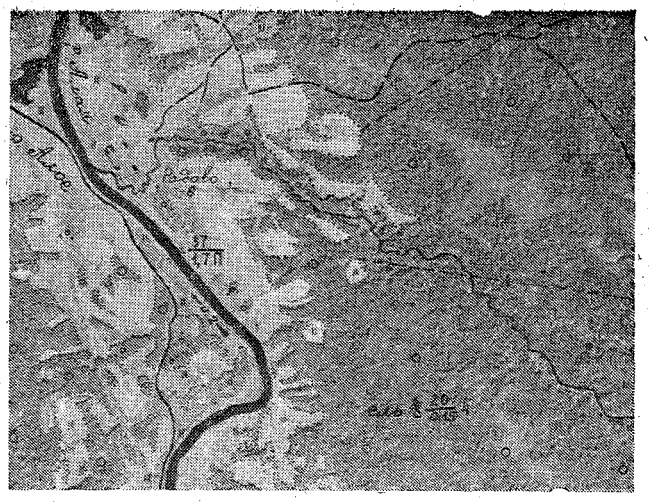


Рис. 4.1. Пример общегеографического дешифрования аэроснимка

лищ, установление типов болот и степени их обводненности, выявление качественных и количественных характеристик поверхности водосборов, анализ их влияния на условия формирования речного стока, картографирование границ снежного покрова и т. д.

Если требуется выполнить региональные исследования разливов крупных и средних рек во время паводков и половодий, динамики снежного покрова на водосборах, ледовых явлений на морях, крупных озерах и водохранилищах, необходимо иметь разновременные, последовательно получаемые космические фотоснимки или телевизионные изображения земной поверхности. Мелкомасштабные последовательные космические снимки позволяют получать однородную информацию на значительные территории, благодаря большой обзорности за счет широкого захвата местности.

Решение таких гидрологических задач, как, например, анализ режима движения речных наносов или развития русловых процессов, предполагает использование и крупномасштабных аэроснимков, позволяющих выполнять измерительные операции на снимках с высокой точностью. Синхронные с космическими съемками аэрофотосъемки дают возможность надежно определить дешифровочные признаки объектов на космических снимках.

В общем случае при постановке гидрографических исследований требуется разумное сочетание мелкомасштабных космических и крупномасштабных воздушных фотосъемок с результатами наземных гидрологических наблюдений, выполняемых на стационарных гидрологических станциях и постах.

Любого масштаба аэроснимки должны обладать достаточно высокой информативностью фотоизображения. Иначе дешифрирование не может быть выполнено на должном техническом уровне.

Это требование налагает ряд условий на выполнение воздушного фотографирования с точки зрения дешифрирования снимков.

Из природных условий аэрофотосъемки в первую очередь следует выделить внешний облик ландшафтов, освещенность и спектральную отражательную способность объектов местности, атмосферную дымку и время производства летно-съемочных работ.

Внешний облик ландшафтов, основными компонентами которых являются растительность, рельеф и поверхностные воды, находится в непосредственной зависимости от смены сезонов года. Так, выполнение аэрофотосъемки плоских тундровых районов во второй половине лета позволяет запечатлеть на аэроснимках различия в растительном покрове и водные объекты на момент летней межени. При фотографировании залесенных речных бассейнов ранней осенью на аэроснимках достигается наибольшая дифференциация в облике крон деревьев, что в немалой степени дает возможность определить и характеристику древостоя.

Кроме сезонных аспектов и географического положения на характер изменения оптических свойств объектов и природных образований большое влияние оказывает высота стояния Солнца. Воспроизведение при аэрофотосъемке контраста в световой характеристике между солнечной стороной объектов и затененной, что имеет место при больших высотах Солнца, непосредственно сказывается на полноте и достоверности дешифрирования объектов местности.

Различная спектральная отражательная способность объектов предполагает выбор такой зоны спектра воздушного фотографирования, в которой было бы обеспечено четкое разделение объектов на аэроснимках. Причем выбор зоны спектра должен определяться по спектральным коэффициентам яркости не отдельных объектов, а интегрально, для определенной группы объектов, характерных для снимаемой территории. Это также может повысить потенциальную информативность аэроснимков.

Влияние атмосферной дымки должно всегда учитываться при выборе масштаба фотографирования. В связи с тем, что явление атмосферной дымки сокращает интервал яркостей объектов местности и тем самым ограничивает возможности детального дешифрирования аэроснимков, для ее компенсации при производстве аэрофотосъемки с больших и средних высот (2—10 км) необходимо применять соответствующие светофильтры.

Наряду с учетом природных особенностей не менее важное значение для рационального воздушного фотографирования имеет правильный выбор технических средств аэрофотосъемки. В этом плане регламентируются тип носителя съемочной аппаратуры и применяемой аэропленки, высота и масштаб аэрофотосъемки, а также условия фотографической обработки материалов аэрофотосъемки.

Правильный учет географических, атмосферно-оптических и технических факторов получения фотоизображения местности на

аэроснимках в конечном счете обусловливает их потенциальную информативность.

Дешифрирование аэроснимков выполняется по принципу от общего к частному, от непосредственно видимых на снимках объектов к косвенно дешифрируемым. Этот принцип заключается в том, что для исключения пропусков и упущений вначале дешифрируются более крупные объекты с четкими очертаниями границ с постепенным переходом к более мелким и сложным объектам.

Достоверность дешифрирования значительно повышается при использовании стереоскопических приборов. Возникающая при стереоскопическом эффекте объемность фотоизображения объектов местности одновременно и облегчает сложный по самой сути процесс установления сущности того или иного объекта по его изображению на аэроснимке.

Наиболее широкое распространение в настоящее время при дешифрировании аэроснимков получили стереоскопы настольного типа: СП-180, СПД-300, СПД-300НП, СММ-1К, СКФ-300, СК-300, СК-500. Полевые стереоскопы дешифровщика (СПД) выпускаются в разных модификациях: СПД-300-Н (с насадкой и набором измерительных шаблонов), СПД-300НП (с насадкой и параллаксометром для измерения параллаксов на эроснимках), СММ-1К (с маркирующим механизмом). Стереоскопы камеральные СК-300 изготавливаются с устройством для измерения разностей продольных параллаксов и других параметров заснятых объектов, например, линейных отрезков, угловых величин и площадей. В стереоскопе СКФ-300 предусмотрены устройства для независимого поворота изображений отдельных снимков стереопары вокруг оптической оси стереоскопа и изменения инструментального базиса стереоскопа с целью стереоскопического просмотра неразрезанных фотопленок различных форматов до 300×300 мм. Стереоскоп СК-500 для стереоскопического рассматривания разномасштабных снимков снабжен устройством, позволяющим плавно изменять увеличение для левой и правой части оптической системы до соотношения 1 : 7,5. Прибор снабжен измерительной системой для определения относительных высот объектов и измерительными шаблонами, позволяющими определять длины отрезков и площади объектов.

При прочих равных условиях производства дешифрирования повышение достоверности отображения объектов местности на аэроснимках будет обеспечено в том случае, если исполнитель будет обладать достаточной профессиональной подготовкой, знанием географических особенностей снимаемой территории, положительными психофизиологическими данными (внимательностью, стрессоустойчивостью и т. д.).

4.2. Дешифровочные признаки объектов местности

Как правило, аэрокосмические изображения местности представляют собой довольно сложную мозаичную картину с множеством оттенков различной тональности. Более того, одни и те же

объекты могут изображаться по-разному в зависимости от масштаба фотографирования, выбранного участка спектра съемки, взаимного положения объектов местности, солнца и съемочной аппаратуры в момент фотографирования и др. И все же есть ряд относительно стабильных признаков, позволяющих прямо или косвенно по аэрофотоснимку с достаточной степенью надежности установить наличие и взаимосвязь объектов местности и определить их качественные характеристики.

К прямым дешифровочным признакам относят форму, размер, тон (цвет) изображения объектов, а также сочетание этих признаков — структуру и текстуру аэрокосмического изображения.

Форма объекта является наиболее надежным и устойчивым дешифровочным признаком, особенно когда на фотоизображении объект хорошо контрастирует с окружающим фоном. Различают компактную и вытянутую (в том числе и линейную) форму. Наиболее просто и быстро дешифрируются объекты, имеющие компактную форму в виде правильных геометрических фигур: прямоугольника, квадрата, окружности. Объекты с вытянутой формой при тех же размерах по ширине с компактными объектами четко дешифрируются на снимках значительно более мелкого масштаба. Например, изображения рек, каналов, дорог хорошо читаются на мелкомасштабных космических снимках даже в тех случаях, когда поперечные размеры этих объектов гораздо меньше разрешающей способности съемочной аппаратуры. Это становится возможным благодаря формированию интегрального фототона вдоль контрастных линейных объектов при оптической генерализации изображения.

Под размерами изображения того или иного объекта на аэроснимке понимают его длину, ширину и высоту, определяемые с помощью стереоскопических приборов. По этому признаку объект может быть выделен из ряда однородных при условии, что масштаб аэроснимка позволяет оценить его размеры и сопоставить с размерами других объектов. Дешифровочный признак размера приобретает значение основного, если форма и тон различных объектов примерно одинаковы.

Предположим, что на аэроснимке изображен объект прямоугольной формы. Но прямоугольную форму имеет целый ряд объектов местности: пашня, аэродром, спортплощадка, здание, огород, скирды сена, склады торфа и др. Зная масштаб аэрофотосъемки и определив реальные размеры объекта на местности, можно привести для него ряд ограничений. Если полученные размеры соответствуют только части перечисленных объектов, то остальные исключаются из дальнейшего рассмотрения. Например, размеры 10×40 м не могут быть отнесены к аэродрому или пашне. Подвергая оставшиеся объекты оценке по другим дешифровочным признакам (тон, тень) или взаимосвязи с другими объектами (кана-

вы, дороги, тропы и т. д.) постепенно устанавливают тот объект, которому присущи все использованные признаки дешифрования.

Фототон изображения объектов местности является важным, но наиболее изменчивым из прямых дешифровочных признаков в зависимости от атмосферно-оптических условий фотографирования и свойств самих объектов. Так, в зависимости от высоты стояния солнца в момент фотографирования и состояния водной поверхности тон изображения водных объектов может быть светлым, темным или иметь даже пестрый рисунок при их бликовании. Если аэрофотосъемка выполнена после обильных дождей, то тон изображения объектов местности, особенно природных, будет темнее, чем при выполнении аэрофотосъемки в сухое время года, а тон изображения водных объектов меняется из-за наличия взвесей в воде. Поэтому тон изображения как признак дешифрования в основном используется в сочетании с другими дешифровочными признаками.

Цвет изображения объектов на цветных или спектрозональных аэроснимках отличается большей стабильностью перед фототоном черно-белого изображения. Это дает возможность расширить применение цвета как дешифровочного признака прежде всего при сравнительной оценке изображения ряда объектов, расположенных в разных регионах, полученного при независимо выполненных аэро- и космических съемках. Кроме того, цветовых различий в изображениях объектов местности на цветных и спектрозональных аэроснимках во много раз больше, чем различий по фототону на черно-белых фотоизображениях.

Значение теней объектов на фотоизображении заключается в том, что часто контраст тени с фоном больше, чем контраст самого объекта с фоном. При дешифрировании малых по размерам объектов необходимо иметь в виду, что при незначительных высотах солнца при аэрофотосъемке размер изображения теней может быть намного большим, чем самих объектов. Роль теней возрастает при дешифрировании высоких, но небольших по площади основания объектов: опор высоковольтных передач, геодезических пунктов, заводских труб и т.д.

Структура аэрокосмического изображения объединяет и сочетает в себе набор форм, размеров, тонов или цветов, участвующих в его построении. Структура может быть тональной (цветовой) и контурной (геометрической). Контурная структура определяется конфигурацией границ, разделяющей элементы тональной структуры. Как правило, тональность и контурность образуют единый рисунок фотоизображения.

Текстура изображения обычно характеризуется определенным пространственным расположением элементов структуры, их взаимным сочетанием.

По морфографической классификации рисунков аэрокосмических изображений выделяется цепочечная, регулярная, мозаичная, линейная, сплошная полосчатая текстура с многообразием разно-

Рис. 4.2. Фрагмент отдешифрированного аэроснимка с изображением солюфлюкционных течений

видностей по каждому виду. Если структура в какой-то степени характеризует содержательное разнообразие объектов местности, то текстура определяет геометрическое разнообразие их изображения на снимке [15]. Это дает возможность правильно трактовать сущность тех или иных элементов географического ландшафта. Так, например, струйчатая текстура изображения речных долин указывает на солюфлюкционные течения (рис. 4.2), полосато-пятнистая — на грядово-мочажинный комплекс на болотах, полосчатая — на микрорельеф пойм, а сеть стариц в поймах рек определяется дугообразной и кольцеобразной текстурой изображения.

С уменьшением масштаба фотографирования прямые дешифровочные признаки сильно изменяются. При этом теряются формы компактных объектов малого, среднего размера и даже линейные объекты небольшой ширины (канавы, небольшие речки и ручьи).

Приведем некоторые примеры использования прямых дешифровочных признаков при гидрологических исследованиях, выполняемых с применением аэрокосмических снимков.

Фототон изображения является основным признаком при дешифрировании открытых водоемов и водотоков, имеющих четкие очертания береговой линии и хорошо контрастирующих с окружающим фоном. При небольших глубинах по тону фотоизображения можно определить характеристику грунтов, из которых сложено дно водного объекта. При илистом, глинистом или торфянистом дне тон изображения рек и озер темный. Неглубокие равнинные реки, озера и водохранилища с каменистым или песчаным

дном, а также большинство горных рек изображаются светлыми тонами. Светлым, почти белым фототоном на аэроснимках дешифрируются береговые участки рек и озер, сложенные песком и галькой. Аналогичный белый тон выделяет снежный покров на водосборах, наличие ледостава на реках, озерах и водохранилищах. По фототону изображения водной поверхности можно дешифрировать отдельные русловые процессы и образования. Например, по резкому осветлению водной поверхности на аэроснимке сравнительно легко оконтуривать береговые отмели и мели, перекаты, мелководные участки озер и водохранилищ. Пороги на реках дешифрируют по неровным шлейфам и общему осветлению тона изображения, при этом верхняя граница порогов выражается более резко, чем размытая нижняя. По тону фотоизображения дешифрируются водопады: выше водопада он очень темный, а ниже — почти белый из-за сильной вспененности воды. Ровный бесструктурный тон изображения реки на значительном протяжении свидетельствует о плавном течении водотока. При дешифрировании болот тон фотоизображения позволяет камерально определять их относительную увлажненность и степень проходимости: чем сильнее обводнены участки болотных массивов, тем темнее они выглядят на фотоизображении [8].

Не менее важным признаком водных объектов при гидрографическом дешифрировании является форма объектов. Изображение береговой линии морей, озер и водохранилищ отличается округлой формой и хорошо читается даже на мелкомасштабных космических фотоснимках. Признаком закарстованности территории являются различной формы изображения карстовых воронок в гипсовых и карбонатных породах. Изображение болот на аэроснимках в большинстве случаев имеет неправильную геометрическую форму с округлыми очертаниями. Зазубренная форма изображения берега реки показывает на наличие скалистых обрывов вдоль водотока, которые всегда выделяются на аэроснимках резкими очертаниями.

Рисунок аэрокосмического изображения является ведущим дешифровочным признаком при распознавании на снимках рек, каналов и канав.

Каналы, канавы и канализованные участки рек надежно дешифрируются по прямолинейности своих очертаний и хорошо выраженным углам поворота. Аналогично изображаются осушительные канавы на торфяных болотах (рис. 4.3). Реки весьма уверенно дешифрируются по извилистому рисунку изображения. Характерный рисунок крон деревьев и кустарника вдоль русла водотока позволяет при стереоскопическом рассматривании крупномасштабных аэроснимков дешифрировать реки и ручьи, скрыть растительностью.

К косвенным дешифровочным признакам относятся те, которые указывают на наличие и отдельные свойства определенных объектов или явлений, в силу тех или иных причин

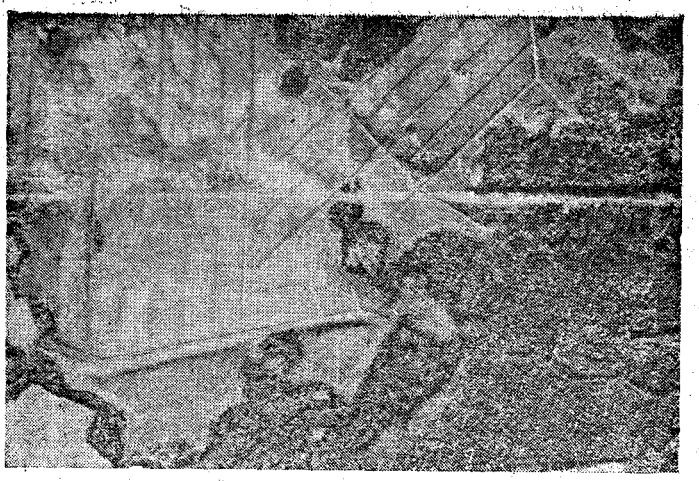


Рис. 4.3. Изображение мохового болота с сетью осушительных каналов

не получивших своего отражения на аэроснимках. Косвенные признаки основаны на учете взаимосвязи и взаимообусловленности объектов между собой или с отдельными природными явлениями. Например, подход наезженной дороги к обоим берегам реки при отсутствии на аэроснимке изображения моста или парома говорит о том, что в данном месте реки существует брод. Наличие брода свидетельствует об относительно малой глубине реки, невысокой скорости потока, достаточно пологих склонах речной долины и плотном характере грунта, из которого сложено дно водотока на рассматриваемом участке. Косвенным дешифровочным признаком колодцев являются изображения на крупномасштабных аэроснимках сходящихся в одной точке дорожек и троп. Аналогично дешифрируются не изобразившиеся на аэроснимках родники и ключи.

При дешифрировании по косвенным признакам необходимо знать, какие объекты имеются и что они собой представляют в природном ландшафте, каковы географические и социально-культурные особенности территории, изображенной на аэроснимках. Для решения этой задачи надо тщательно изучить характер исследуемого района по литературным, справочным и новейшим картографическим материалам.

В процессе гидрографического дешифрирования аэроснимков косвенные признаки используются при нахождении сильно увлажненных почв, мелководных участков рек, родников и колодцев. Они также применимы при установлении степени хозяйственного освоения речных пойм, определении границ разливов рек в половодье, максимальных приливов и отливов на берегах морей.

Помимо качественных показателей косвенные дешифровочные признаки в отдельных случаях могут применяться для определе-

ния количественных характеристик объектов. Например, по критерию уклона реки можно установить приблизительную скорость течения и глубину водотока.

К косвенным дешифровочным признакам объектов гидрографии в первую очередь относятся геоморфологические особенности рельефа изучаемой территории, а именно: абсолютные высоты, расчлененность рельефа, экспозиция и крутизна склонов. Геоморфологические признаки, например, позволяют по дешифрированию подошв незатопляемых полыми водами надпойменных террас определить площади разливов крупных рек и озер.

Объекты, изобразившиеся на аэроснимке и одновременно указывающие на наличие других объектов, называются индикаторами. Важнейшим индикатором является растительный покров, тесно связанный с рельефом местности, гидрографией и грунтами. Так, если среди лиственного лесного массива на аэроснимках выделяется участок соснового леса, то можно утверждать, что на этом участке песчаный грунт. Еловые и пихтовые леса растут на глинистых и суглинистых грунтах. Кустарник растет на песчаных и иловатых грунтах, а карликовый лес — на болотах и сильно увлажненных лесных участках.

Кроме растительного покрова в качестве индикаторов могут выступать рельеф местности и гидрографическая сеть. Первый индикатор определяет наличие и вид растительности, а также состояние режима водных объектов на заснятой территории. Гидрографическая сеть в основном используется при дешифрировании мелкомасштабных космических фотоснимков.

С уменьшением масштаба фотографирования косвенные дешифровочные признаки претерпевают качественные изменения, но гораздо меньше, чем прямые. Они являются более устойчивыми, сохраняя признак приуроченности одних объектов местности к другим. И можно полагать, что с увеличением высоты фотографирования значение косвенных признаков при дешифрировании объектов местности возрастает по отношению к прямым признакам.

4.3. Методика гидрографического дешифрирования аэроснимков

Основой гидрографического дешифрирования аэроснимков является принцип сочетания полевых и камеральных работ. Объем более экономичного камерального дешифрирования зависит от сложности снимаемой территории, масштаба аэроснимков, разрешающей способности фотоизображения и с учетом следующих методических положений:

— камеральное дешифрирование аэроснимков ведется при широком использовании имеющихся на район работ топографических карт, литературно-справочных материалов, отчетных документов о выполненных ранее инженерных изысканиях и др.;

— фотоизображение местности на аэро- и космических снимках должно обладать наибольшей потенциальной информативностью в отношении объектов гидрографии, для чего в процессе изготовления аэрокосмических снимков применяют различные способы фильтрации изображения (выравнивание сверхконтрастов по принципу маскирования способами противоположных фильтров, нерезкой маски и детальной фильтрации, печать снимков способами контурной печати и эквиденсит-печати);

— камеральное дешифрирование территорий со сложной ситуацией предваряется созданием в полевых условиях эталонов дешифрирования на участки, являющиеся типичными по физико-географическим и морфологическим условиям местности;

— при любом сочетании и соотношении объемов полевого и камерального дешифрирования следует, по возможности, планировать выполнение всего комплекса дешифровочных работ одним исполнителем;

— использование стереоскопических приборов в процессе гидрографического дешифрирования является обязательным условием;

— с целью обнаружения малых по размерам объектов полезно увеличение аэрокосмических снимков в пределах $4^x \div 5^x$.

Современные разработки по совершенствованию методики дешифрирования аэроснимков в большинстве своем направлены на увеличение камеральной ее части за счет полевой при одновременном улучшении качества дешифрирования.

В настоящее время на практике применяются: сплошное полевое, сплошное камеральное дешифрирование, полевое маршрутное (в том числе и аэровизуальное) дешифрирование с последующим камеральным и камеральное дешифрирование с последующим полевым обследованием местности.

В гидрографической практике сплошное полевое дешифрирование аэроснимков не применяется. Этот метод дешифрирования находит применение при картографировании территорий городов и других населенных пунктов с большой насыщенностью подземных коммуникаций, а также при комбинированном способе картографирования территорий, покрытых сплошным хвойным лесом. Сплошное полевое дешифрирование аэроснимков состоит в обследовании всех без исключения объектов местности с установлением их количественных характеристик. Не изобразившиеся на аэроснимке объекты наносят инструментально на аэроснимок или фотоплан путем производства замеров расстояний до ближайших не менее чем трех четких контуров.

Сплошное камеральное дешифрирование применяется при изучении речных бассейнов, расположенных в высокогорных районах, отдельных районах тундр, степей и пустынь. Камерально дешифрируются по космическим снимкам ледники и снежный покров Антарктиды и высокогорных районов страны. Особо тщательно при сплошном камеральном дешифрировании ведется сбор литературно-справочных и картографических материа-

лов, создаваемых различными ведомственными организациями и позволяющих уверенно дешифрировать многие объекты местности. Так, например, привлечение «Планов торфяных месторождений» позволяет с необходимой частотой и высокой точностью переносить на аэроснимок или фотоплан характеристики глубин торфяной залежи при дешифрировании болот, которые непосредственно по аэроснимкам не определяются. Камеральное дешифрирование обычно начинают с крупных рек и водоемов, других частей гидрографической сети. Затем дешифрируют растительный покров, рельеф местности, почвы и грунты. Дешифрирование производится с обязательным использованием луп и стереоскопических приборов.

Полевое маршрутное дешифрирование с последующим камеральным применяют в случаях, когда, с одной стороны, территория недостаточно изучена в картографическом отношении, а с другой — является довольно сложным объектом с точки зрения дешифрирования. В этом случае намечаются в результате тщательного изучения всех имеющихся на район работ картматериалов маршруты полевого дешифрирования и эталонные площадки в количестве, обеспечивающем надежность камерального дешифрирования остальной площади исследуемой территории. В труднодоступных районах применяют аэровизуальное дешифрирование аэроснимков в сочетании с наземным на эталонных площадках. Камеральное дешифрирование при использовании этой методики начинают с перенесения на изготовленные фотосхемы или фотопланы результатов полевого дешифрирования. После этого выполняют камеральное дешифрирование остальной площади территории, используя предварительно собранные топографические карты, планы землепользований, лесоустроительные планшеты, планы торфяных месторождений, гидрологические ежегодники, другие публикации государственного водного кадастра, различные справочные и литературные сведения на район исследований.

Камеральное дешифрирование аэроснимков с последующим полевым применяется наиболее широко. Эта методика является основной для многих районов, хорошо изученных в картографическом отношении. В данном варианте непосредственному дешифрированию аэроснимков также предшествует сбор и анализ всех имеющихся картматериалов и гидрологических сведений о местности. Задача заключается в возможно более полном распознавании в камеральных условиях объектов гидрографии, рельефа и других выделяющихся объектов и составлении на этой базе основных элементов местности с оформлением результатов дешифрирования на аэроснимках или фотоплане. Остальной объем дешифрирования выполняется на том же оригинале в полевых условиях. По специально составленной программе в поле обследуются «сомнительные» участки, в пределах которых могут находиться объекты местности, в силу определенных причин не вы-

явленные при камеральном дешифрировании. Попутно добираются количественные характеристики канав, бродов, мостов, растительного покрова, отсутствующих на картматериалах. При необходимости выявления геологического строения и почвенно-грунтовых условий местности в определенных местах проектируется прохождение шурфов, бурение скважин, расчистка обнажений и даже постановка геофизических работ. Выполняя полевую часть работ, частично контролируют результаты предварительного камерального дешифрирования.

Кроме рассмотренных методик дешифрирования при детальных исследованиях крупных рек, озер, водохранилищ, морских акваторий и прибрежной части суши возможны варианты и многоступенчатых чередований полевого и камерального этапов дешифрирования [20]. В этих случаях в качестве дополнительных исходных материалов сбору подлежат материалы гидротехнического проектирования, схемы, альбомы и перечни водных путей, лоции судоходных рек, озер и водохранилищ, навигационные морские, озерные и речные карты в масштабах 1 : 5 000÷1 : 100 000, тарифные руководства, паспортные данные и др. В результате многоэтапного дешифрирования осуществляется последовательный подход к установлению качественных и количественных характеристик водных объектов.

4.4. Камеральное дешифрирование поверхности *речного бассейна*

Дешифрирование поверхности речного бассейна в сущности не является чисто гидрологической задачей. Тем не менее получаемая в результате дешифрирования информация о рельефе местности, растительном покрове, почво-грунтах, дорожной сети, населенных пунктах является незаменимой при составлении гидрографических описаний водных объектов. С ее помощью решается целый ряд чисто гидрологических задач, например, при выяснении общего характера рельефа, определении коэффициентов залесенности, заболоченности, озерности водосбора, оказывающих большое влияние на процессы формирования речного стока.

Если предполагается по результатам дешифрирования составление гидрографического описания бассейна реки, то дешифрирование аэроснимков целесообразно выполнять в следующей последовательности. Вначале дешифрируют речную долину и пойму реки, затем непосредственно речное русло, после чего приступают к дешифрированию поверхности водосбора. Речная долина и пойма дешифрируются по отдельным участкам, отличающимся однородностью внешних условий. Характерные участки выделяются путем тщательного стереоскопического рассмотрения аэроснимков с контролем по наиболее крупномасштабным топографическим картам, имеющимся на район исследо-

ваний. После измерений отдельных элементов речной долины по аэроснимкам приступают к дешифрированию русла реки.

Изучение речного русла по аэрокосмическим снимкам начинают с определения извилистости, разветвленности русла, наличия островов, проточных озер, общих закономерностей пространственного распределения отдельных элементов русла. Затем приступают к анализу русловых образований, их типа, распространенности, приуроченности к плановым очертаниям русла, характера взаиморасположения, размещения и строения. Рельеф дна и русловые образования хорошо просматриваются на аэроснимках в тех случаях, когда вода достаточно прозрачна, дно русла сложено светлыми грунтами, а поверхность воды не отражает солнечных лучей. Потом определяются количественные характеристики русла реки и его отдельных элементов. С помощью стереоскопических приборов измеряются высоты бровок, террас, обрывов, ширина реки. Сопоставляя аэроснимки, полученные в разные периоды времени, можно оценить общий характер деформаций русла, их направленность, размер плановых смещений русла и выявить типы развития руслового процесса.

Рельеф местности и его многообразное влияние на формирование речного стока выражаются в первую очередь величиной уклонов путей движения талых и дождевых вод по поверхности речного бассейна. В настоящее время применяют три способа определения углов наклона местности по аэроснимкам: глазомерный, глазомерно-стереоскопический и стереофотограмметрический. Методические особенности каждого способа определяются самими их названиями. Точность измерения углов наклона местности находится в пределах $2 \div 4°$, что дает возможность считать их равноценными для оценки крутизны склонов горного или крупнохолмистого рельефа с высотой холмов от 50 до 200 м.

Для изучения условий формирования речного стока пока что требуется знание не конкретного значения крутизны того или иного склона, а лишь среднего уклона речного бассейна. Этот важный показатель может быть получен по результатам выполненных на топографической карте картометрических работ по определению площади водосбора и длин горизонталей в его пределах. Такой способ трудоемок и малопроизводителен. Более эффективным способом является стереофотограмметрический. Он обеспечивает получение высотных отметок поверхности водосбора с заданной дискретностью по результатам стереоскопических наблюдений аэроснимков заданного масштаба. Точность конечного результата при этом не зависит от характера рельефа местности и крутизны склонов речной долины и водоразделов, а определяется только размерами регулярной сетки. Координаты и высота узлов этой сетки измеряются высокоточными приборами и тем самым создается цифровая модель рельефа речного бассейна. Чем меньше размеры квадрата регулярной сетки, тем выше точность получения значения среднего уклона речных бассейнов.

Для составления гидрографического описания речного бассейна достаточно изучения крупных форм рельефа. Дешифрирование мезоструктурных форм рельефа требуется при описании речных долин, микроформ рельефа — при исследовании речных пойм и русловых образований.

Основными дешифровочными признаками рельефа местности являются тень, тон и форма изображения. Из-за различной экспозиции склонов тон фотоизображения освещенных сторон на аэроснимках всегда светлее, чем затененных склонов. Чем контрастнее различие тонов, тем рельефнее склоны. В горах граница между освещенной и затененной сторонами речных долин выражена наиболее контрастно, в открытых холмистых районах она имеет более плавные переходы. Общий характер рельефа местности на аэроснимках передается чередованием светлых и более темных тонов с плавными очертаниями их границ.

Детальное описание рельефа местности возможно лишь при стереоскопическом рассмотрении аэроснимков. На этом основании можно вполне надежно определить морфологию речного бассейна. Так, сильно меандрирующие реки текут по равнине, изображение параллельных друг другу водотоков указывает на общий наклон поверхностей водосборов в направлении стока рек. Стволовая система гидрографической сети говорит о волнистом характере рельефа, а впадение нескольких водотоков в водоем — о вогнутой поверхности местности.

Косвенными дешифровочными признаками рельефа местности являются также категории дорог и характер населенных пунктов. Категории дорог определяются степенью извилистости, радиусами закруглений, наличием различных сооружений на дорогах, без труда читаемых на аэроснимках. По категориям дорог устанавливается проектный уклон, а наличие насыпей и выемок у дорог — об отклонениях от него. Правильная планировка населенных пунктов свидетельствует о ровном, спокойном рельефе, а неправильная — является демаскирующим признаком расчлененного рельефа.

Растительный покров на поверхности водосбора дешифрируется на аэроснимках путем определения его границ и выявления основных видов: деревьев, кустарников, травяной растительности, мхов и лишайников. Видовой состав древесной растительности дешифрируется по характерному зернистому рисунку фотоизображения, что позволяет оконтуривать лесные массивы от других природных образований. Хвойные породы леса имеют четко выраженную зернистость на фотоизображении в виде темно-серых зерен крон и очень темных промежутков между ними. Для лиственных лесов характерна менее выраженная степень зернистости. Видовой состав растительности на черно-белых аэроснимках определяется также по тону фотоизображения: лиственные леса всегда изображаются более светлым тоном, чем хвойные [8].

Значительно детальней породы леса дешифрируются по цвету изображения на спектрозональных и цветных аэроснимках. Обычно эти аэроснимки выполняются в начале осени, когда видовой состав лесных массивов на водосборах рек и озер изображается пестрой гаммой цветовых оттенков. На спектрозональных аэроснимках еловые и пихтовые породы изображаются темно-лиловым цветом, кедровые и сосновые — более светлым лиловым цветом. Березовые леса изображаются желтым цветом, осиновые — ярко-оранжевым, дубовые — красно-бурым цветом. На цветных аэроснимках березовые леса изображаются кремовым, осиновые—желто-коричневым, дубовые — коричневым цветом.

Привлечение материалов лесоустройства на район исследований дает возможность определить высоту древесной растительности, выделить участки угнетенного низкорослого леса, вырубок, гарей, молодых посадок леса и др. Большую помощь могут оказать и другие картографические и справочные документы, содержащие информацию о характеристике древостоя.

Сплошные заросли кустарников на аэроснимках характеризуются серым или темно-серым тоном, мелкозернистым рисунком фотоизображения, очень небольшими и неплотными падающими тенями. Кустарники чаще всего растут в поймах рек, оврагах и балках. Они, как правило, имеют округлые очертания своих границ. Тон изображения относительно ровен, что обусловлено однородностью состава кустарниковой растительности. Узкие полосы кустарника, характерные для пойм и береговой линии водотоков, изображаются на аэроснимках в виде темно-серых и серых полос. Чаще всего характер кустарниковой растительности угнетенный, а высота кустов небольшая.

По результатам дешифрирования древесной растительности составляют схемы размещения и измеряют известными в картометрии способами площади угодий, занятых лесными массивами и сплошными зарослями кустарника. Если исследуются небольшие по площади водосборы малых рек, то измерения выполняются на приведенных к заданному масштабу фотосхемах. При значительных размерах водосборов границы лесных массивов переносятся с отдешифрированных аэроснимков фотомеханическими способами на общегеографические карты, и измерения площадей лесов и кустарников выполняются на картах. Затем вычисляется коэффициент залесенности водосбора реки (водоема).

При дешифрировании естественной травяной растительности в лесной, лесостепной и степной зонах вначале исключают по прямым дешифровочным признакам все сельскохозяйственные угодья. Они хорошо распознаются на аэроснимках по четким геометрическим границам и характерным расположением относительно дорог, канав, жилых построек, лесополос и т. д. Затем по индикационным признакам выделяют пойменные луга и суходольные луга в зонах междуречий. Такими признаками являются географические закономерности размещения «дико-

растущей» культурной растительности. Например, в зоне тундр луга располагаются, как правило, на берегах водоемов и низменных морских побережьях, в лесной зоне — в поймах и по берегам рек, на лесных полянах и других относительно сухих местах. Главными прямыми дешифровочными признаками луговой растительности являются бесструктурность и тон фотоизображения. Избыточно увлажненные луга изображаются на аэроснимках ровным и более темным тоном, чем суходольные луга.

Почво-грунты на аэроснимках дешифрируются по тону и рисунку изображения на отдельных почвенных обнажениях (карьеры, пашни, свежераспаханные огороды и др.). Темно-серым тоном изображаются черноземы и красноземы. Песок, галька, известняки изображаются светлым, почти белым тоном. Белый тон изображения имеют также конгломераты и гравелистые грунты, но с характерным рябоватым рисунком. Суглинки, глина, дресва имеют на аэроснимках светло-серые тона. Тон изображения почво-грунтов во многом зависит от степени увлажненности земной поверхности в момент проведения аэрофотосъемки.

Косвенные дешифровочные признаки почво-грунтов определяются их взаимосвязанностью с рельефом местности и растительностью. По характеру рельефа можно установить сыпучие и песчаные грунты (дюны, барханы), лёсс и плотные песчаники (промоины и глубокие узкие овраги), глинистые грунты (обрывы). Карстовые воронки различной формы и размера характеризуют известняки и мергели, а скопления обломков у обрывистых берегов рек — каменистые грунты. Связь почво-грунтов с растительностью рассмотрена выше, в п. 4.2.

Гидрографическое дешифрирование болот выполняется с целью определения коэффициента заболоченности поверхности водосбора, исследований водного баланса болот, составления гидрографических описаний и т. д.

Все болота классифицируются по трем основным признакам: облесенности, характеру растительного покрова и форме поверхности. В соответствии с этой классификацией выделяют следующие группы болот: 1) лесные; 2) травяные с вогнутой поверхностью; 3) травяно-моховые с плоской поверхностью; 4) моховые с выпуклой и вогнутой поверхностью. Каждая из этих основных групп болот подразделяется на ряд подгрупп: хвойные лесные, лиственные лесные, тростняковые и осоковые травяные, мохово-кустарниковые, мохово-осокие и др. [8].

Кроме того, при расчете водного баланса необходимо учитывать и тип болота. По своему местоположению, условиям водного питания, характеру растительного покрова все болота разделяются на два основных типа: верховные и низинные. Для верховных болот характерно водораздельное положение, выпуклая форма поверхности, почти исключительно атмосферное питание, олиготрофная растительность. Для низинных болот характерно залегание

в котловине или пойме реки, вогнутая или плоская форма поверхности, смешанное питание, евтрофная растительность.

На аэроснимках изображение болот, как правило, имеет неправильную геометрическую форму с округлыми очертаниями границ. На черно-белых фотоизображениях относительно легко дешифрируются по внешнему облику открытые или с редким угнетенным лесом моховые болота. Мохово-травяные болота лесо-степной зоны, а также лесные болота, наоборот, дешифрируются с большим трудом. Низинные травяные болота, приуроченные к поймам рек или к пониженным местам водоразделов, по черно-белым аэроснимкам дешифрируются очень неуверенно, без четкого оконтуривания их внешних границ.

С целью повышения дешифровочных свойств аэроснимков на практике широко применяются материалы спектрозональной аэросъемки. На них разные типы болот изображаются различными условными (не натуральными) цветами: болота лиственных лесов — бурым цветом; болота хвойных лесов — зеленоватым цветом с оранжевыми вкраплениями воды; в открытых районах — светло-оранжевым цветом с темно-оранжевыми вкраплениями воды; тундровые полигональные болота — четким рисунком сети многоугольников-полигонов светло-оранжевого цвета.

На черно-белых аэроснимках болота дешифрируются с использованием прямых и косвенных признаков.

Границы распространения, обводненность, рельеф, растительный покров болотных массивов устанавливаются на основании результатов анализа рисунка аэрокосмического изображения и его тональности, относящихся к прямым дешифровочным признакам.

Зернистая структура изображения болота свидетельствует о его облесенности. Лесные болота выделяются на аэроснимках мелкой зернистостью с более светлыми точками по сравнению со значительно более крупной зернистостью изображения окружающего высокоствольного древостоя. Залесенные минеральные острова на болотах также выделяются на аэроснимках «грубой» зернистостью.

Если рисунок фотоизображения болот имеет полосатый характер, это свидетельствует о грядово-мочажинном микрорельефе мохового болота. Несколько приподнятые и, как правило, заросшие угнетенным лесом гряды изображаются узкими и извилистыми темными полосами с зернистым рисунком, что отчетливо просматривается под стереоскопом. Расположенные между гряд мочажины имеют более светлый тон изображения, если они сильно не обводнены.

Тон изображения указывает на степень обводненности болота.

Темный тон обычно характеризует сильно обводненные низинные травяные болота, в то время как верховые болота из сфагновых мхов изображаются на аэроснимках светлым или светло-серым тоном. Своеобразные гладкие широкие полосы на открытых участках моховых болот указывают направление стока на болоте,

а темный или черный тон открытых водоемов и водотоков с различными размерами и расположением относительно друг друга также является прямым дешифровочным признаком болот.

Взаимное расположение озер и водотоков является одновременно и косвенным дешифровочным признаком типа болот. Так, на травяных низинных болотах водоприемники, как правило, расположены в центральной части болотного массива, а на моховых — на окраинах. В качестве косвенных дешифровочных признаков болот могут быть использованы и определенные закономерности распределения растительности на болоте, в том числе по ее видам. Косвенными дешифровочными признаками болот на аэроснимках являются следы хозяйственной деятельности человека: вырубки, сенокосы, гати, просеки, торфоразработки, сеть осушительных канав.

Гидрографическая сеть на болотах дешифрируется на аэроснимках по прямым дешифровочным признакам: форме, тону и текстуре изображения [8].

Открытые водоемы на болотах изображаются на аэроснимках почти черным тоном с резко очерченной границей линии уреза от окружающего фона. Форма изображения границ водоемов — округлая или овальная, с плавными очертаниями. Водоемы со сплавиной на аэроснимках изображаются в виде темно-серых овальных пятен с отдельными черными вкраплениями чистой воды.

Водотоки на болотах четко выделяются извилистыми темными полосами различной ширины. Даже при небольших глубинах рек и ручьев на болотах тон изображения остается на фотоизображении темным, так как дно этих водотоков торфянистое. Если же русла рек на болотах находятся в стадии зарастания, то на аэроснимках изображение рек будет в виде прерывистых полос с чередующимися светлыми и темными участками.

Изображение топей на аэроснимках позволяет легко их выделять на общем относительно светлом фоне болота. Они имеют вид мазков темных или черных тонов, чередующихся с более светлыми полосами с ярко выраженным направлением стока. Застойные топи изображаются более светлыми мазками со своеобразным мозаичным рисунком.

В результате камерального дешифрирования поверхности речного бассейна собирается информация о рельефе местности, растительном покрове, почво-грунтах, дорогах, населенных пунктах. Бо́льшая часть этой информации позволяет решать одну из важнейших гидрологических задач — прогнозирования основных параметров речного стока.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что называется гидрографическим дешифрированием аэроснимков?
2. Какие географические и технические факторы влияют на качество фотоизображения местности?

3. Какую помощь дешифрированию оказывает стереоскоп?
4. Что понимается под прямыми и косвенными дешифровочными признаками?
5. Какие методы дешифрирования используются в гидрологической практике?
6. Какова последовательность дешифрирования поверхности водосбора?
7. Для каких целей планируется спектрозональная аэросъемка?
8. Что относится к косвенным дешифровочным признакам болот?

Лабораторная работа № 5

Составление гидрографического описания участка бассейна реки по аэроснимкам

Настоящая лабораторная работа является завершающим этапом изучения темы гидрографического дешифрирования аэроснимков. Она преследует цель научить студента самостоятельно выполнять анализ фотоизображения местности, определять зависимости между свойствами наземных объектов и характером их воспроизведения на аэроснимках. По результатам камерального дешифрирования студент составляет гидрографическое описание участка бассейна малой реки в соответствии с заданием. Творческий характер интерпретации фотоизображения аэроснимков и объем описания при этом не ограничивается.

Дешифрирование аэроснимков масштаба 1 : 25 000 (одна стереопара) выполняется каждым студентом строго индивидуально с применением стереоскопа СК-180.

Примерный план описания

1. Гидрографическая сеть. Перечислить водотоки, дешифрируемые по аэроснимкам, указать ширину, коэффициент извилистости, предполагаемую скорость течения реки, ее судоходность, правые и левые притоки реки, их количество и расположение. Охарактеризовать водохранилище: конфигурацию, примерную площадь зеркала воды, характер берегов.

2. Рельеф местности. Дать общую характеристику рельефа на рассматриваемом под стереоскопом участке речного бассейна. Описать характер правых и левых склонов основной долины (пологие, крутые, обрывистые). Если крутизна склонов меняется, то характеристику дать по отдельным участкам долины. Отметить наличие промоин, оврагов, указать, по возможности, их примерную длину и глубину. Определить обрывистые участки берегов и их высоту.

3. Растительный покров. Указать расположение отдельных растительных образований и дать их характеристику: видовой состав деревьев в лесах, сплошных зарослей кустарников, наличие по берегам реки кустарника, маскирующего линию уреза

воды, характер и тип лугов и болот. Описывая болото, указать степень его увлажненности на отдельных участках, проходимость и залесенность. Определить примерную площадь одного из характерных угодий (болота, лесного массива, луга, пашни).

4. Населенные пункты. Перечислить количество населенных пунктов, изобразившихся на аэроснимках, указать их тип, расположение по отношению к дорогам, рельефу, реке, административную подчиненность. Охарактеризовать тип построек и их планировку.

5. Пути сообщения, средства связи. Указать основные дороги, их класс (категорийность), ширину проезжей части, характер покрытия, наличие придорожных канав, имеющиеся переправы через водные препятствия и их характеристику. Описать средства связи и электроснабжения по наличию ферм и высоковольтных просек.

6. Написать о других особенностях территории (физико-географическое положение, геологическое строение, почво-грунты и т. д.).

Гидрографические описания участка бассейна реки, выполненные по стандартным листам, предъявляются студентами на проверку преподавателю. В описаниях должны быть представлены таблицы результатов дешифрирования с указанием отдешифрированных объектов,их характеристик и приоритетных признаков дешифрирования.

5. ДЕШИФРИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ АЭРОСНИМКОВ

Целесообразность применения тепловой аэросъемки (ТАС) при гидрологических и гидрогеологических исследованиях определяется возможностью получения по тепловым аэроснимкам принципиально новой информации по сравнению с материалами аэрофотосъемок местности. Анализ изображений на тепловых аэроснимках, регистрирующих тепловое излучение объектов местности, позволяет решать большой круг гидрологических и гидрогеологических задач, основными из которых являются: поиск источников водоснабжения, изучение водообмена поверхностных и подземных вод, точное определение границ заболоченных участков лесов и речных пойм, болот и суходольных участков, изучение уровенного режима подземных вод, поиск термальных вод, анализ физико-механических и водно-физических свойств различных горных пород, охрана водной среды и др. [3].

Особый интерес представляет изучение пространственно-временных изменений влажности горных пород и почв. Изменение влажности горных пород и почв влияет на изменение их температурного поля, фиксируемого при производстве тепловой аэросъемки с помощью радиометров. Специфика выполнения тепловой аэросъемки состоит в тщательном определении технических и радиационных параметров съемки применительно к конкретным природным ландшафтам или географическим объектам.

5.1. Технические и радиационные параметры производства тепловой аэросъемки

При тепловой аэросъемке регистрируется тепловое излучение земной поверхности в виде фиксации температурных контрастов отдельных природных объектов на черно-белой аэропленке. В связи с тем, что тепловое излучение Земли сильно поглощается атмосферой, на практике обычно производство тепловой аэросъемки осуществляется в двух диапазонах инфракрасной области спектра: 3÷5 мкм и 8÷13 мкм. Первый диапазон обычно используется при изучении высокотемпературных полей (гидротермальных объектов), второй — для решения других задач. Оба диапазона относятся к так называемым «окнам прозрачности» атмосферы. Поглощение излучаемой земной поверхностью тепловой энергии в этих диапазонах минимальное.

Специфические особенности выполнения тепловой аэросъемки и дешифрирования тепловых аэроснимков определяются высокой динамичностью температурного поля поверхности земли. Поэтому, кроме спектрального интервала регистрации теплового излучения, к основным техническим параметрам съемочной аппаратуры, влияющим на информативность тепловых аэроснимков, относятся уровень привязки температурного поля и связанный с ним диапазон фиксируемых температур, а также коэффициент усиления электронного тракта аппаратуры. В тепловых системах уровень регистрируемого сигнала определяется характером теплового излучения объектов земной поверхности.

Материалы тепловой съемки получают с помощью специальной аппаратуры — тепловизоров различных систем.

В качестве съемочной аппаратуры в настоящее время в СССР используется изображенный на рис. 5.1 серийно выпускаемый отечественной промышленностью тепловизор «Вулкан» с мгновенным углом зрения 7′÷8′ и общим углом обзора 80°. Температурное разрешение на местности по каналу 3÷5 мкм составляет 0,5÷1,0 °С, а по каналу 8÷13 мкм — 0,25÷0,5 °С. На тепловом аэроснимке, полученном с

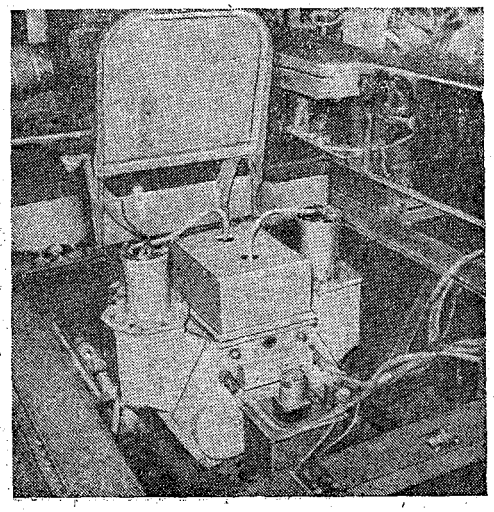


Рис. 5.1. Общий вид тепловизора «Вулкан» («Тепловая аэросъемка в гидрологии и инженерной геологии», 1984)

помощью тепловизора «Вулкан», обычно воспроизводится 10—12 тоновых градаций. Это обстоятельство необходимо учитывать при настройке аппаратуры на регистрацию определенных контрастов водной среды или других объектов местности. Если, например, настроить тепловизор на максимальную чувствительность 0,25 °С, то на снимках можно будет зарегистрировать температурные контрасты природных объектов с указанной дифференциацией лишь в пределах 2,5÷3,0 °С [3, 16].

Тепловая аэросъемка выполняется с орбитальных космических кораблей, самолетов и вертолетов. Космические съемки преследуют цель создания карт температур на крупные регионы. Аэросъемки в масштабах 1 : 25 000÷1 : 100 000 проводятся в гидрогеологических и геологических целях с самолетов АН-30, АН-28, а детализированные съемки в масштабах 1 : 10 000 и крупнее — с вертолетов МИ-8, самолетов АН-2.

Соотношение масштабов тепловых аэроснимков и высоты проведения ТАС тепловизором «Вулкан» приведено в табл. 5.1 [3].

Высота полета носителя съемочной аппаратуры устанавливается исходя из анализа соотношений изучаемых объектов, пространственного и температурного разрешения тепловизора, условий экономичности и безопасности ночных полетов.

Таблица 5.1

Соотношение масштабов тепловых аэроснимков и высоты проведения ТАС

Масштаб аэроснимка	Высота полета, м
1 : 5 000	210
1 : 10 000	400
1 : 25 000	1040
1 : 35 000	1470
1 : 50 000	2110
1 : 75 000	3120
1 : 100 000	4170

Радиационные условия проведения ТАС заключаются в правильном выборе сезона, времени суток и метеорологической обстановки, при которых температурные контрасты изучаемых объектов и явлений будут выражены на тепловых снимках наиболее отчетливо. Для этого необходимо знать основные закономерности формирования температурного поля и факторы, влияющие на его изменение в течение суток (тепловая инерция, альбедо, рельеф и др.).

Обычно при картографировании значительных вариаций влажности почво-грунтов тепловая аэросъемка наиболее эффективна в близполуденное время, а малых — в часы, близкие к восходу солнца. В то же время температурные контрасты природных объ-

ектов, связанные с рельефом местности, максимально выражены в дневное время, а перед восходом солнца выравниваются. Поэтому полный анализ геоиндикационных свойств температурного поля земной поверхности возможен как минимум по материалам двукратной тепловой аэросъемки, проводимой в течение одних суток в экстремальных рдиационных условиях.

5.2. Методические особенности дешифрирования тепловых аэроснимков

Весь комплекс работ по дешифрированию тепловых аэроснимков состоит из трех последовательных этапов: предварительного камерального, полевого и окончательного камерального.

На первом этапе осуществляется сбор имеющихся фондовых материалов геологического и картографического назначения, проводится тщательный анализ гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей исследуемого района, различных источников выделения тепловой энергии, так или иначе определяющих температурный режим снимаемой территории. В результате предварительного камерального дешифрирования на тепловых аэроснимках фиксируются однозначно дешифрируемые объекты и их характеристики. Одновременно на этом этапе намечаются маршруты полевого дешифрирования и ключевые участки (эталоны дешифрирования). Большую помощь в этом оказывают материалы аэровизуального дешифрирования местности, проводимого одновременно с производством тепловой аэросъемки.

В процессе полевого дешифрирования в намеченных местах выполняют инженерно-геологические, гидрогеологические наблюдения, горно-буровые работы и геофизические исследования. Одновременно производят режимные измерения температуры и влажности покровных отложений, температуры приземного слоя атмосферы, а также плотности почво-грунтов.

В результате выполненного комплекса полевых работ на опорных маршрутах и эталонных площадках производится интерпретация всех имеющихся в наличии материалов, т. е. окончательное камеральное дешифрирование тепловых аэроснимков на весь район исследований. При этом, вначале отождествляются рисунок изображения и тоновые различия на тепловых аэроснимках с элементами природных образований, изображенных на аэроснимках и топографических картах. После этого устанавливают взаимосвязи между температурными контрастами опознанных объектов и гидрологическими особенностями исследуемой территории. В процессе опознавания объектов местности и изучения их особенностей по тепловым аэроснимкам следует иметь в виду, что тоновые различия на тепловых аэроснимках не являются следствием различной спектральной яркости объектов местности, что имеет место при аэрофотосъемке. Они связаны с характером распределения температурного поля, которое формируется под действием ряда

определенных факторов: тепловой инерции объектов, их альбедо, влажности, испарения, влияния ветра, рельефа местности и др.

Тепловая инерция — это теплофизическая характеристика, которая указывает, с какой скоростью различные объекты местности воспринимают и отдают тепло. Эта характеристика позволяет по тоновым различиям «теплового» изображения, мало чем отличающегося от привычного фотографического, дифференцировать объекты местности по их водно-физическим и физико-механическим свойствам. Днем сильнее нагреваются объекты с минимальной тепловой инерцией, а ночью эти объекты становятся наиболее холодными. В результате на дневных и ночных тепловых аэроснимках четко фиксируется инверсия контрастов объектов с различной тепловой инерцией в виде тоновых различий. Холодные объекты на снимках изображаются темными тонами, а теплые — более светлыми.

Альбедо объктов местности (соотношение между падающей и отраженной объектами солнечной радиации) и их температура до глубин 1—1,5 м имеют суточный ход. При постоянной тепловой инерции суточный ход температуры объектов с различным альбедо происходит без инверсии контрастов на тепловых аэроснимках. Общая контрастность изображения на ночных снимках ниже, чем на дневных, но то, что было «теплее» на дневном аэроснимке, остается «более теплым» и на ночном.

Испарение увлажненных объектов резко влияет на температуру деятельного поверхностного слоя. Оно сильно понижает температуру объектов земной поверхности. Чем больше значение влажности приземного слоя атмосферы, тем менее заметно проявляется эта закономерность и наоборот.

Влияние ветра приводит к выравниванию температурных контрастов между холодными и теплыми объектами, что выражается на тепловых аэроснимках общим падением контрастов изображения объектов местности. Вред влияния этого фактора на достоверность результатов дешифрирования настолько очевиден, что проведение ТАС в ветреную погоду становится бессмысленным. К общему снижению контрастности «теплового» изображения приводит и уменьшение суммарной солнечной радиации, что характерно для пасмурной погоды. Поэтому тепловую аэросъемку выполняют в ясную и безветренную погоду.

Рельеф снимаемой территории активно «участвует» в формировании изображения на тепловых аэроснимках.

Температурное поле весьма чувствительно к изменениям рельефа местности, так как на единицу поверхности склонов различной экспозиции и крутизны попадает разное количество солнечной радиации. Благодаря этому фактору, на тепловых аэроснимках контрастно изображаются рельефные формы, которые могут значительно исказить контрасты, обусловленные изменениями теплофизических и радиационных характеристик гидрогеологических объектов. На изображениях плоских равномерно нагретых участ-

ков вследствие высокой тепловой инерции и охлаждающего влияния испарения хорошо выделяются водотоки, водоемы, болота и сильно увлажненные места. В случае расчлененного рельефа с крутыми склонами на тепловых аэроснимках, выполненных в дневное время, четко изображаются положительные его формы, благодаря солнечному нагреву, а ручьи в глубоких долинах не дешифрируются вовсе. На ночных снимках хорошо дешифрируются светлыми извилистыми лентами даже самые мелкие водотоки, как очень теплые объекты по отношению к суше.

По результатам дешифрирования только дневных тепловых аэроснимков нельзя категорично утверждать о наличии воды в ручьях или высокой влажности объектов суши в связи с тем, что аномально холодное температурное поле может быть в данном случае обусловлено высоким альбедо. Только анализ ночных тепловых аэроснимков может дать однозначный ответ, так как при высоком альбедо на ночном тепловом аэроснимке указанные объекты должны остаться холодными. Вот почему для гидрогеологического дешифрирования объектов требуется наличие тепловых аэроснимков, полученных в различных радиационных условиях.

По результатам гидрогеологического дешифрирования тепловых аэроснимков изучают и анализируют водообмен поверхностных и подземных вод с целью не только выявить места тесной взаимосвязи поверхностных и подземных вод, но и установить направление и интенсивность водообмена. По результатам дешифрирования материалов повторных тепловых аэросъемок можно вести контроль за состоянием подземных и поверхностных вод на больших площадях в короткий промежуток времени и с высокой экономичностью. Данные о разгрузке подземных вод представляют большой интерес при оценке расходной части баланса подземных вод и могут способствовать их наиболее рациональному использованию в народнохозяйственных целях [3].

Хорошо дешифрируются на тепловых аэроснимках термальные воды благодаря своей высокой температуре. Горячие источники, ручьи, термальные площадки, грязевые котлы изображаются на тепловых аэроснимках очень ярким светлым тоном. По результатам дешифрирования дневных и ночных тепловых аэроснимков можно составить схемы территориального распределения термальных полей с выделением перспективных участков на предмет бурения эксплуатационных скважин.

С помощью тепловых аэроснимков можно решать и такие чисто гидрологические задачи, как картографирование заболоченных земель, четкое выделение границ лесных болот, проведение линий водотоков, скрытых древесной растительностью, а также охрана водных объектов суши. По тепловым аэроснимкам довольно легко устанавливаются источники загрязнения водных объектов и траектории движения загрязненных вод, поскольку на снимках четко фиксируются температурные контрасты теплых сточных вод и бо-

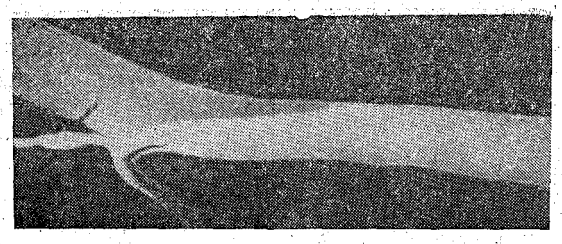


Рис. 5.2. Ночной тепловой снимок участка сброса промышленных вод в реку («Тепловая аэросъемка в гидрологии и инженерной геологии», 1984)

лее холодных вод рек и водоемов, куда сбрасываются загрязненные сточные воды (рис. 5.2).

Качество гидрогеологического, инженерно-геологического и гидрографического дешифрирования тепловых аэроснимков в каждом конкретном случае будет зависеть не только от полноты исходных и полученных в процессе полевых работ материалов. Оно будет определяться, главным образом, степенью знаний исполнителя о факторах, определяющих температурное поле земной поверхности и соответствующие тоновые различия на тепловых аэроснимках. В неменьшей мере необходимо и умение правильной интерпретации этих различий.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем заключается главное достоинство материалов тепловой аэросъемки при выполнении гидрологических и гидрогеологических исследований?
2. Что такое «окна прозрачности атмосферы» и как они учитываются при производстве ТАС?
3. Каковы технические и радиационные условия выполнения ТАС и в чем их специфика?
4. Какова последовательность гидрологического и гидрогеологического дешифрирования тепловых аэроснимков?
5. Перечислите факторы, резко снижающие контрастность изображения температурного поля Земли на тепловых аэроснимках.
6. Каковы основные дешифровочные признаки используются при распознавании по тепловым аэроснимкам водно-физических свойств горных пород?
7. Какие гидрологические задачи решаются с применением тепловой аэросъемки?

Лабораторная работа № 6

Определение физико-механических и водно-физических свойств горных пород по тепловым аэроснимкам

Эффективность решения задачи по изучению физико-механических и водно-физических свойств горных пород по тепловым аэроснимкам основана на использовании индикационной роли темпе-

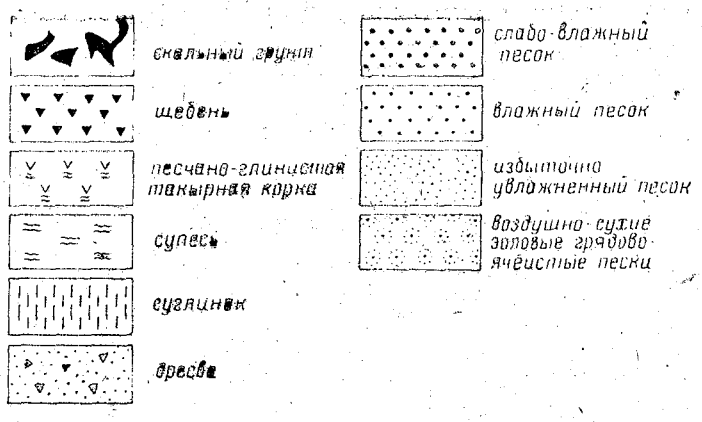


Рис. 5.3. Условные обозначения горных пород

ратурного поля земной поверхности, чувствительного к вариациям влажности и плотности покровных отложений.

Цель работы по дешифрированию тепловых аэроснимков заключается в отождествлении тоновых изображений с элементами географического ландшафта и разделении горных пород на три группы по их дешифровочным признакам. Для выполнения данной работы студент обеспечивается дневным и ночным тепловыми аэроснимками одной и той же территории и фрагментом геологической карты этого района, на которой основные слагающие территорию съемки горные породы обозначены условными обозначениями, показанными на рис. 5.3.

Вначале дешифрируются горные породы по признаку тепловой инерции, т. е. по противоположной тональности одних и тех же объектов на дневном и ночном тепловых аэроснимках. Для облегчения нахождения таких объектов на аэроснимках четко выделяющиеся характерные объекты пронумерованы. По мере нахождения таких объектов по тепловым снимкам их отождествляют по контуру границ с фрагментом геологической карты, и с помощью приведенных на рис. 5.3 условных обозначений выписывают в лабораторную тетрадь характеристики горных пород.

Затем определяются свойства горных пород по альбедо — однотонному изображению объектов на дневном и ночном тепловых снимках аналогичным образом с помощью фрагмента геологической карты. Определенные по признаку «альбедо» горные породы также выписываются в лабораторную тетрадь.

И, наконец, дешифрируются грунты с разной степенью увлажнения. Днем температура от солнечного тепла грунтов с разной степенью увлажнения более менее выравнена, и тонального различия на тепловом изображении они почти не имеют. На ночных тепловых аэроснимках эти контрасты резко возрастают. Интерпретируя тоновые различия объектов на снимках и сопоставляя их

с характеристиками горных пород на геологической карте, можно выделить породы и почво-грунты с различными водно-физическими свойствами. Перечень пород, отдешифрированных по «влажности», также выписывают в лабораторную тетрадь.

После выполнения всех операций производится совместный анализ (преподавателя и студента) правильности интерпретации результатов гидрогеологического дешифрирования по тоновым различиям или сходствам теплового изображения различных горных пород. В качестве отчетного материала студент представляет таблицу, в которой указаны отдешифрированные горные породы, их свойства и дешифровочные признаки, по которым они были определены.

6. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ТЕЛЕВИЗИОННЫМ (ТВ) СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

6.1. Особенности изучения снежного покрова по ТВ снимкам

К настоящему времени в мировой практике накоплен большой опыт использования спутниковой информации для изучения и картографирования снежного покрова. Применительно к гидрологическим исследованиям задача сводится к дешифрированию границ снежного покрова по спутниковым снимкам и определению степени заснеженности речных бассейнов. Сравнивая положение этих границ по ряду последовательных снимков в год, исследуется динамика снежного покрова на поверхности водосбора, которая затем увязывается с режимом речного стока [12].

В нашей стране для картографирования снежного покрова в основном используются получаемые с метеорологических ИСЗ «Метеор» телевизионные снимки среднего и малого разрешений.

Снимки среднего разрешения получают в четырех спектральных диапазонах (0,5÷0,6; 0,6÷0,7; 0,7÷0,8; и 0,8÷1,0 мкм), а снимки малого разрешения — в двух (0,6÷0,7 и 0,8÷1,0 мкм). С высоты орбиты 650 км снимки среднего разрешения обеспечивают полосу захвата на местности 1930 м и разрешение на местности порядка 240 м, а на снимках малого разрешения изображается полоса местности шириной 1930 км с разрешением на местности 1200 м [2].

Как указывалось выше, телевизионные спутниковые снимки, получаемые путем сканирования видикона поперек направления съемочного маршрута, имеют большие перспективные искажения. Масштаб изображения на телевизионных снимках постоянно изменяется от подспутниковых точек к краям изображения [5]. Тем не менее телевизионная съемка из космоса является одной из наиболее применяемых при исследованиях динамики снежного покрова.

Дело в том, что существующая сеть снегомерных наблюдений

относительно редка, как правило, расположена вблизи населенных пунктов, где велико антропогенное влияние на процессы таяния снега. В результате отсутствует полная картина о состоянии и динамике снежного покрова на всей площади водосбора. Проводимые авиаразведки дают более определенную оценку степени покрытия снегом всей площади водосбора, однако точность этой оценки во многом зависит от уровня подготовки наблюдателя и от методики выполнения аэровизуальных наблюдений. Нельзя умолчать о субъективности такой оценки, так как приемником информации является человеческий глаз.

Более объективную картину раскрывают материалы аэрофотосъемки. Однако сложность ее производства, небольшие территории, затруднительность планомерного производства повторных аэрофотосъемок одной и той же территории по погодным условиям, длительность времени прохождения контроля и обработки данных аэрофотосъемки практически не позволяют ее использовать. Поэтому аэрофотосъемка выполняется, как правило, в масштабе 1:25000 на репрезентативных участках водосборов, а полученные аэроснимки являются хорошим подспорьем для дешифрирования мелкомасштабных спутниковых изображений, в том числе и ТВ снимков.

Спутниковые ТВ снимки дают возможность оценить характер распространения снежного покрова на очень больших по площади водосборах в течение всего зимне-весеннего периода. Основным достоинством телевизионной спутниковой информации являются глобальность обзора исследуемой территории, многократность последовательных съемок, оперативность получения требуемой информации, достоверность и детальность результатов исследований, а в конечном счете — повышение качества результатов при меньших трудовых и денежных затратах.

Как показывают выполненные в США исследования, затраты на составление карт снежного покрова по спутниковым снимкам в 100 раз меньше стоимости авиаразведки. По сравнению с аэрофотосъемкой экономическая эффективность использования телевизионных спутниковых снимков при картографировании снежного покрова достигается за счет снижения стоимости затрат на обработку снимков, число которых гораздо меньше числа аэроснимков. Обработка телевизионных спутниковых снимков на основе эксперимента, проведенного в бассейне р. Вятки, оказалась примерно в 14 раз дешевле обработки аэроснимков той же территории. При этом сведения о степени заснеженности поверхности водосбора, полученные по спутниковым ТВ снимкам, по точности не уступали данным аэрофотосъемки [12].

Другие важные характеристики снежного покрова, как его высота, плотность, влажность и запасы воды непосредственно по ТВ снимкам пока измерить не предоставляется возможным. Существуют различные косвенные методы, позволяющие с большими погрешностями определять эти параметры по ТВ снимкам, исполь-

зуя для этого данные авиационных разведок и наземных снегомерных наблюдений. В частности, имеются попытки приближенной оценки высоты снежного покрова по ТВ снимкам, основанные на зависимости ее от степени покрытия снегом или от градации яркости изображения. По тоновым контрастам ТВ снимков и по различному физическому состоянию снега в период его таяния можно приближенно определять запасы воды в снежном покрове. И в том, и в другом случае необходимы данные наземных снегомерных измерений на гидрометеорологических станциях и постах. Степень увлажненности снежного покрова может быть определена путем сопоставления одновременно полученных ТВ снимков в голубой и инфракрасной зонах спектра. На основе сравнения границы снежного покрова на многозональных снимках делается оценка размеров зоны одновременного снеготаяния [2, 6, 12 и др.].

Тем не менее можно с определенностью сказать, что на сегодняшний день достаточно надежно определяется по спутниковым ТВ снимкам лишь одна характеристика снежного покрова — плановое положение его границ. Фиксируя на ТВ снимках положение линии схода снежного покрова на поверхности водосбора, можно получить представление о характере развития половодья на водотоках, о времени вскрытия и очищения ото льда озер и водохранилищ. Но наилучшим способом данные ТВ съемок можно использовать не для расчетов гидрографов, а для оценки продолжительности половодья на реках, определяемой в основном по продолжительности снеготаяния с учетом максимального времени добегания талой воды с поверхности водосбора до замыкающего створа.

Картографирование границ распространения снежного покрова по площади и во времени с заданной частотой и точностью основано на методах распознавания различных объектов и явлений по ТВ снимкам, для чего необходимо знать дешифровочные признаки природных образований в зимне-весенний период, в том числе и снежного покрова.

6.2. Дешифровочные признаки снежного покрова

Основным прямым дешифровочным признаком снежного покрова является тон его изображения. Снежный покров отличается от других объектов высокими значениями альбедо и спектральных коэффициентов яркости. По этим показателям он может быть сравним лишь с облачностью. Общий тон изображения снежного покрова на ТВ снимках ярко-белый, но с различными оттенками в зависимости от его состояния, высоты и степени распространения. Однако спектральные характеристики изображения снежного покрова на ТВ снимках зависят не только от физико-химических свойств снега, но и от условий съемочного процесса: сезона года и времени суток, состава атмосферы в момент съемки, высоты полета спутника, высоты и азимута солнца, условий фотографической обработки материалов и др. Эти факторы так или иначе вносят до-

лю неопределенности в результаты интерпретации спутниковых изображений.

Обычно дешифрирование снежного покрова на открытой равнинной территории не вызывает затруднений. Граница сухого снега читается четко по ярко-белому тону. Полоса промежуточного светло-серого тона определяет зону разрушенного снежного покрова.

Текстура изображения на ТВ снимке проявляется в сохранении или нарушении тоновой однородности изображения. Это также прямой дешифровочный признак снежного покрова. Она бывает матовая и зернистая. Матовую белую текстуру имеют ТВ снимки с изображением снежного покрова на безлесных водосборах, а матовую черную — с изображением участков сплошного леса и участков поверхности водосбора, освободившихся от снега в процессе его таяния. Зернистую текстуру формирует изображение сочетания лесов с открытыми участками земной поверхности. Изменение текстуры изображения во время снеготаяния или в период снегонакопления дает возможность оценивать по ТВ снимкам степень заснеженности поверхности водосбора.

Структура изображения формируется вариациями тона и текстуры изображения и зависит от рельефа местности, растительности, наличия снежного и облачного покровов одновременно. Структура изображения гораздо в меньшей степени подвержена влиянию условий обработки пленки, чем тон изображения. Чаще всего на ТВ снимках встречается пятнистая и дендритовая структуры. Пятнистую структуру образует изображение отдельных массивов лесов на безлесных пространствах, а дендритовую — изображение заснеженных горных хребтов и гидрографической сети, расчленяющей поверхность водосбора по рельефу и связанным с ним видам растительного покрова. Изменение структуры изображения во времени также является важным информативным признаком для определения степени заснеженности территории.

Физико-географические особенности исследуемого региона хорошо проявляются при наличии летних и зимних ТВ снимков. Изображение территории на снимке в бесснежный период и его трансформация в процессе снегонакопления и снеготаяния представляют собой дополнительный дешифровочный признак снежного покрова.

Довольно сложной задачей при дешифрировании снежного покрова по ТВ снимкам является отделение его от облачности, тон изображения которой почти такой же, что и снега. Для этой цели используются различные демаскирующие признаки. Одним из них является наличие на изображении ТВ снимка однозначно читающихся объектов: рек, дорог, береговой линии морей и озер, населенных пунктов и др. Другим демаскирующим признаком для отделения облачности от снега является различие структур их изображения на снимках. Облачность изображается обычно размытой фронтальной системой с волнистой структурой, а снежный по-

кров — рисунком с пятнистой и дендритовой структурой. Важным демаскирующим признаком для любых форм облачности является быстрая эволюция ее рисунка в течение короткого периода времени, по которой можно с уверенностью судить о наличии облачности, используя для этой цели серии последовательных телевизионных снимков. Для надежного выделения облачности полезным является совместный анализ ТВ снимков, полученных во всех зонах спектра [2].

Совместный анализ зональных ТВ снимков, кроме того, позволяет выделять тип облачности, плотность и сомкнутость облачных полей. Так, например, облака, имеющие кристаллическую структуру, изображаются на ТВ снимках в ближней инфракрасной (ИК) зоне (0,8÷1,0 мкм) таким же белым тоном, что и на снимках в видимой зоне спектра (0,5÷0,7 мкм). Яркость изображения кучево-дождевых и мощно-кучевых облаков одинакова как в видимом диапазоне, так и в ближней ИК зоне спектра. Жидкокапельные облака имеют сероватый оттенок в ближнем ИК диапазоне. Для кучево-дождевых облаков характерны также «выметы» из перистых облаков, имеющих волокнистый рисунок и изображающихся светло-серым неоднородным тоном. Тени от перистой облачности образуют на ТВ снимках множество узких темных полос. Слоистая облачность, преобладающая в зимний период, изображается белым или светло-серым тоном в зависимости от плотности облачного поля. Обычно она скрывает рисунок заснеженного речного бассейна на поверхности земли. Тон изображения слоисто-кучевой облачности белый в центре и светло-серый на краях облачных элементов, такая облачность изображается в виде закрытых ячеек и полос. Кучево-дождевые облака, чаще всего отмечающиеся в весенний период при снеготаянии, изображаются на ТВ снимках в виде полос и гряд.

Приведенные дешифровочные признаки различных типов облачности хотя и относятся больше к метеорологическим аспектам дешифрирования облачного покрова, тем не менее позволяют по рисунку и тону изображения отличать облачность от подстилающей поверхности и, в частности, от снежного покрова.

6.3. Картографирование снежного покрова

Задача картографирования снежного покрова по ТВ снимкам может быть сформулирована в двух вариантах: определение площади заснеженной части поверхности водосбора в абсолютных величинах и исследование динамики снежного покрова на водосборе, которая может быть выражена в относительных величинах как отношение заснеженной части к общей площади водосбора.

В обоих случаях требуется отдешифрировать границы снежного покрова по ТВ снимкам, используя для этого дешифровочные признаки снега и демаскирующие признаки облачности и других природных образований. Границы снежного покрова с помощью

универсальных топографических проекторов, фототрансформаторов или графическими методами переносятся с отдешифрированных ТВ снимков на точную картографическую основу на каждую дату съемки, после чего площади заснеженных участков водосборов на карте измеряют с помощью планиметров или палеток известными в картометрии способами.

Перед дешифрированием границ снежного покрова ТВ снимки последовательных спутниковых съемок подбираются по идентичным спектральным каналам, систематизируются по датам съемок и оцениваются с точки зрения их пригодности для дешифрирования. В первую очередь обращается внимание на степень экранирования ТВ снимков изображением облачности и теней от облаков, на отсутствие сбоев строк сканерного телевизионного изображения и дефектов фотографической обработки ТВ снимков. По результатам комплексного анализа непригодные для дешифрированиня ТВ снимки отбраковываются и в дальнейшей обработке не участвуют.

Пригодные для дешифрирования ТВ снимки малого разрешения увеличиваются до масштаба 1 : 2000 000, т. е. примерно в 5 раз. Поскольку ТВ снимкам присущи большие перспективные искажения на краях изображения, то с целью их уменьшения снимки подбирают таким образом, чтобы исследуемый водосбор находился в центральной части снимков.

Все работы, связанные с подготовкой ТВ снимков к дешифрированию, и сам процесс дешифрирования будут бессмысленными, если не выполнить географическую привязку снимков к реальной местности, к реальному водосбору. Осуществляется географическая привязка снимков по изобразившимся на них четким контурам и объектам местности. Таковыми чаще всего являются контуры крупных озер и водохранилищ, береговая линия морей, изображение речной и дорожной сети, населенных пунктов. Географическая привязка ТВ снимков к местности осуществляется по общегеографическим и специальным картам сопоставимого масштаба. Как правило, для этой цели используют топографические карты масштаба 1 : 1 000 000.

Если определение площади заснеженной части поверхности водосбора предполагается выполнить на точных фотопланах, то в этом случае производится фототрансформирование ТВ снимков и монтаж их на общую основу. Обычно фототрансформирование сканерных ТВ снимков производится аффинным способом с коэффициентом увеличения порядка 5^x на фототрансформаторах ФТА. В качестве трансформационных точек используются пересечения дорог, четкие контуры береговой линии морей, озер и водохранилищ, которые переносятся с имеющихся на район исследований топографических карт масштаба 1 : 1 000 000 и крупнее.

Дешифрирование и картографирование границ схода снежного покрова по ТВ снимкам не вызывает особых затруднений для открытых территорий тундры, степной зоны, полупустынных, пустын-

ных и горных районов. В этом случае граница заснеженной территории четко читается по резко выраженному белому тону изображения снега на фоне темного фона бесснежных территорий. Если же местность залесенная, то это создает серьезные трудности в надежном дешифрировании границы снежного покрова, который изображается в этом случае в виде отдельных массивов.

Для обнаружения таких массивов на ТВ снимках с учетом их разрешающей способности необходимо, чтобы размеры снежных массивов были, как минимум, на порядок больше пространственного разрешения снимков. Применительно к снимкам среднего разрешения они должны быть не менее 3 км, а снимков малого разрешения — не менее 15 км. В этом случае начинают «работать» такие дешифровочные признаки снежного покрова, как тон и текстура фотоизображения местности. При бо́льших размерах снежных массивов в процессе дешифрирования их границ используются и другие дешифровочные признаки, в частности, структура изображения [2].

Кроме границ схода снежного покрова, не менее важными характеристиками его пространственного распространения являются площадь одновременного снеготаяния и степень покрытия снегом поверхности водосбора.

Площадь одновременного снеготаяния заключена между линиями фронта и тыла снеготаяния. Линия фронта снеготаяния представляет собой границу раздела тающего и сухого снега. Она может быть определена при сопоставлении ТВ снимков в голубой и ближней ИК зоне спектра. На ИК снимках тающий снег с температурой поверхности, близкой к нулю, изображается более темным тоном, чем сухой снег с более низкими температурами поверхности. На равнинных территориях фронт снеготаяния может значительно опережать как по времени, так и по расстоянию линию тыла снеготаяния. Другими словами, на равнине одновременным снеготаянием могут быть охвачены очень большие территории.

Площадь одновременного снеготаяния в горах представляет собой территорию, заключенную между линией сезонной снеговой границы (тыла снеготаяния) и линией нулевой изотермы (фронта снеготаяния). Положение сезонной снеговой линии может интенсивно изменяться в зависимости от метеорологических условий, в частности, от интенсивности снеготаяния. На ТВ снимках эта линия является границей раздела темного, почти черного тона бесснежной поверхности и белого тона изображения снежного покрова. В практике гидрологических прогнозов на сезонную снеговую линию принимают границу, по одну сторону которой покрытость снегом составляет 50 % и более, а по другую — менее 50 %. Именно эта граница на ТВ снимках и совпадает с границей соответственно белого и черного тонов.

Линия нулевой изотермы представляет собой границу, выше которой снеготаяния уже не происходит. Обычно ее положение опре-

деляется также путем совместного анализа ТВ снимков, полученных в разных спектральных интервалах. Поскольку на ТВ снимках, полученных в ближней ИК зоне спектра, изображается только сухой снег, то линию нулевой изотермы обычно отождествляют с границей раздела темного и светлого тонов именно на этих снимках.

Площадь одновременного снеготаяния обычно тем больше, чем больше положительные температуры и относительная влажность воздуха. Но интенсивность снеготаяния зависит и от других факторов. Она зависит, например, от экспозиции склонов и уклонов поверхности водосбора. Площадь снеготаяния тем больше, чем меньше абсолютные отметки местности. С увеличением высоты местности снеготаяние становится менее интенсивным и площади снеготаяния сокращаются. Но при большой залесенности склонов определение сезонной снеговой границы и линии нулевой изотермы представляют значительные трудности или вообще невозможно без привлечения данных авиаразведок и наземных снегомерных наблюдений.

Определение высоты сезонной снеговой линии и высоты нулевой изотермы производится путем переноса отдешифрированных границ с ТВ снимков на карту с изображением рельефа местности в горизонталях. Обычно для этих целей используется топографическая карта масштаба 1 : 1 000 000. Перенос изображения границ со снимков на карту выполняется с помощью универсального топографического проектора отдельными частями по идентичным четким контурам объектов местности и рисунку изображения линий водоразделов и гидрографической сети. При наличии фотопланов для переноса отдешифрированных границ могут быть использованы фототрансформаторы и другие проектирующие камеры.

Измерение площадей отдешифрированных заснеженных территорий в пределах поверхностей речных бассейнов и площадей одновременного снеготаяния на определенную дату съемки производится с помощью планиметров. При использовании электронных планиметров предварительно в масштабе карты на пластике изготавливаются непрозрачные маски (рис. 6.1).

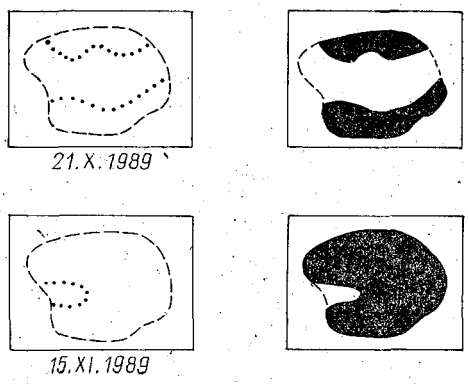


Рис. 6.1. Изготовление масок для измерения электронным планиметром площадей заснеженности водосбора на разные даты ТВ съемок. Прерывистые линии — границы водосбора реки, перенесенные с карты на ТВ снимки; точечный пунктир — отдешифрированные контуры заснеженности водосбора на разные даты ТВ съемок.

Степень покрытия снегом речных бассейнов определяется по результатам дешифрирования заснеженных участков по ТВ снимкам, полученным на разные даты, как отношение заснеженной площади водосбора к его общей площади до замыкающего створа, определенной по карте, по формуле

$$K = \frac{F_{сн}}{F_0}, \qquad (6.1)$$

где K — коэффициент заснеженности поверхности водосбора; $F_{сн}$ — площадь заснеженной части поверхности водосбора, км^2; F_0 — общая площадь поверхности водосбора, км^2.

Зная значения коэффициентов заснеженности поверхности водосбора, можно построить графики схода снежного покрова и использовать их в прогностических зависимостях стока рек, например, в получении зависимости среднего расхода воды реки за конкретный месяц от средней площади заснеженности водосбора за предшествующий месяц.

Точность картографирования снежного покрова во многом зависит от разрешающей способности ТВ снимков и характера исследуемой территории. При картографировании снежного покрова в равнинных залесенных районах по ТВ снимкам малого разрешения ошибка нанесения границ снежного покрова может достигать 100 км. Данные сопоставления результатов дешифрирования границ снежного покрова, полученных по ТВ снимкам, с материалами наземных наблюдений для открытых районов показывают, что расхождения в положении таких границ находятся в пределах 30÷65 км и зависят от густоты расположения снегомерных станций [2].

Точность картографирования снежного покрова можно повысить, используя для этого синхронные подспутниковые аэрофотосъемки, однако это возможно лишь для относительно небольших по площади водосборов при наличии безоблачной погоды в период снеготаяния.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Каковы недостатки и преимущества телевизионных спутниковых снимков, используемых при картографировании снежного покрова?
2. Перечислите дешифровочные признаки снежного покрова.
3. По каким признакам можно различить изображение облачности от снега?
4. Какие характеристики снежного покрова можно определить по спутниковым ТВ снимкам, а какие нет?
5. Какова последовательность дешифрирования границ снежного покрова по ТВ снимкам?
6. Какие приборы используются при картографировании снежного покрова?

7. Как определяются площади заснеженности речных бассейнов и степень их покрытости снегом в период снеготаяния?
8. Какова точность картографирования снежного покрова по ТВ снимкам?

Лабораторная работа № 7

Исследование динамики снежного покрова на речном водосборе по ТВ снимкам

Работа выполняется с целью закрепления теоретического материала по методике дешифрирования снежного покрова по спутниковым телевизионным снимкам малого разрешения, полученным с помощью МСУ-М, установленного на ИСЗ «Метеор».

Для выполнения этой работы каждому студенту выдаются:

— увеличенные до масштаба 1 : 2 000 000 снимки малого разрешения в зоне спектра 0,5÷0,6 мкм на участок водосбора реки, выполненных на разные даты периода снеготаяния;

— увеличенные до масштаба 1 : 2 000 000 ТВ снимки малого разрешения в зоне спектра 0,8—1,0 мкм на те же даты съемки;

— топографическая карта масштаба 1 : 1 000 000 на исследуемый район;

— полярный планиметр;

— лупа с 5-кратным увеличением;

— чертежная ручка и желтая гуашь;

— деревянная подставка для работы со снимками и планиметром;

— простой карандаш и лист чертежной бумаги формата А1.

В начале работы осуществляется географическая привязка ТВ снимков к топографической карте масштаба 1 : 1 000 000 по идентичным контурам и рисунку гидрографической сети. Затем на карте карандашом по водораздельным линиям наносятся границы водосбора, которые переносятся на все ТВ снимки и закрепляются на них желтой гуашью.

Используя дешифровочные признаки снежного покрова, на последовательно полученных ТВ снимках в пределах площади водосбора дешифрируется и закрепляется желтой гуашью плановое положение границ снежного покрова. В результате на всех ТВ снимках желто-зеленой и ИК зоны спектра фиксируются границы снежного покрова на определенные даты съемок и общей площади поверхности водосбора.

После этого с помощью планиметра определяются величины заснеженных частей водосбора на разные даты съемок и общей площади водосбора реки. Последняя может быть выбрана из Гидрологического ежегодника, но из методических соображений также определяется с помощью полярного планиметра. При этом она из-за погрешностей переноса границ с карты на ТВ снимки и раз-

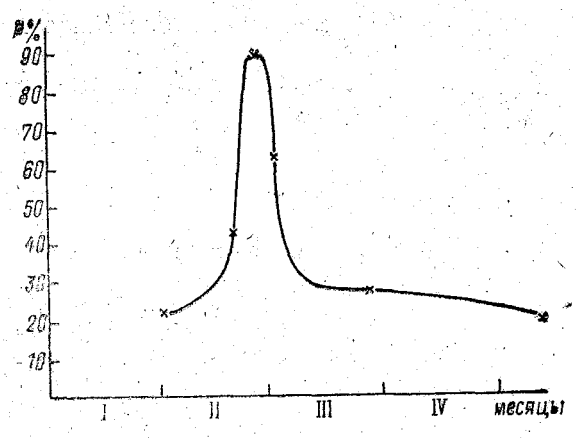


Рис. 6.2. График динамики снежного покрова на водосборе р. Риони. × — даты получения ТВ снимков

номасштабности изображения ТВ снимков по площади кадра может отличаться от истинного ее значения. Но при определении степени покрытия снегом поверхности водосбора это не имеет принципиального значения, так как измеренная единожды по ТВ снимку общая площадь водосбора будет входить во все расчеты степени покрытия как единый знаменатель применяемой для этой характеристики снежного покрова формулы. Результаты всех произведенных измерений площадей заносятся в табл. 6.1, в которой дан образец заполнения и вычислений искомых характеристик.

Таблица 6.1

Степень покрытия снегом водосбора реки по данным ИСЗ «Метеор»

Дата съемки	Зона спектра, мкм	Площадь заснеженной части поверхности водосбора, км²	Общая площадь поверхности водосбора, км²	Степень покрытия снегом поверхности водосбора, %	Площадь одновременного снеготаяния, км²
25.02	0,5—0,6	12 014	13 400	90	20
	0,8—1,0	11 994	•	90	
8,03	0,5—0,6	5275	•	39	483
	0,8—1,0	4792	•	36	
26.03	0,5—0,6	3916	•	29	876
	0,8—1,0	3040	•	23	
2,05	0,5—0,5	3303	•	25	389
	0,8—1,0	2914	•	22	
28,05	0,5—0,6	1667	•	12	65
	0,9—1,0	1602	•	12	

В табл. 6.1 приведены и площади одновременного снеготаяния по результатам сопоставления ТВ съемок в зонах 0,5÷0,6 мкм и 0,8÷1,0 мкм. При этом допускается, что в зоне 0,5÷0,6 мкм изо-

бражается весь снежный покров на поверхности водосбора, а в зоне 0,8÷1,0 мкм — только сухой, нетающий снежный покров.

По результатам определений степени покрытости поверхности водосбора снегом строится график динамики снежного покрова, который оформляется в карандаше на листе чертежной бумаги формата А1. Образец оформления такого графика приведен на рис. 6.2. При построении графика следует продумать значения горизонтального (Мг) и вертикального (Мв) масштабов с тем, чтобы график наглядно показывал характер схода снежного покрова с поверхности водосбора. Можно рекомендовать следующие значения масштабов: Мг — один см графика соответствует одной декаде; Мв — один см графика соответствует 10 % покрытия водосбора снегом. Однако возможны и другие соотношения масштабов, которые определяются интенсивностью схода снежного покрова с поверхности водосбора.

По завершении лабораторной работы студент сдает на приемку отдешифрированные ТВ снимки, заполненную данными измерений таблицу степени покрытия снегом водосбора реки и оформленный в карандаше график динамики снежного покрова на водосборе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аэрофотосъемочные работы (Справочник аэрофотосъемщика). — М.: Транспорт, 1984. — 196 с.
2. Временные методические рекомендации по использованию спутниковой информации в оперативной практике. Картирование снежного покрова. — Л.: Гидрометеоиздат, 1980. — 76 с.
3. Выприцкий Г. С., Садов А. В., Шилин Б. В. Тепловая аэросъемка в гидрогеологии и инженерной геологии. — Л.: ВСЕГЕИ, 1984 — 39 с.
4. Гольдман Л. М., Вольпе Р. И. Руководство по дешифрированию аэроснимков при топографической съемке и обновлении планов масштабов 1 : 2 000 и 1 : 5 000. — М.: ЦНИИГАиК, 1980. — 237 с.
5. Гонин Г. Б. Космические съемки Земли. — М.: Недра, 1989. — 319 с.
6. Делеур М. С. Космические методы изучения снежного покрова Земли. — Л.: Гидрометеоиздат, 1980. — 78 с.
7. Калинин Г. П., Курилова Ю. В. Колосов П. А. Космические методы в гидрологии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977. — 183 с.
8. Кудрицкий Д. М., Попов И. В., Романова Е. А. Основы гидрографического дешифрирования аэрофотоснимков. — Л.: Гидрометеоиздат, 1956. — 202 с.
9. Кучко А. С. Аэрофотография и специальные фотографические исследования. — М.: Недра, 1988. — 236 с.
10. Лаврова Н. П. Алмазов И. В., Прилепский А. Н. Аэрофотосъемка. Автоматизация аэрофотосъемочных процессов. — М.: Недра, 1985. — 256 с.
11. Лобанов А. Н. Аэрофототопография. — М.: Недра, 1978. — 520 с.
12. Прокачева В. Г. Снежный покров на водосборах./Природа Земли из космоса. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984, с. 91—95.
13. Руководство по аэрофотосъемочным работам, — М.: РИО МГА, 1976. — 313 с.
14. Селиванов А. С., Тучин Ю. М. Эксплуатационный радиотелевизонный комплекс «Природа». / Природа Земли из космоса. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984, с. 25—28.
15. Смирнов Л. Е. Аэрокосмические методы географических исследований. — Л.: ЛГУ, 1975. — 303 с.
16. Фёдоров Б. В. Аппаратура космического фотографирования. — М.: Недра, 1985. — 219 с.
17. Федоров В. И., Титов А. И., Холдобаев В. А. Практикум по инженерной геодезии и аэрогеодезии. — М.: Недра, 1987. — 365 с.
18. Фёдоров Ю. А. Аэрофотогеодезические исследования водных объектов суши. — Л.: ЛГМИ, 1991. — 172 с.
19. Федоров Ю. А. Определение технических параметров аэрокосмических съемок поверхности речных водосборов для гидрологических расчетов сто-ЛГМИ, 1990, вып. 107, с. 105—107.
ка. — В сб.: Динамика русловых потоков и охрана природных вод. — Л.: изд.
20. Шарков В. В., Гурьев З. И., Кильдюшевский Е. И. Аэрокосмические методы геологического изучения шельфа. — Л.: Недра, 1985. — 276 с.
21. Шумков И. Г. Речная аэрогидрометрия. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982. — 208 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3
Введение 4
1. Производство аэрофотосъемки и оценка качества аэрофотосъемочных работ 6
1.1. Характеристика аэрофотосъемок местности 6
1.2. Расчет технических параметров аэрофотосъемки речных бассейнов 11
1.3. Фотограмметрические требования к аэрофотосъемочным работам 15
Лабораторная работа № 1. Оценка фотограмметрического качества аэроснимков 18
2. Изготовление мозаичных фотопланов 22
2.1. Способы получения аэрокосмических изображений местности . . 23
2.2. Методика фототрансформирования аэрокосмических снимков . . 24
Лабораторная работа № 2. Изготовление фотопланов 29
3. Стереоскопические измерения превышений точек местности по аэроснимкам 32
3.1. Условия возникновения стереоскопического эффекта . . . . —
3.2. Принцип стереоскопических измерений превышений точек местности по аэроснимкам 35
Лабораторная работа № 3. Измерения превышений точек по стереопаре аэроснимков 37
Лабораторная работа № 4. Стереоскопическая рисовка рельефа местности с использованием стереоскопа 42
4. Гидрографическое дешифрирование аэроснимков 44
4.1. Общие положения по дешифрированию аэроснимков . . . . —
4.2. Дешифровочные признаки объектов местности 47
4.3. Методика гидрографического дешифрирования аэроснимков . . 53
4.4. Камеральное дешифрирование поверхности речного бассейна . . 56
Лабораторная работа № 5. Составление гидрографического описания участка бассейна реки по аэроснимкам 63
5. Дешифрирование тепловых аэроснимков 64
5.1. Технические и радиационные параметры производства тепловой аэросъемки 65
5.2. Методические особенности дешифрирования тепловых аэроснимков 67
Лабораторная работа № 6. Определение физико-механических и водно-физических свойств горных пород по тепловым аэроснимкам 70
6. Картографирование снежного покрова по телевизионным (ТВ) спутниковым снимкам 72
6.1. Особенности изучения снежного покрова по ТВ снимкам . . 72
6.2. Дешифровочные признаки снежного покрова 74
6.3. Картографирование снежного покрова 76
Лабораторная работа № 7. Исследование динамики снежного покрова на речном водосборе по ТВ снимкам 81
Литература 84

Юрий Андреевич Федоров

Практикум по аэрофотогеодезическим исследованиям водных объектов суши

ЛР № 020309 от 28.11.91 г.

Редактор И. Г. Максимова

Корректор А. Ф. Кузнецова

Сдано в набор 26.11.91. Подписано в печать 24.03.92.
Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 5,4.
Уч.-изд. л. 6,0. Тир. 500. Зак. 695. Темплан 1992, поз. 178.

Типография ВАС